

EMPREGO DA CONFIABILIDADE PARA O ESTABELECIMENTO DE ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA

FILIPE MACHADO (PUCRS)

filipe.machado.83@gmail.com

Jairo Jose de Oliveira Andrade (PUCRS)

jairo.andrade@pucrs.br



Atualmente verifica-se a grande importância das atividades de manutenção dentro do contexto operacional de uma empresa, a fim de evitar paradas desnecessárias e custos associados com perdas de produção. Desta forma, este trabalho apresenta a aplicação da análise de confiabilidade em diferentes grupos de equipamentos do processo produtivo de uma empresa do setor metal-mecânico automotivo, a fim de subsidiar as atividades de manutenção do setor. Durante o período de três meses foram coletados os tempos até falha, os tempos de reparo e os principais modos de falha incidentes em diferentes equipamentos que são empregados no processo de fabricação de bombas hidráulicas automotivas. Foram avaliados dois grupos específicos de máquinas: as operatrizes (equipamentos de usinagem bruta, responsáveis por deixar a carcaça com as dimensões ideais para montagem) e as automatizadas (equipamentos de montagem dos componentes internos do produto). Com base nos dados de falha foi realizada uma análise de confiabilidade a fim de estabelecer quais os procedimentos de manutenção mais adequados para cada tipo de equipamento, considerando o seu comportamento em relação às falhas. Os resultados mostraram a importância da realização de uma análise sistêmica de falhas para o estabelecimento de ações estratégicas de manutenção customizadas para os equipamentos analisados.

Palavras-chaves: Qualidade, confiabilidade, manutenção, modos de falha

1. Introdução

Com a globalização e a abertura dos mercados as empresas buscaram alternativas competitivas para a produção. Na atual economia, os fabricantes devem estar preparados para reagir às mudanças de demanda e mercado, produzindo sob necessidade real, dentro do prazo de entrega aceitável. Neste conceito, as indústrias japonesas foram as pioneiras na disseminação do conceito de produção limpa, sem a ocorrência de perdas. A visão sistêmica de uma organização não se limita somente a originar caixa, mas funcionar em longo prazo, gerar valor a sociedade e acionistas, objetivando crescimento contínuo (LINER e MEIER, 2006).

Em uma economia globalizada, observa-se que as empresas têm que aumentar gradativamente a demanda por produtos que apresentem um desempenho adequado. Nesse aspecto, uma exigência básica está relacionada com a minimização da probabilidade da ocorrência de falhas em produtos, considerando as consequências dos modos de falhas associados.

Paralelamente deve-se considerar que as atividades de manutenção têm como objetivo básico manter e melhorar a regularidade da operação de um sistema produtivo, impactando diretamente na disponibilidade e na segurança dos equipamentos. Partindo do pressuposto de que é praticamente inviável se ter um equipamento com falha zero (em função de restrições de ordem técnica e/ou econômica), é necessário conhecer o comportamento das falhas dos equipamentos, a fim de se planejar e gerenciar um programa de manutenção adequado às especificidades de cada empresa (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009).

Sendo assim, a confiabilidade vêm se tornando uma ferramenta importante para subsidiar a tomada de decisão em diversos setores industriais, tais como o desenvolvimento de produtos, a produção e a manutenção. Uma mudança de paradigma nos atuais sistemas de gestão da manutenção industrial consiste no estabelecimento de uma estratégia formal para tal atividade, fundamentada na teoria da confiabilidade. Tal proposição pode ser uma alternativa às estratégias informais encontradas nas empresas, com base na experiência pessoal de gestores na maioria dos casos (ANDRADE, 2011).

Para Wyrbski (1997) a manutenção industrial era considerada como uma geradora de custos e gastos, cujo passado caracterizava-se apenas por atividades rotineiras baseadas em troca de peças, adaptações e emergências. Atualmente este quadro mudou, as necessidades de redução das perdas e competitividade requerem um sistema extremamente confiável, estável e controlado. Schaedler (2003) correlaciona os níveis de confiabilidade com a estrutura de qualidade da organização, sendo este um quesito diferencial de competitividade e exigido para nos novos conceitos de gestão da produção. Sendo assim, nesse novo contexto, a realização de uma análise de falhas considerando os modos de falha mais incidentes em um equipamento e/ou sistema é de extrema relevância para serem estabelecidos sistemas de gestão da manutenção direcionados para casos específicos.

Desta forma, o objetivo principal deste estudo é apresentar as melhores estratégias de manutenção para diferentes famílias de equipamentos em uma indústria metal-mecânica, utilizando a confiabilidade como ferramenta para auxiliar na tomada de decisão. Os objetivos específicos deste trabalho são: (i) definir os equipamentos críticos para o processo produtivo; (ii) estruturar os modos de falha a serem estudados; (iii) analisar os dados de falha e determinar os parâmetros de confiabilidade dos equipamentos; e (iv) apresentar as melhores estratégias de manutenção peculiares para cada família de equipamentos.

2. Confiabilidade de sistemas de produção

Certamente um dos principais objetivos da engenharia é desenvolver meios materiais que viabilizem o bem estar humano. Entretanto a totalidade destas condições requer algumas restrições de ordem física ou econômica, tornando qualquer sistema passível de perder suas condições funcionais. Em seu sentido amplo, a confiabilidade está relacionada à operação bem sucedida de um produto ou sistema (FOGLIATTO e RIBEIRO 2009).

Outra forma de referenciar a confiabilidade ocorre pela comparação com os conceitos de qualidade. Estes dois conceitos podem ser confundidos entre si, onde Fogliatto e Ribeiro (2009) mencionam que a diferença entre ambos é exemplificada pela variável tempo. Ou seja, a passagem do tempo é incorporada na confiabilidade, já que o mesmo não ocorre na qualidade. Entretanto, Lafraia (2001) desvincula ambos os conceitos afirmando que a confiabilidade consolidou-se pela necessidade de medir um indicador de qualidade baseado no tempo. Já Casconi (1992) relata como a probabilidade de um bom funcionamento

relacionado ao tempo de uso com a contínua perda de qualidade.

No ramo da Engenharia, a confiabilidade aparece aplicada ao planejamento de produto, onde no projeto são considerados e viabilizados os níveis de confiabilidade requeridos e nos equipamentos, onde suas condições de manutenibilidade são previstas. Em outras palavras, a Engenharia de Confiabilidade garante que um sistema tende a ser confiável quando operado da maneira especificada previamente projetada. Estes conceitos podem e devem ser aplicados ao longo de todo o ciclo de vida do sistema, desde o desenvolvimento, passando pelos testes, produção até a operação (FILHO, 2006).

As definições de confiabilidade acercam da probabilidade de sobrevivência de um determinado sistema em um estimado tempo t . Para definir a probabilidade utiliza-se a modelagem dos tempos até a falha (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009). Tais tempos podem ser representados pelo intervalo de tempo em que o sistema é colocado em operação até a falha funcional.

As distribuições de probabilidade mais usuais para representar os tempos até a falha de componentes são: Exponencial, Weibull, Gama e Lognormal. Normalmente a distribuição de Weibull é bastante empregada, pois esta distribuição apresenta importante flexibilização da capacidade de apresentação das amostras de desempenhos variados (ELSAYED, 1996; FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009; ANDRADE, 2011). Tal distribuição já foi empregada com sucesso em diversos trabalhos nos quais a confiabilidade foi empregada para como subsídio para as atividades de gestão da manutenção. Sellitto (2008) apresentou um método de cálculo de confiabilidade e localizou no ciclo de vida da curva da banheira a posição de um sistema. Este método foi implementado através da modelagem dos históricos de intervalos entre falhas e tempo até reparo de um equipamento. Já em outro estudo, Sellitto (2004) formula estratégias de manutenção utilizando o uso da confiabilidade através da análise das taxas de falhas e distribuição, aplicadas em uma empresa do ramo metal-mecânico.

Reis e Andrade (2009) verificaram que a distribuição de Weibull melhor se ajustava ao comportamento de falhas da ferramenta em análise e após aplicação da análise de confiabilidade puderam apresentar à empresa estudada o comportamento ao longo do tempo de moldes empregados em equipamentos de injeção. Os dados coletados indicaram que em aproximadamente 6 turnos ininterruptos de trabalho ocorre a paralisação da produção por culpa do aparecimento de falhas no equipamento estudado. Como sugestão de melhoria desse

fato, a fim de maximizar o tempo de operação do equipamento, sugeriram empregar as técnicas de manutenção preditiva e treinamento dos operadores que devem conhecer o modo de falha e identificar as principais causas das mesmas.

Desta forma, a confiabilidade será utilizada como ferramenta para subsidiar o direcionamento das atividades de manutenção em uma empresa do setor automotivo, conforme será apresentado nos itens a seguir.

3. Procedimentos metodológicos

3.1. Método de Pesquisa

A metodologia de pesquisa deste trabalho pode ser considerada como um estudo de caso oriundo da análise de dados numéricos com critérios empíricos para tomada de decisão. Do ponto de vista de sua natureza, este trabalho é caracterizado como aplicada, pois os dados coletados e o embasamento teórico permitem a aplicação prática deste estudo. A abordagem do problema se dará através da análise de dados numéricos e modelos estatísticos, o que caracteriza a pesquisa como quantitativa. Como objeto da análise, os dados serão coletados de forma sistemática, utilizando relatórios padrão, baseados em Yin (2008), desta forma o estudo será abordado de forma descritiva.

3.2. Método de Trabalho

As etapas que foram executadas para a realização do presente estudo estão apresentadas na sequência a seguir:

- a) Definição do sistema para análise: Um parque industrial de um processo de fabricação intermitente é dotado de equipamentos distintos, com funções diferentes e conceitos variados. Na escolha do equipamento analisado, deve ser mandatório o grau de semelhança dos conjuntos e seus modos de falha. Deste modo é necessário agrupar os modos de falhas para analisar diferentes tipos de equipamentos;
- b) Definição dos modos de falha: Neste trabalho foram estudados os principais modos de falha de ocorrem em dois grupos de equipamentos (automatizados e operatrizes) pertencentes ao parque fabril da empresa;
- c) Coleta dos dados de falha: Em uma análise de confiabilidade é fundamental ter-se dados confiáveis e consolidados. Normalmente as corporações utilizam-se de softwares para gestão da manutenção, cujos sistemas são responsáveis por coletar os dados de parada dos

equipamentos. Com base nas informações de produção, turnos de trabalho, tempos e números de parada é possível obter os tempos até falha (TTF's) que serão utilizados posteriormente para o cálculo da confiabilidade. Os dados utilizados foram coletados através do módulo PM (*planning maintenance*) do software de gestão empresarial SAP;

d) Análise da confiabilidade: Para realizar a análise de confiabilidade foram determinados os modelos estatísticos através do software de modelos estatísticos *Proconf 98*. Tal software foi desenvolvido no Departamento de Engenharia de Produção e Transportes da UFRGS, cuja aplicação do mesmo foi realizada com sucesso por outros autores (Sellitto, 2005; Reis e Andrade, 2009). Com os dados de TTF verificou-se qual a distribuição que modelava mais adequadamente o comportamento das falhas dos equipamentos, realizando-se a partir daí uma análise de confiabilidade para subsidiar a adequada escolha da estratégia de manutenção a ser adotada;

e) Estratégias de manutenção: Baseando-se nos dados fornecidos pela análise de confiabilidade foi possível elaborar estratégias específicas de manutenção para cada grupo de equipamentos. Para obtenção de estratégias confiáveis é necessário o uso dos conhecimentos tácitos vivenciados no ambiente fabril, buscando-se um plano de manutenção efetivo, prevendo o efeito do modo da falha. As estratégias adotadas terão como finalidade detectar, monitorar, restaurar e inspecionar o modo de falha, ou até mesmo a substituição ou alteração do projeto do equipamento, quando cabível e necessário.

4. Estudo de Caso

4.1. Apresentação do cenário empresarial

A empresa estudada é fabricante de componentes automotivos do ramo metal-mecânico, possuindo em seu quadro mais de 1000 funcionários e fornecendo produtos para as principais montadoras de automóvel do Brasil. Seu parque industrial está localizado em Porto Alegre (RS), possuindo duas plantas responsáveis pela fabricação de caixas de direções e bombas hidráulicas para automóveis, cujo produto final está mostrado na Figura 1.

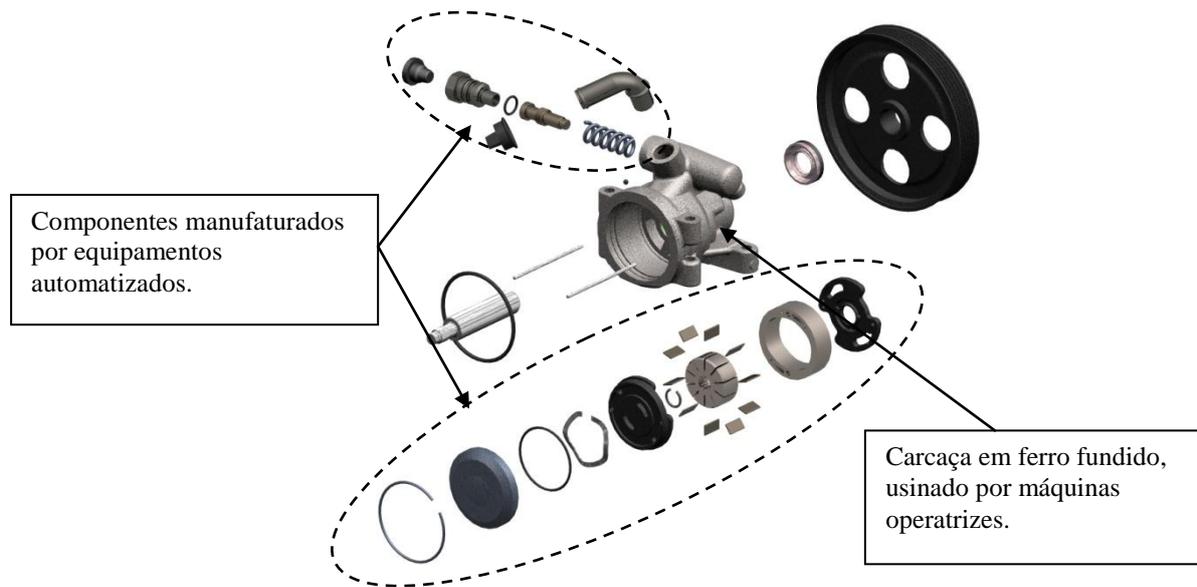
Figura 1 – Bomba hidráulica automotiva acabada



Para este estudo foram utilizadas duas famílias distintas de equipamentos: *automatizados e operatrizes*. As *máquinas automatizadas* caracterizam-se por serem equipamentos de montagem dos componentes internos do produto, extremamente precisas e rápidas. Sua função é quase que totalizada por operações de movimentação para montagem. Requerem um ambiente de trabalho limpo e com temperatura controlada. Este tipo de equipamento compõe aproximadamente 30% do parque fabril, com tempo de operação inferiores a 5 anos. Por serem equipamentos únicos e projetados especificamente para a empresa, o tempo médio de reparo (MTTR) deve ser extremamente curto, já que não há outros recursos para suprir a produção, cujas paradas por quebras são suportadas somente pelos *kanbans*.

Já as *máquinas operatrizes* são consideradas equipamentos de usinagem bruta, comandadas por controle numérico (CNC). São responsáveis por deixar a carcaça bruta com as dimensões ideais para montagem, cuja operação caracteriza-se por gerar grandes quantidades de sujidades (processo característico da usinagem de ferro fundido) e ao mesmo tempo exigem tolerâncias geométricas extremamente criteriosas. Na Figura 2 está apresentada uma vista explodida da bomba hidráulica objeto desse estudo.

Figura 2 – Vista explodida da bomba hidráulica



Para este estudo serão utilizados modos de falha de equipamentos pertencentes a estas duas grandes famílias. Por tratar-se de equipamentos distintos, projetados para fins distintos e com tempo de operação variados os dados de falha tendem a ser diferentes.

4.2. Definição dos modos de falha

Através do software de gestão de manutenção utilizado na empresa foram coletados os modos de falha foram definidas para os dois grupos de equipamentos, onde na Figura 3 estão descritos os modos de falha em função das falhas funcionais. Os impactos produtivos gerados pelo tempo de reparo e nível de substituição de cada equipamento complementam as informações necessárias.

Figura 3 - Modos de falhas, descrições e impacto produtivo para as máquinas analisadas

??	MODO DE FALHA?	DESCRIÇÃO?	IMPACTO PRODUTIVO?
Operatrizes?	Falha no Dispositivo	Falha por incapacidade de funcionamento no dispositivo de fixação das carcaças	Geralmente ocasionada por vazamento ou queda na pressão de óleo no sistema hidráulico do dispositivo. Intervenção rápida, realizada pela manutenção.
	Falha no Eixo B	Falha por incapacidade de movimentação da mesa trocadora de pallets.	Na intervenção geralmente é necessário desmontar todo o conjunto, assumindo demasiado tempo de parada.
	Falha no Eixo X	Falha por incapacidade de movimentação do eixo horizontal.	Na intervenção geralmente é necessário desmontar todo o conjunto, assumindo demasiado tempo de parada.
	Falha no Trocador de Ferramentas	Falha de operação do magazine trocador de ferramentas.	Requer regulagem e ajuste do conjunto. Intervenção relativamente rápida.
	Falha no eixo Árvore	Incapacidade produtiva devido a anomalia no eixo principal de torneamento.	Intervenções por este modo de falha geralmente demandam tempo e equipe especializada.
	Falha de Lubrificação	Falhas no sistema hidráulico do equipamento	Falhas oriundas de vazamento, baixa concentração ou baixo nível.
	Diversos	Outros modos de falha não enquadrados acima.	
Automatizados?	Falha de Movimentação	Falha funcional caracterizada pela impossibilidade do equipamento prender/fixar os componentes. Geralmente ocasionada por sistemas de garras e transporte.	Queda do componente, possibilidade de avaria de outros componentes. Requer intervenção de um técnico de manutenção.
	Falha de Medição	Falha funcional dos sistemas de medição dos componentes.	Ajuste eletrônico ou calibração dos sistemas de medição. Operação de difícil diagnóstico e reparo.
	Diversos	Outros modos de falha não enquadrados acima.	

Fonte: elaborado pelos autores

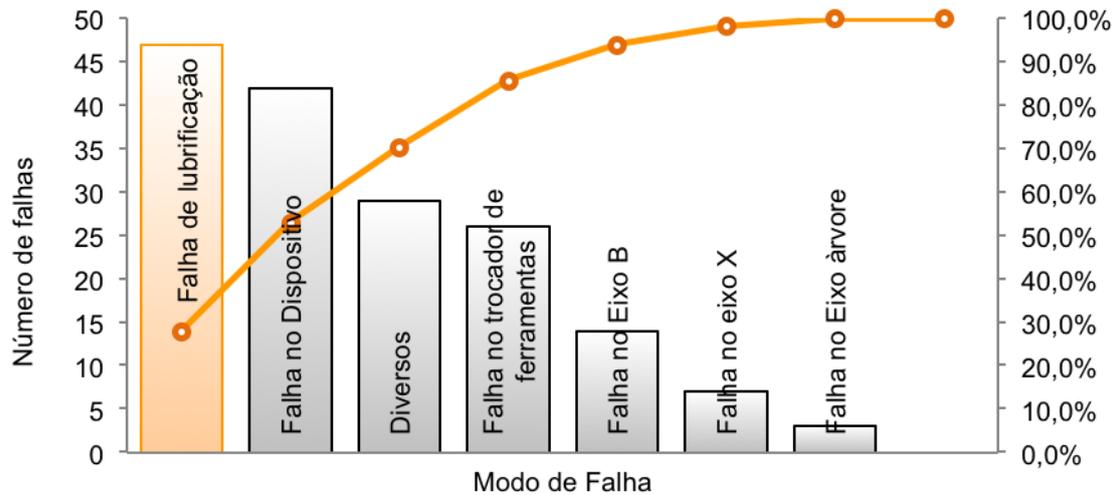
4.3. Coleta dos dados de falha

Os registros dos dados de falha utilizados para viabilizar a análise de confiabilidade são referentes ao período de dezembro de 2009 a março de 2010 para máquinas operatrizes e setembro de 2009 a março de 2010 para equipamentos automatizados. O processo de registro das falhas ocorreu através do *software* de gestão, onde os operadores de produção solicitam as intervenções através de ordens de manutenção.

Os dados de manutenção referentes à quantidade de parada e o somatório de tempo de reparo de cada modo de falha são cruciais numa tomada de decisão para elaboração da estratégia de manutenção. A frequência de cada modo de falha (Figura 4) é importante na escolha dos modos de falha prioritários para a realização das análises. A distribuição através do gráfico de

Pareto demonstra o somatório do tempo de parada de cada conjunto, tendo assim o modo de falha lubrificação como o mais freqüente.

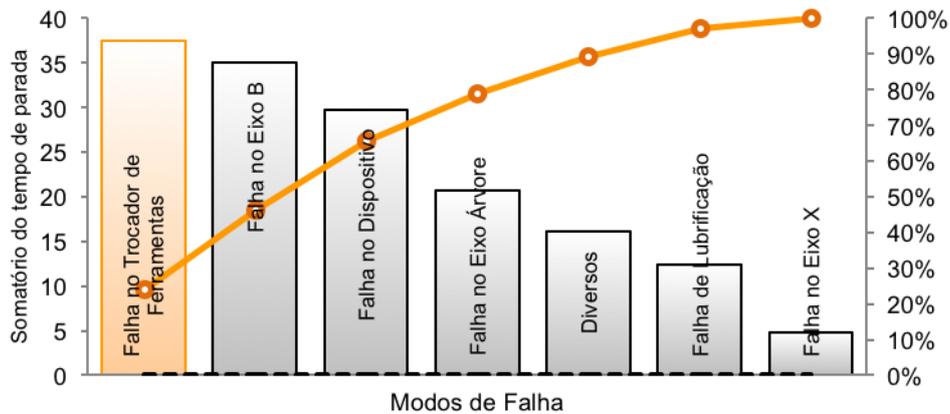
Figura 4 – Pareto da quantidade de falhas de máquinas operatrizes por modo de falha



Fonte: Elaborado pelos autores

Em uma análise de confiabilidade convencional são realizadas considerações aos modos de falha que ocorrem com maior frequência. Contudo, a análise das falhas que apresentam uma elevada severidade e aquelas que acarretam tempos de reparo muito elevados também apresentam relevância, em função da perda de produtividade associada. Desta forma, foram avaliados os modos de falha que apresentavam os maiores tempos de reparo para as máquinas operatrizes, conforme apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Somatório do tempo de parada das máquinas operatrizes

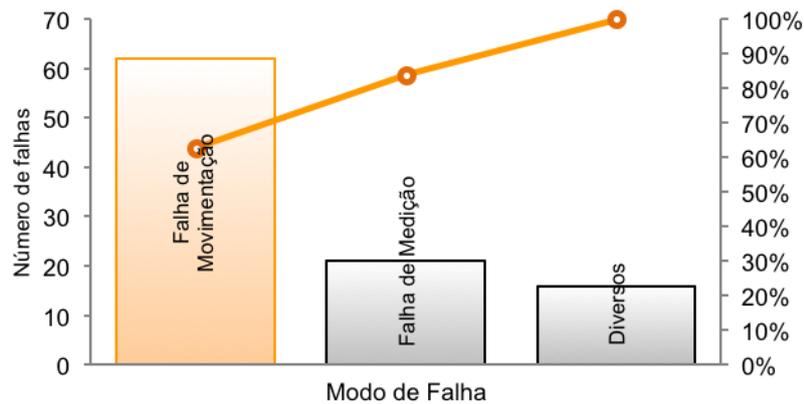


Fonte: elaborado pelos autores

Observa-se que a falha do trocador de ferramentas apresenta um tempo maior de parada total, pois as intervenções de manutenção requerem ajustes complexos. Através desta análise faz-se necessário um estudo mais detalhado de tal modo de falha.

Da mesma forma, a definição dos modos de falha para os equipamentos automatizados ocorreu em função da frequência. Entretanto, como a característica deste grupo de equipamento denota intervenções rápidas (MTTR geralmente menores do que 30 minutos), não se faz necessária uma análise dos tempos de reparo para os modos de falha. Na Figura 6 estão apresentados os modos de falha mais incidentes em tal tipo de equipamento.

Figura 6 – Pareto da quantidade de falhas de máquinas automatizadas por modo de falha



Fonte: Elaborado pelos autores

Com a obtenção dos dados de falha é estabelecida a priorização dos modos de falha através do número de ocorrências e tempo de reparo. Assim tem-se a definição dos modos: lubrificação, dispositivos e trocador de ferramentas para as máquinas operatrizes; movimentação para o grupo das automatizadas.

4.4. Análise de confiabilidade e estratégias de manutenção

Após a definição dos modos de falha realizou-se o teste de aderência para verificar qual das distribuições de probabilidade representaria mais adequadamente o conjunto dos tempos até a falha. Através do teste de aderência realizado no *software ProConf*, verificou-se que a distribuição de Weibull se ajusta adequadamente aos dados de falha para os dois grupos de máquinas, cujos parâmetros associados aos modos de falha estudados para cada tipo de equipamento estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros da distribuição Weibull para os equipamentos avaliados

Grupo de Equipamento	Modo de Falha	Quantidade de dados de falha	γ	θ	MTBF (horas)
Operatriz	a.1. Falha do trocador de Ferramentas	28	1,24	942,3	883,66
	a.2. Problemas de lubrificação	47	1,62	1058	949,62
	a.3. Falha no dispositivo	41	1,55	863	776,63
Automatizado	b.1. Problemas de	21	0,94	2068,7	2115

	medição				
b.2.	Falhas de movimentação	62	0,99	1650,1	1654

Fonte: *software ProConf*

Para as máquinas operatrizes, os valores de MTBF estão condizentes com a vivência prática diária experimentada pela equipe de manutenção da companhia. Entretanto, valores de MTBF para os equipamentos automatizados podem sofrer ligeira discrepância com a realidade. Tais distorções devem-se principalmente a dados inadequadamente lançados pela equipe técnica no sistema e eventual falta de registros das atividades executadas pelos técnicos de manutenção.

Observou-se que as falhas do conjunto trocador de ferramenta são responsáveis pelos maiores tempos de parada das máquinas operatrizes. O papel de probabilidade ajustado pela distribuição de *Weibull* está apresentado na Figura 7, enquanto que o comportamento da taxa de falhas está apresentado na Figura 8 para tal modo de falha.

Figura 7 – Papel de probabilidade ajustado por Weibull para as máquinas operatrizes para a falha do trocador de ferramentas

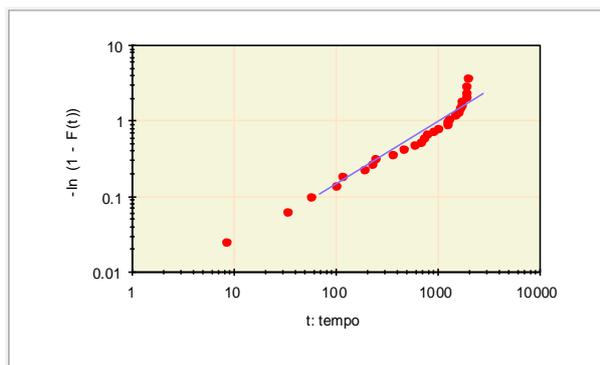
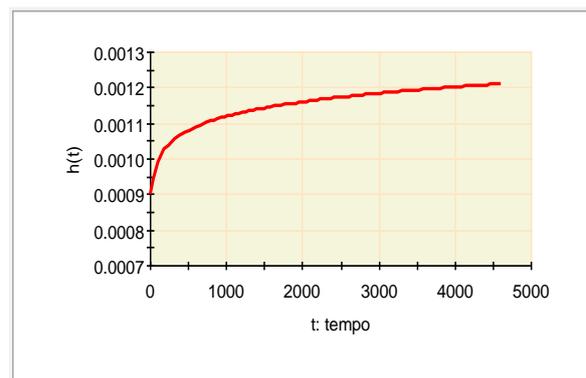


Figura 8 – Taxa de falha do trocador de ferramentas para as máquinas operatrizes



Fonte: *Software Proconf*

Com MTBF de 883,66 horas e parâmetro de forma igual a 1,05, pode-se inferir que a taxa de falhas é praticamente constante, cujos problemas incidentes são de origem aleatória. Neste caso pode-se considerar que o modo de falha encontra-se na fase de maturidade da curva da banheira, já que $\gamma \approx 1$. As atividades de manutenção executadas neste conjunto são

basicamente compostas por ajustes e regulagens, recomendando-se o uso de técnicas de manutenção preditiva. No contexto atual devem ser estabelecidos planos de inspeção contendo padrões e formas de ajustes do conjunto, pois instruções padronizadas de manutenção são extremamente viáveis nestes casos. Outra metodologia conhecida é a inspeção baseada em risco (RBI – *Risk Based Inspection*), que define conceitos para tomada de decisão de manutenção através de processos quantitativos e qualitativos através de listas de inspeções gerenciadas pelo risco.

As falhas funcionais originadas por problemas de lubrificação são responsáveis por grande quantidade de intervenções, porém com pouco impacto no tempo de parada dos equipamentos. A Figura 9 confirma a aderência da amostra à distribuição de Weibull, podendo-se observar que o valor do parâmetro de forma da distribuição Weibull é elevado ($\gamma = 1,62$). Neste caso pode-se inferir que há um problema relacionado ao desgaste de componentes, com uma tendência de elevação ao longo do tempo, conforme mostrado na Figura 10.

Figura 9 – Papel de probabilidade ajustado por Weibull para os problemas de lubrificação

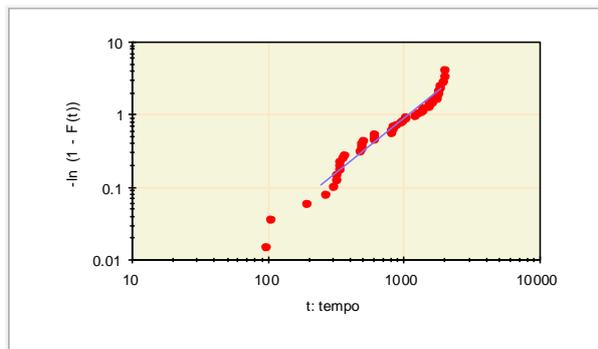
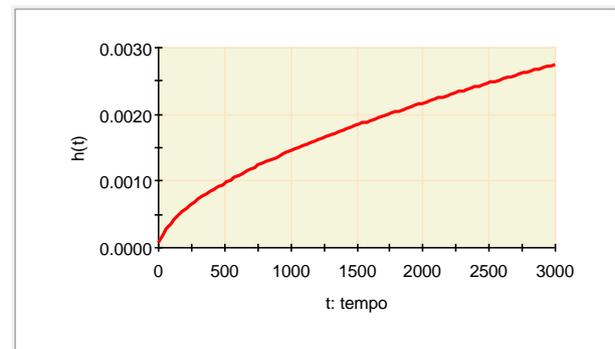


Figura 10 – Taxa de falha devido à problemas de lubrificação nas máquinas operatrizes



Fonte: *Software Proconf*

Considerando este modo de falha pode-se afirmar que as técnicas de TPM são a melhor forma de ajustar as atividades de manutenção preventiva com o cenário atual do equipamento. Esta abordagem pode ser mais bem estruturada com manutenções autônomas, na qual os operadores, munidos de recursos e instrução, farão as inspeções e correções necessárias.

O conjunto de dispositivos pode ser considerado um agregado do equipamento, já que foram projetados para aplicação exclusiva. Portanto, embora não menos relevante, é compreensível

que seu comportamento seja diferente dos demais componentes do sistema. Por tratar-se de um equipamento com dispendioso tempo de reparo faz-se necessário o uso de técnicas mais efetivas de manutenção. A Figura 11 apresenta a adequação da amostra a distribuição *Weibull*, enquanto que na Figura 12 está apresentado o comportamento da taxa de falhas.

Figura 11 – Papel da probabilidade ajustado por Weibull para as falhas no dispositivo

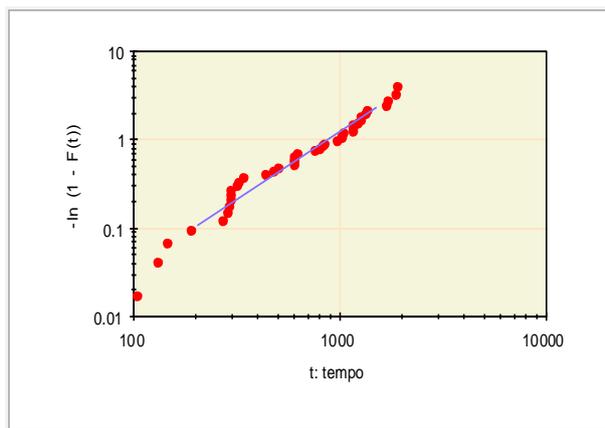
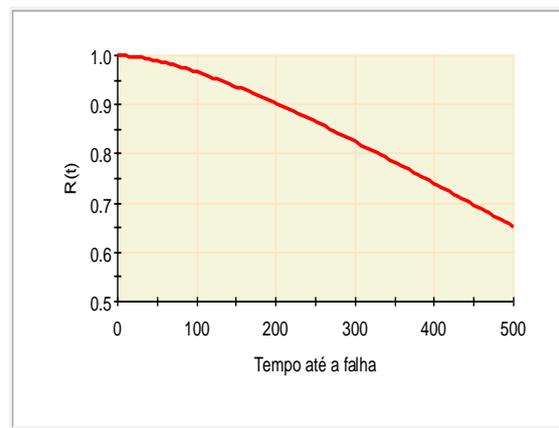


Figura 12 – Taxa de falhas do dispositivo para as máquinas operatrizes



Fonte: *Software Proconf*

Para garantir uma confiabilidade de 80% é necessário que as intervenções preventivas ocorram em intervalos não superiores há 329 horas (aproximadamente 14 dias de produção), atividade inviável em função do tempo das atividades. Portanto, para terem-se níveis elevados de confiabilidade, faz-se necessárias atividades de reforma ou substituição do conjunto, seguido de um sólido plano de manutenção preventiva.

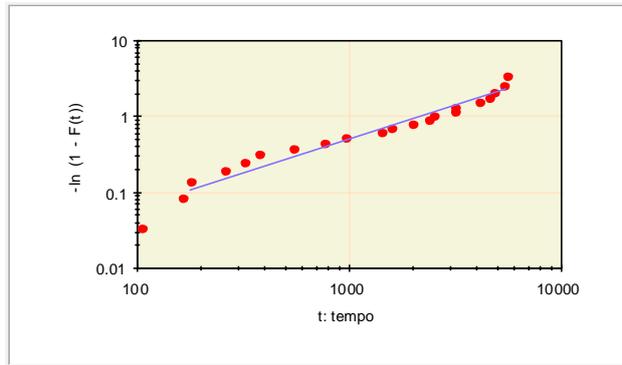
Os modos falha verificados nos equipamentos automatizados possuem a particularidade de apresentarem baixo tempo de reparo. A falha de medição é considerada, na maioria das vezes, como erro operacional, pois os operadores por desconhecimento técnico não conseguem realizar os ajustes dos parâmetros necessários para operar o equipamento.

Com parâmetro de forma igual a 0,94 e um MTBF = 2115 horas, pode-se verificar que as falhas relacionadas à problemas de medição encontram-se na fase de mortalidade infantil da curva da banheira, conforme comportamento da taxa de falhas evidenciado na Figura 14. A Figura 13 apresenta a aderência da amostra ao modelo de Weibull.

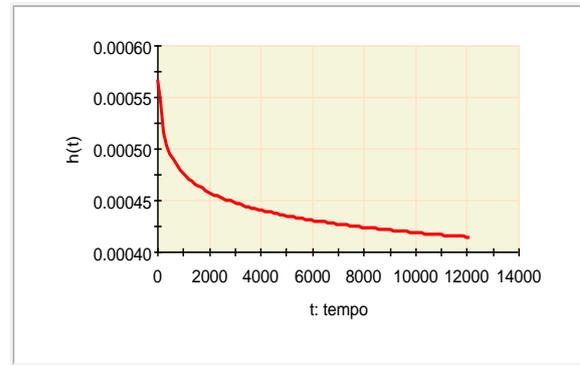
Figura 13 – Papel da probabilidade ajustado por

Figura 14 – Taxa de falha devido aos

Weibull para os problemas de medição



problemas de medição



Fonte: Software Proconf

Para tal modo de falha, em função do alto valor de MTBF e baixo MTTR, seria interessante o emprego da atividade de manutenção corretiva, juntamente com um acompanhamento da evolução de taxa de falhas.

Já as falhas referentes ao sistema de movimentação ocorrem geralmente por problemas de ajustes do equipamento. Por tratar-se de um sistema pouco robusto exige-se frequente intervenção para regulagens, onde na Figura 15 está apresentado o papel de probabilidade de Weibull e na Figura 16 o comportamento da taxa de falhas.

Figura 15 – Papel da probabilidade ajustado por Weibull para os problemas de movimentação

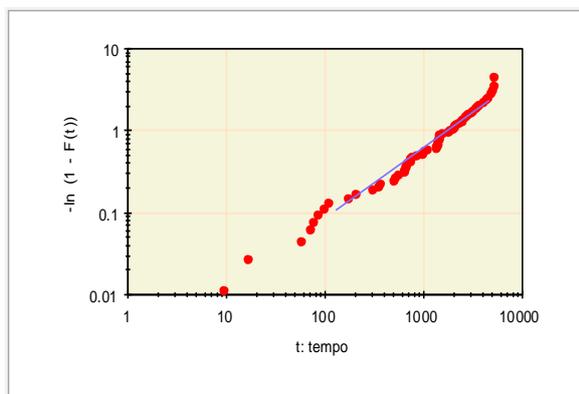
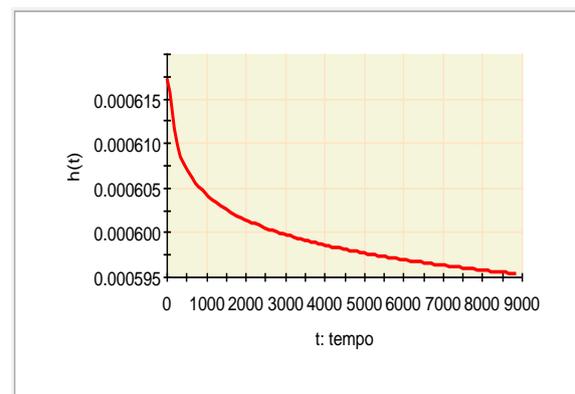


Figura 16 – Taxa de falha dos problemas de movimentação para os equipamentos automatizados



Fonte: Software Proconf

Com taxa de falha estável e $\gamma = 0,99$ afirma-se que o conjunto está na sua fase de vida útil

(Figura 16) observando-se a tendência de estabilização da taxa de falhas em função do tempo. Isto condiz com a realidade do sistema e a condução da manutenção por meios de inspeções preventivas que no contexto atual requerem regulagens periódicas seguido de lubrificação e limpeza dos componentes. Por tratar-se de regulagens rápidas estas intervenções podem ocorrer com frequências elevadas sem onerar a capacidade produtiva do equipamento.

A relação dos resultados dos dois grupos de equipamentos condiz com a idade dos maquinários, onde as máquinas operatrizes possuem vida de operação mais elevadas que as automatizadas.

5. Considerações finais

Através dos resultados obtidos pode-se observar que na análise destes dois grupos distintos de equipamentos a os tipos de manutenção tendem a ser diferenciados para ambos os casos. Os equipamentos mais voltados para automação, com sistemas mais frágeis e complexos, tende a apresentar taxas de falhas mais estáveis, requerendo o uso de inspeções para seu funcionamento adequado. Já os equipamentos operatrizes, de usinagem pesada, característico de sistemas robustos, apresentaram perspectivas de crescimento das taxas de falha, correspondendo com o atual grau de degradação destes equipamentos.

Em um processo produtivo caracterizado e conduzidos pelos conceitos de *lean production* e produção puxada qualquer tipo de perda impacta diretamente nos resultados. A exigência de elevados níveis de confiabilidade são pré-requisitos para a manutenção do processo. Nesse contexto, as estratégias de manutenção levantadas para cada modo de falha apresentam a perspectiva de evolução destes resultados. A aplicabilidade destes conceitos foram definidas considerando o cenário empresarial atual e suas implementações são extremamente tangíveis.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O. Emprego da confiabilidade na gestão estratégica da manutenção: estudos de caso. In: **Simpósio Internacional de Confiabilidade (SIC)**, RELIASOFT, Fortaleza, 2011.

CASTONE, N. R. **Metodologia para Análise e Otimização da Confiabilidade, da Mantenabilidade e da Disponibilidade de um Processo Contínuo de Produção**. Dissertação (Mestrado em Engenharia), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, 1992.

ELSAYED, E.A. **Reliability engineering**. Massachusetts: Addison Wesley Longman, 1996.

FILHO, S. S. **Análise de árvore de falhas considerando incertezas na definição dos eventos básicos**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2006.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de Confiabilidade, Mantenabilidade e Disponibilidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2001.

LINER, J. K. ; MÉIER, D. **O Modelo Toyota: Manual de Aplicação**, São Paulo, Editora Bookman, 2006.

PROCONF98. 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.

SCHADLER, I. L. **Gerenciamento do crescimento da confiabilidade: um estudo aplicado no setor de máquinas agrícolas**. Dissertação (Mestrado profissionalizante em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFRGS, Porto Alegre, 2003.

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

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. **Soluções Enxutas**. Editora Campus, Rio de Janeiro, 2006.

WYREBSKI, J. **Manutenção produtiva total: um modelo adaptado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

YIN, R. K. **Estudo de caso, planejamento e métodos**. Editora Bookman, Porto Alegre, 2009.