

ANÁLISE DE FALHAS E DA POSIÇÃO NA CURVA DA BANHEIRA DE MOLDES EMPREGADOS EM EQUIPAMENTOS DE INJEÇÃO

Luiz Otavio Rosa Reis (PUCRS)

luereis@yahoo.com.br

Jairo José de Oliveira Andrade (PUCRS)

jairo.andrade@pucrs.br



Esse trabalho apresenta uma aplicação da confiabilidade aplicada ao estudo de falhas em moldes de injeção em uma empresa do setor elétrico localizada no Estado do Rio Grande do Sul. Durante um período de um ano foram coletados dados de falha em moldes de injeção, cujos mesmos foram inseridos em dois programas estatísticos para verificar a aderência à distribuição de Weibull. Logo após, considerações são realizadas a respeito da fase da curva da banheira na qual os moldes de injeção estão inseridos, correlacionando os resultados oriundos do modelo com informações obtidas do dia-a-dia da operação do equipamento. Verificou-se que os dados obtidos através da análise de confiabilidade são aderentes com o comportamento do equipamento na produção, evidenciando pontos que devem ser objeto de melhoria dentro do processo, a fim de promover um aumento da produtividade e da confiabilidade do equipamento estudado.

Palavras-chaves: Confiabilidade, moldes de injeção, análise de falhas, curva da banheira, distribuição de Weibull

1. Introdução

No cenário competitivo atual, a criação de controles para monitoramento de processos produtivos e para atendimento as normas adotadas por empresas de manufatura tornou-se algo primordial. A partir da coleta destes dados, pouco se tem investido em estudos que modelassem com precisão as características de falha nos ferramentais utilizados, ficando tal atividade restrita geralmente às áreas técnicas e não gerenciais. A necessidade destas análises é evidenciada como carência da alta gerência, com propósitos de estimar planos de investimento anuais que contemplem a condição dos equipamentos.

A importância de qualquer falha específica é determinada parcialmente pelo efeito que tem no desempenho de toda a produção ou sistema (SLACK, 1999). A partir da detecção, cadastramento e diagnóstico das ocorrências de falhas há uma maximização da probabilidade de atuar com precisão nas causas que realmente impactam negativamente nas metas de produção.

Deve-se ter em mente que o objetivo principal da análise de falhas é evitar a ocorrência de novas falhas, ou seja, a investigação deve determinar as causas básicas das falhas e as informações pertinentes devem ser utilizadas para permitir a implantação de ações que impeçam a reincidência do problema (AFONSO, 2006). Como exemplo pode-se citar que, a partir da aplicação dos métodos de análise de falhas, tem-se a possibilidade de prolongar a fase de desgaste de uma ferramenta ou equipamento, prorrogando a necessidade de gastos imprevistos. Como consequência tem-se uma elevação do nível de excelência de produção e redução nos custos inerentes a atividades tidas como de suporte a atividade de manufatura.

As abordagens adotadas para a análise de falhas visam primordialmente modelar o comportamento de um dado equipamento ao longo da sua vida útil, garantindo uma estimativa mais concreta no planejamento de novos recursos em planos de investimento e no estabelecimento de intervalos adequados para as atividades de manutenção preventiva e preditiva.

Nesse ponto deve-se discutir a respeito da profundidade da análise da falha, pois normalmente as indústrias não têm uma equipe dedicada exclusivamente para essa atividade. Desta forma, Afonso (2006) cita que há a necessidade do estabelecimento de um critério de priorização que ajude a focar os problemas principais, a fim de se obter o maior retorno possível em função dos recursos disponíveis, conforme apresentado sumariamente na Figura 1.

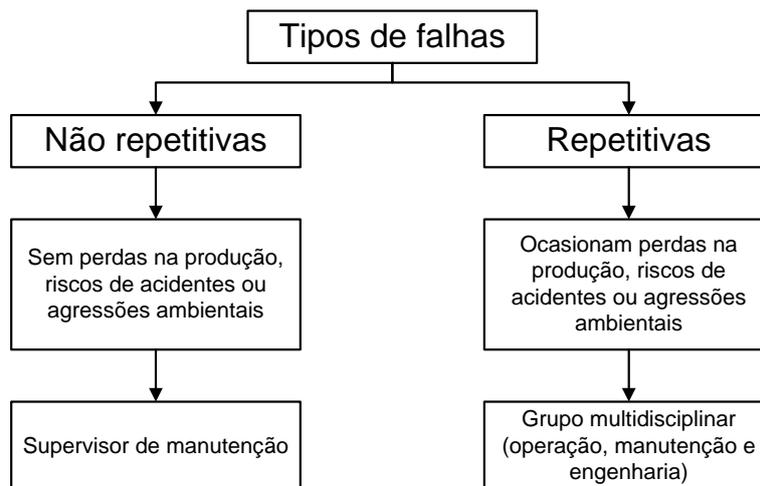


Figura 1 – Profundidade da análise em função das características das falhas (Adaptado de AFONSO, 2006)

Desta forma, verifica-se que a aplicação dos conceitos de confiabilidade consiste em uma ferramenta importante na análise de falhas. A confiabilidade de um item corresponde a sua probabilidade de desempenhar de forma adequada o propósito pelo qual foi projetado, considerando um período de tempo sob condições de operação pré-determinadas, isento de falhas (NBR 5462, 1994). Complementando esse conceito, Lafraia (2001) cita que a confiabilidade está relacionada com a avaliação probabilística da falha de um dado produto, equipamento e/ou sistema.

Segundo Filho (2006), a confiabilidade e o gerenciamento de riscos são áreas de pesquisa que vêm apresentando um crescimento significativo, principalmente devido às exigências impostas pela sociedade com relação à vários aspectos, podendo-se citar a melhora da qualidade e eficiência de produtos, aumento da produtividade e competitividade das organizações, entre outros. Nesse contexto, as técnicas de confiabilidade são um poderoso instrumento para auxiliar os gestores na tomada de decisão, possibilitando a implementação de políticas que minimizem os custos de operação, manutenção e inspeção de sistemas industriais.

Levando-se em consideração a confiabilidade de sistemas, Brostel e Souza (2005) salientam que existem duas categorias específicas: a confiabilidade de projetos e a confiabilidade operacional. Na primeira categoria inclui o estudo de itens, como a análise de confiabilidade, verificação de projetos e análises de testes de confiabilidade. Já a confiabilidade operacional trata da análise de falhas, registros de operação, ações preventivas/corretivas entre outras.

Desde sistemas simples, e principalmente nos sistemas complexos, as sistemáticas de manutenção devem ser mais elaboradas. Desta forma, a confiabilidade apresenta-se como uma ferramenta imprescindível para se conhecer o comportamento de itens críticos que precisam ser gerenciados, cujo o aumento da confiabilidade requer o aumento do tempo médio entre falhas (*MTBF - Mean Time Between Failures*) de um dado equipamento e/ou sistema. Nesse sentido, Dias (1996) comenta com propriedade que para se avaliar adequadamente os efeitos da falha em um sistema devem ser considerados os aspectos tanto técnicos quanto gerenciais.

A análise de confiabilidade tem sido aplicada em várias áreas do conhecimento, como nas engenharias mecânica e eletrônica, no desenvolvimento de sistemas de *software* e na engenharia de manutenção. Martins e Sellitto (2006) realizaram um estudo de confiabilidade em alimentadores de energia elétrica, cujos autores determinaram que os dados de falha

desses elementos seguiam uma distribuição de Weibull, determinando assim a confiabilidade dos mesmos e o ponto do ciclo de vida no qual o sistema se encontrava no momento. Souza e Possamai (2000) estudaram a aplicação do conceito de confiabilidade como suporte ao projeto de desenvolvimento de produtos em uma empresa fabricante de eletrodomésticos do sul do Brasil, juntamente com outras ferramentas como o QFD, a FTA e o FMEA, mostrando que há um ganho dentro do processo ao se empregar essas ferramentas de forma integrada. Sellitto (2007) realizou uma análise da manutenção em uma linha de produção de indústria do ramo automobilístico composta por seis unidades produtivas, cujos equipamentos podem apresentar muitos modos de falha diferentes, baseando-se em estudos de confiabilidade sistêmica e de equipamentos individuais. O autor mostrou, através das análises efetuadas, que havia a possibilidade da realização de manutenções preventivas e preditivas em determinados grupos de máquinas, mostrando a aplicabilidade da confiabilidade na determinação de intervalos de manutenção.

Um trabalho muito interessante foi desenvolvido por Wuttke e Sellitto (2008), cujos autores apresentaram uma forma de posicionar, na curva da banheira, a condição de uma válvula de processo com base na técnica da manutenção centrada em confiabilidade (*Reliability centered maintenance* – RCM). Os autores demonstraram que, com base nos dados de falha da válvula, o ideal seria a realização de atividades de manutenção preventiva.

Desta forma, o presente trabalho visa apresentar uma análise de confiabilidade de moldes empregados no processo de injeção de plásticos, posicionando na curva da banheira a condição dos mesmos. As análises realizadas, bem como as discussões pertinentes, estão descritas nos itens a seguir.

2. Estudo de caso

2.1 Apresentação da empresa

A empresa onde o estudo foi realizado é fabricante de interruptores, tomadas, quadros elétricos, plugues e acessórios domésticos e teve sua fundação no ano de 1964. O trabalho foi realizado no setor de ferramentaria, onde poucos controles e índices existiam sobre a utilização e manutenção de ferramentas de injeção. Na ferramentaria são realizados o desenvolvimento do projeto, execução e manutenção do ferramental. O setor dispõe de quatro máquinas de eletropenetração, uma de eletropenetração a frio, um torno mecânico, três fresas, uma furadeira de bancada, mesa para solda TIG, dois moto-esmeris, duas retíficas (plana e perfil) e duas fresadoras CNC. Com este suporte são feitas as usinagens de novos componentes e de reposição. O setor também é responsável pela realização dos testes (*try-outs*) das ferramentas (produzidas dentro e fora da empresa), que após serem aprovadas são liberadas a produção. O setor conta atualmente com duzentos moldes de injeção somados a novos projetos com finalização prevista. Cada molde possui uma concepção única para o qual foi dimensionado, sempre levando em consideração principalmente as características gerais das peças a serem injetadas e o material a ser utilizado. Os mesmos são utilizados em 26 máquinas injetoras, os principais materiais utilizados são os plásticos PP, PS, ABS, PA e PC.

2.2 Procedimento de análise

Para execução de quaisquer atividades relacionadas ao setor de ferramentaria é necessário gerar uma ordem de serviço de ferramentaria (OSF), cuja abertura é responsabilidade do solicitante da área. Todo e qualquer tipo de informação pertinente ao serviço deve ser atrelada

ao documento. Cada colaborador caracteriza o teor das tarefas a serem executadas em função dos códigos para classificação (com informações sobre as características de falha), incluindo o tempo de duração em cada tarefa executada. Após o fechamento do mês as informações são inseridas em arquivo eletrônico para apresentações e análises estatísticas para discussão, procurando identificar modos de falha em potencial e orientar medidas preventivas. Os dados que empregados nesse estudo foram extraídos do controle de OSF dentro do período de um ano (maio/2008-maio/2009). No presente trabalho serão apresentados os dados referentes ao comportamento das falhas do molde do corpo da tomada padrão NBR 14136, que é um equipamento responsável por uma significativa parcela do faturamento da empresa atualmente. Na Figura 2 está apresentado um dos moldes que são empregados na produção.



Figura 2 – Molde objeto de estudo

A ferramenta que comporta os moldes teve sua fabricação em agosto de 2004, e é uma peça de extrema importância para garantia do faturamento mensal da organização. Dentro do período de um ano os moldes apresentaram um total de 56 falhas, cuja distribuição nos diversos modos de falha estão apresentados na Tabela 1.

Modo de falha	Ocorrência
Rebarba(s) na(s) peça(s)	34%
Retenção de peça(s)	16%
Bico(s) de injeção entupido(s)	10%
Peça(s) deformada(s)	9%
Vazamento d'água	5%
Outros	26%

Tabela 1 – Grau de incidência dos modos de falha

As principais causas de falha, considerando o modo de falha predominante, estão apresentadas na Figura 3.

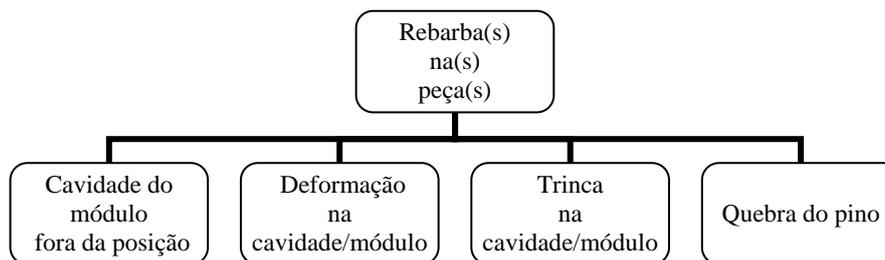


Figura 3 – Principais causas de falha relacionadas com a presença de rebarbas em peças injetadas

Em função da importância desse equipamento dentro do processo de produção e da necessidade da realização de um diagnóstico adequado dos tempos médios entre a ocorrência de falhas, decidiu-se pela realização de um estudo de confiabilidade operacional dos moldes. Primeiramente foi realizada uma análise visando determinar o modelo estatístico que tenha uma melhor aderência aos dados de falha. Para tanto foram usados dois *softwares* específicos, empregando-se o estimador da Máxima Verossimilhança para a obtenção dos dados. Os resultados dos testes de aderência estão apresentados na Tabela 2 e na Tabela 3.

Distribuição	Teste χ^2 5df	Teste KS	Decisão
Exponencial	n.s. = 0,9537	n.s. = 0,3623	Não rejeitar
Weibull	n.s. = 0,8811	n.s. = 0,3736	Não rejeitar
Gamma	n.s. = 0,8958	n.s. = 0,3658	Não rejeitar
Lognormal	n.s. = 0,6273	n.s. = 0,2405	Não rejeitar
Normal	n.s. = 0,0000	n.s. = 0,0000	Rejeitar

Tabela 2 – Resultados dos ajustes às distribuições (Fonte: ProConf 98®)

Distribuição	Teste χ^2 $P(\chi^2_{\text{crit}} < \chi^2)$	Teste KS $P(D_{\text{cr}} < D)$	Decisão
Exponencial	0,014%	0,027%	Não rejeitar
Weibull	0,001%	0,666%	Não rejeitar
Gamma	-	100%	Rejeitar
Lognormal	0,007%	7,39%	Não rejeitar
Normal	0,121%	88,81%	Rejeitar

Tabela 3 – Resultados dos ajustes às distribuições (Fonte: Weibull ++7®)

Desta forma, decidiu-se adotar a distribuição de Weibull para representar o comportamento das falhas da ferramenta. Essa escolha baseia-se no fato de que essa distribuição explica o comportamento de sistemas complexos cuja falha é oriunda da competição entre diversos modos de falha, o que ocorre se eles atuarem em série, competindo pela falha, como em equipamentos industriais (LEWIS, 1996 citado por SELLITTO, 2007).

Independentemente do *software* empregado, os parâmetros da distribuição foram exatamente os mesmos, conforme observado na Tabela 4.

Software	γ	θ	MTBF (horas)	t_{10} (horas)	t_{50} (horas)
ProConf 98®	1,0495	46,9153	46	5,16	32,46
Weibull ++7®	1,0495	46,9153	46	5,16	32,46

Tabela 4 – Valores dos parâmetros para distribuição de Weibull

Pode-se verificar que o parâmetro de forma (γ) está muito próximo de 1, o que significa que a ferramenta encontra-se na fase de vida útil dentro da chamada curva da banheira. Nesta etapa pode-se afirmar que as falhas incidentes nos componentes mecânicos estão relacionadas com eventos aleatórios e/ou erros sistemáticos no processo, conforme mostrado na Figura 4 e ratificado pela observação do comportamento da taxa de falhas no tempo (Figura 6). Além disso, o MTBF calculado está aderente com a situação atual do equipamento de acordo com o pessoal responsável pela manutenção, evidenciando o curto intervalo de tempo de operação contínua do mesmo.

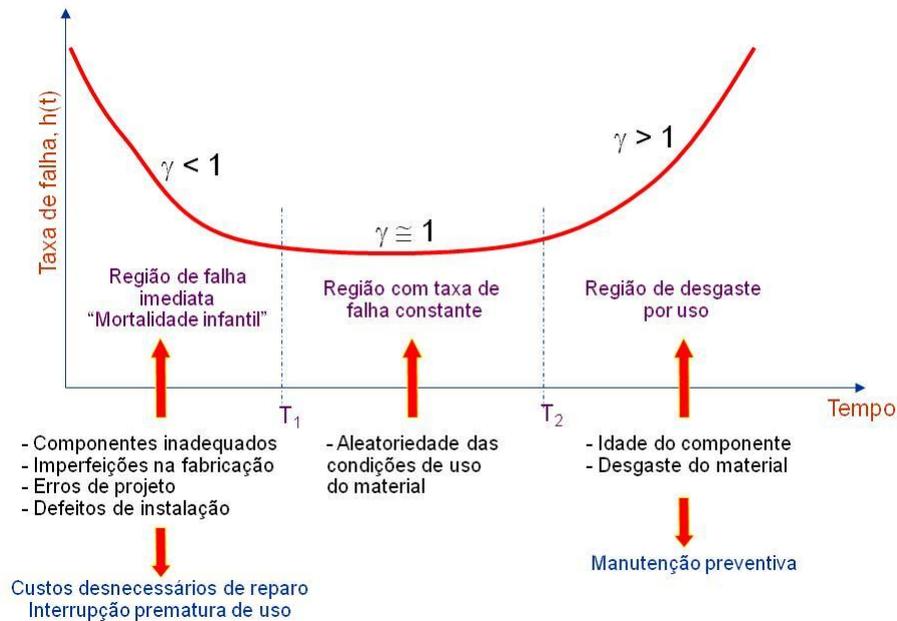


Figura 4 – Comportamento de um equipamento em função do parâmetro de forma da distribuição de Weibull

O gráfico de probabilidade para as falhas nos moldes está apresentado na Figura 5.

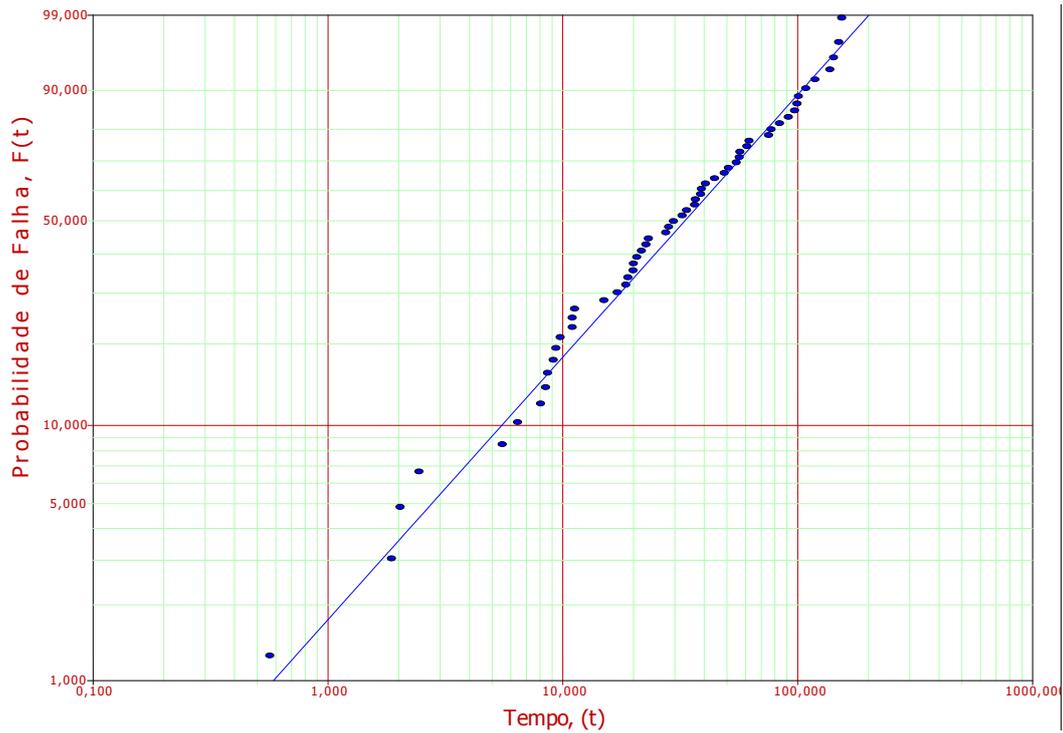


Figura 5 – Papel de probabilidade de Weibull para os dados apresentados (Fonte: Weibull ++7®)

Na Figura 6 está apresentada a função de risco para os moldes. Pode-se observar que ela apresenta uma característica aproximadamente linear, ratificando a colocação de que os moldes encontram-se na fase de vida útil da curva da banheira.

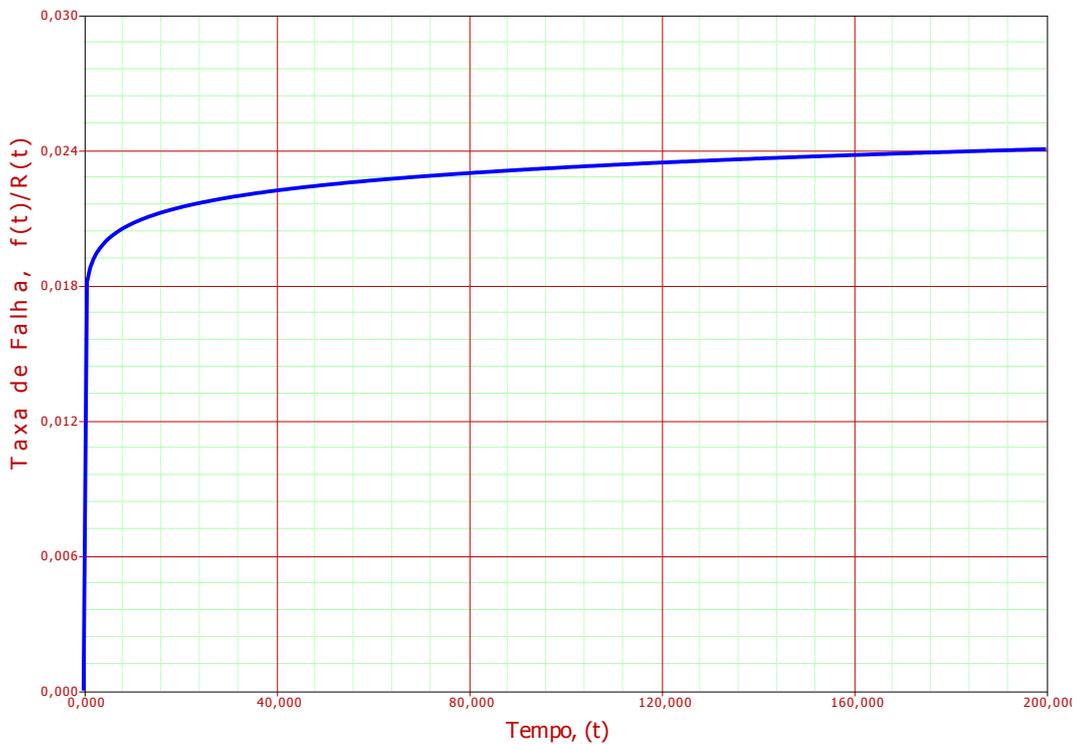


Figura 6 – Taxa de falhas dos moldes (Fonte: Weibull ++7®)

Na Figura 7 está apresentada a curva de confiabilidade dos moldes em estudo ao longo do tempo.

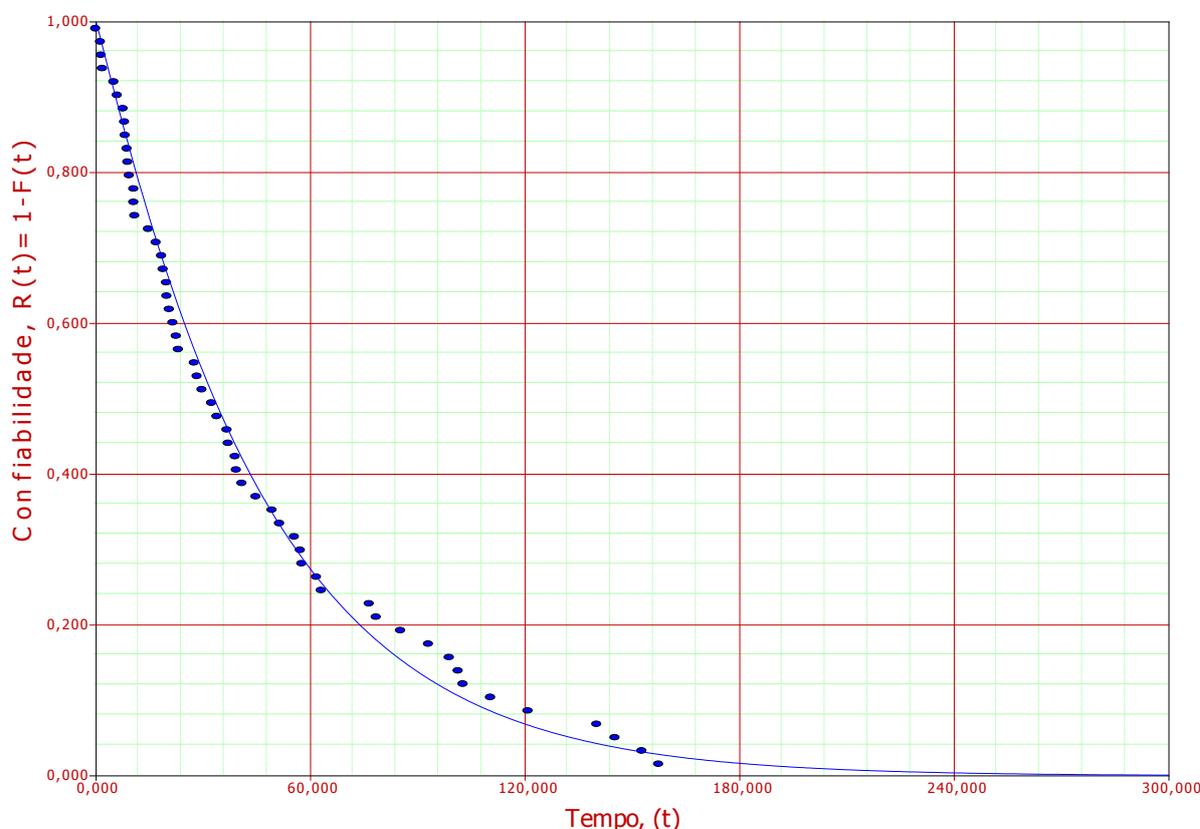


Figura 7 – Gráfico de confiabilidade dos moldes (Fonte: Weibull ++7®)

Neste caso específico foi realizada uma análise para se verificar se é mais vantajoso realizar uma manutenção preventiva nos moldes ou continuar efetuando a manutenção corretiva, como é atualmente realizado na empresa. O procedimento efetuado foi baseado no trabalho apresentado por Sellito et al. (2002), que analisa a viabilidade da realização de manutenção corretiva ou preventiva em um equipamento, considerando que os dados de falha possam ser modelados pela distribuição de Weibull. Para a realização dessa atividade foi levantado que o custo da manutenção preventiva na ferramenta era igual a R\$ 18,80, excetuando-se os casos onde ocorra a necessidade da realização de serviços de eletroerosão com fio de cobre, em função do alto custo da hora-máquina. Já o custo da manutenção corretiva é, em média, igual a R\$ 94,00. Com base nesses valores e nos parâmetros da distribuição de Weibull, verificou-se que a implementação da manutenção preventiva não se torna viável. Alguns pontos podem explicar essa afirmação:

- a) Como os dados de falha dos moldes encontram-se na região de vida útil dos mesmos as falhas tentem a ser aleatórias, considerando os principais modos de falha diagnosticados. A presença de rebarba na peça é considerada responsável pelo maior índice de ocorrências de manutenção corretiva no equipamento. Dentre os diversos fatores que podem ocasionar esse problema podem ser destacados a presença de trincas no molde, quebras no pino, entre outros. Essas ocorrências são consideradas aleatórias, visto que não há a possibilidade de identificar algum sintoma de aparecimento desses problemas durante a operação normal do equipamento.

- b) O baixo valor do MTBF do equipamento (46 horas) indica que, possivelmente, as falhas sejam de origem sistemática, ou seja, atribuídas a um fator externo. No caso em questão suspeita-se que esteja ocorrendo um desalinhamento da parte fixa com a parte móvel do equipamento de injeção. Tal fato pode ocorrer em função de algumas causas básicas, tais como: falta de cuidado dos profissionais responsáveis pela colocação do molde em máquina, no momento em que ocorrem solicitações para troca do produto a ser fabricado no processo de injeção bem como o desalinhamento da própria máquina injetora, em função do processo repetitivo de funcionamento durante os três turnos, cada um com 8 horas de serviço.

Como o equipamento teoricamente encontra-se na zona de falhas constantes da curva da banheira (Figura 4), três alternativas podem ser adotadas (isoladamente ou em conjunto). A primeira diz respeito ao projeto de moldes mais robustos em relação às suas condições de utilização. A padronização das operações consiste na segunda medida a ser tomada para melhorar a confiabilidade dos moldes, cujas medidas práticas sugeridas estão detalhadamente apresentadas nas Conclusões do presente trabalho. Já a terceira alternativa diz respeito à adoção de técnicas de manutenção preditiva nos moldes, a fim de tentar identificar algum indício de trincas, desalinhamentos, entre outros.

3. Conclusões

O nível de conformidade exigido pela matriz internacional da empresa em qualquer processo de fabricação corresponde a 97% da produção total. Considerando o alto padrão de exigência, as constantes paradas de produção em função da constatação de rebarbas (que é considerado um item não conforme) tornam-se frequentes, com perda de tempo para a realização das atividades de manutenção nos moldes, com conseqüente minimização da disponibilidade do equipamento para a produção.

Com os dados de falha coletados e analisados através da teoria da confiabilidade pôde-se apresentar à direção da empresa o comportamento do equipamento ao longo do tempo. O baixo valor do MTBF evidencia que em aproximadamente 6 turnos ininterruptos de trabalho ocorre a paralisação da produção por culpa do aparecimento de falhas no molde de injeção.

Desta forma, a fim de maximizar o tempo de operação do equipamento, devem ser estabelecidos intervalos pré-programados para a parada do mesmo, em virtude da verificação das condições dos moldes (limpeza, verificação do alinhamento, avarias na estrutura do molde, entre outras), de preferência empregando-se as técnicas de manutenção preditiva. O MTBF pode ser considerado como parâmetro indicativo desse tempo, já que na atual situação de operação o molde é revisado somente ao final da produção programada para o mesmo, o que normalmente ultrapassa o período de 30 dias.

Além disso, os profissionais responsáveis pelas trocas de molde, preparação de máquina (alimentação de matéria-prima e pré-setagem dos parâmetros de injeção) devem necessariamente passar por uma qualificação condizente com a complexidade do processo, a fim de minimizar problemas relacionados ao incorreto posicionamento e manipulação do molde em situações que não vão de encontro com suas atribuições profissionais, proporcionando o bom andamento das atividades e conseqüente minimização da ocorrência de falhas no equipamento. Para isso, a atividade de treinamento intensivo relacionado à análise de falhas para o pessoal operacional é importante, pois a maior parte dos problemas é diagnosticada pelos operadores e/ou supervisores, que devem reconhecer o modo de falha e identificar as principais causas das mesmas. Somente com o reconhecimento das limitações

sobre a abrangência de cada função no chão de fábrica e com a determinação dos intervalos de monitoramento, boa parte das medidas corretivas teria uma maior probabilidade de serem evitadas ou ao menos atenuadas significativamente.

Referências

AFONSO, L. O. A. *Equipamentos mecânicos: análise de falhas e solução de problemas*. Qualitymark. Rio de Janeiro, 336p. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Confiabilidade e manutenibilidade - terminologia* NBR 5462. Rio de Janeiro, 37p. 1994.

BROSTEL, R. C.; SOUZA, M. A. A. *Determinação da confiabilidade operacional de estações de tratamento de esgotos do Distrito Federal*. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 11p. 2005.

DIAS, A. *Metodologia para análise da confiabilidade em freios pneumáticos automotivos*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) UNICAMP. Campinas, SP. 199p. 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, 299p. 2006.

LAFRAIA, J. R. B. *Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade*. Qualitymark. Rio de Janeiro, 373p. 2001.

MARTINS, J. C.; SELBITTO, M. *Análise da estratégia de manutenção de uma concessionária de energia elétrica com base em estudos de confiabilidade*. XXVI ENEGEP. Fortaleza. ABEPRO, 9p. 2006.

PROCONF 98. *Confiabilidade de Componentes. Software*. Copyright©, Maxxi Gestão Empresarial, Porto Alegre, 1998.

SELBITTO, M. *Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos*. Gestão da Produção, Operações e Sistemas. Ano 2, v. 3, p. 97-108, mai-jun 2007.

SELBITTO, M.; BORCHADT, M.; ARAÚJO, D. R. C. *Manutenção centrada em confiabilidade: aplicando uma abordagem quantitativa*. XXII ENEGEP. Curitiba. ABEPRO, 8p. 2002.

SLACK, N. *Administração da Produção*. Editora Atlas. São Paulo. 1999.

SOUZA, R. A.; POSSAMAI, O. *Confiabilidade e falhas de campo: uma metodologia para suporte ao projeto*. II Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto. São Carlos, 9p. 2000.

WEIBULL ++7. Software, Copyright©, Reliasoft Corporation, 2008.

WUTTKE, R. A.; SELBITTO, M. *Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico*. Revista Produção On-line. ABEPRO/UFSC. v. 8, n. 4, 23p., 2008.