

Predição de Falhas no Apoio à Decisão na Gestão da Manutenção

Maria Prudência G. Martins, Armando L. F. Leitão

Departamento de Gestão Industrial – ESTiG

Instituto Politécnico de Bragança

Quinta de Santa Apolónia – Bragança

Telf: +351 273 303 085; fax: +351 273 313 051; e-mail: prud@ipb.pt, afleitao@ipb.pt

Resumo — Com o presente artigo pretende-se divulgar procedimentos que possibilitem caracterizar, sob uma vertente técnica, operacional e económica, a estrutura organizacional do sector da manutenção. Com a informação proveniente de um registo histórico de dados é possível obter indicadores que permitam estimar e compreender o comportamento dos equipamentos no que diz respeito às falhas e ao seu atendimento. Assim, de forma fundamentada, através de metodologias apropriadas, poder-se-ão definir as políticas de manutenção adequadas a cada equipamento e aos componentes neles inseridos.

1. Introdução

O sucesso de uma empresa industrial depende da organização e gestão das suas operações, sobretudo se as mesmas forem inerentes às principais áreas de apoio à competitividade. Uma dessas áreas é, indiscutivelmente, a gestão da manutenção. Além de interagir com praticamente todas as funções da organização, do êxito da manutenção e da sua gestão depende o sucesso do sistema produtivo, assim como o bom funcionamento dos equipamentos e a qualidade dos produtos fabricados. As paragens devidas a problemas com os equipamentos são, geralmente, uma das principais causas de baixos níveis de desempenho e de baixa produtividade, o que conduz a que os custos das operações sejam agravados. O correcto desempenho dos equipamentos no que concerne à sua fiabilidade e disponibilidade para o sector produtivo, constitui um dever de um sector da manutenção devidamente organizado. É este sector que deve diligenciar para que se diminuam, tanto quanto possível, os períodos de imobilização derivados das avarias sem, contudo, se descurem os custos das actividades da manutenção. Com o presente trabalho pretende-se divulgar procedimentos que possibilitem caracterizar, sob uma vertente técnica, operacional e económica, a estrutura organizacional do sector da manutenção. Com a informação proveniente de um registo histórico de dados, é possível conhecer a fiabilidade operacional dos equipamentos, a sua taxa de avarias e se estas são imprevisíveis ou se são derivadas do tempo de funcionamento e ainda a sua manutibilidade e disponibilidade. Com base em tais indicadores será possível estimar e compreender o comportamento dos equipamentos no que diz respeito às falhas e ao seu atendimento. Assim, de forma fundamentada, através de metodologias apropriadas, poder-se-ão definir as políticas de manutenção adequadas a cada equipamento e aos

componentes neles inseridos. Estas metodologias foram o objecto de um caso prático, com aplicabilidade numa indústria do ramo automóvel, designada Faurécia, Sistemas de Escape, SA, sediada na cidade de Bragança.

2. Análise a um registo histórico de dados da manutenção

O objectivo primordial desta secção é o de enunciar os conceitos e fundamentos teóricos usados na metodologia expressa na secção seguinte.

É fundamental realçar que um adequado registo de dados é indispensável para o acompanhamento de um equipamento, bem como à correcta avaliação das actividades no âmbito da manutenção. Para que os indicadores apurados possam proporcionar algumas contribuições válidas para a tomada de decisões, será imprescindível dispor de informação suficientemente abrangente e colecionada de forma homogénea e criteriosa. Só por esta via será possível tecer considerações consistentes e precisas acerca dos eventos ocorridos nos equipamentos, bem como elaborar previsões válidas. A norma AFNOR-X60-502 proporciona as directrizes pelas quais se deve proceder à recolha, tratamento e análise de dados de fiabilidade ao longo do tempo.

A. Sistemas Reparáveis versus Sistemas não reparáveis

Para Ascher e Feingold [1] um sistema reparável (SR) é recolocado ao serviço depois de sujeito a operações de manutenção efectuadas com o intuito de eliminar qualquer irregularidade detectada, enquanto que, um sistema não reparável (SNR), é substituído por outro igual logo após a primeira falha, ou seja, a partir do momento em que deixa de realizar de forma satisfatória a função que lhe é destinada.

B. Análise de tendência

Segundo Leitão [2], antes de se aplicar qualquer distribuição estatística a um conjunto de dados, previamente, dever-se-á analisar qual a tendência dos dados sob o ponto de vista do processo estocástico. A análise de tendência é um processo de inferência estatística, baseado na metodologia dos testes de hipóteses, a cuja utilização se recorre sempre que se queira verificar se os dados amostrais são ou não compatíveis com determinadas populações. Este procedimento deve ser

efectuado distintamente, consoante se trate de sistemas reparáveis (SR) ou de sistemas não reparáveis (SNR). Perante sistemas reparáveis, a análise efectuada tem como objectivo indagar qual a tendência que a frequência de avarias apresenta, isto é, se há indícios estatísticos de taxa de avarias decrescente, constante ou crescente. Quando a análise incidir sobre um sistema não reparável, o teste tem como objectivo indagar se os tempos de avaria são Independentemente e Identicamente Distribuídos, constituindo um processo de Poisson homogéneo e tendo, portanto, uma taxa de avarias constante.

A análise de tendência é efectuada através da aplicação do teste de Laplace cuja descrição pode ser vista em [2].

C. Análise sob o ponto de vista da função de risco

A função de risco representa a probabilidade, por unidade de tempo, de um item ou sistema vir a falhar no intervalo de tempo $[t, t+dt]$, sabendo que não se observaram avarias até t . Deve, portanto, ser associada a um acontecimento único e toma como base o tempo que decorreu desde a última avaria até ao momento presente.

Como é bem conhecido da teoria da fiabilidade, o conhecimento sobre o comportamento da função de risco é de extrema utilidade, na medida em que proporciona informação imprescindível relativamente à tomada de decisão sobre a substituição preventiva de componentes de acordo com um planeamento racionalmente económico. Previamente à substituição preventiva de componentes, será indispensável verificar se a função de risco é crescente. Caso não o seja, a substituição não se revela viável em virtude de não proporcionar proveitos, quer em termos económicos quer operacionais. Informação adicional acerca do teste de hipóteses para averiguar se a função de risco é crescente pode ser vista em [3].

D. Análise sob o ponto de vista da fiabilidade

Segundo O'Connor[3], a fiabilidade é definida como a capacidade de um bem desempenhar a sua função específica em condições definidas e por um período de tempo t determinado.

Para equipamentos reparáveis, pode ser especificada quantitativamente pela taxa de avarias $\lambda(t)$. Este conceito pode ser definido como a variação do número esperado de avarias relativas a um determinado instante de tempo. Representa-se por

$$\lambda(t) = \frac{\delta}{\delta t} E[N(t)] \quad (1)$$

ou seja, a derivada em ordem ao tempo da esperança matemática do número de avarias no instante t .

O MTBF, que deriva do Inglês *mean time between failures*, é, igualmente, um indicador da fiabilidade para sistemas reparáveis. Segundo o mesmo autor, o MTBF, exprime o tempo médio de bom funcionamento, ou seja, o tempo que decorre, em média, entre duas avarias consecutivas.

Quando a análise incidir sobre equipamentos não reparáveis a fiabilidade pode ser especificada quantitativamente pelo MTTF, que deriva do Inglês *mean*

time to failures e representa o tempo médio até à ocorrência da falha.

E. Análise sob o ponto de vista da manutibilidade

O termo *manutibilidade* traduz a capacidade de um sistema ser mantido em boas condições operacionais.

Segundo O'Connor [3], pode ser quantificada pela média dos tempos de reparação, vulgarmente designado MTTR, que deriva do Inglês *mean time to repair*. O MTTR agrega todo o tempo necessário para diagnosticar a avaria e reunir os recursos logísticos, o tempo de execução do trabalho propriamente dito e ainda teste e entrega do equipamento. A expressão do MTTR para determinado período será a seguinte:

$$MTTR = \frac{\sum TR_i}{N^\circ \text{ Avarias}} \quad (2)$$

sendo TR_i o tempo de reparação da avaria i .

F. Análise sob o ponto de vista da disponibilidade

A disponibilidade é uma característica dos sistemas reparáveis e é uma composição dos dois atributos anteriores: fiabilidade e manutibilidade. Poder-se-á dizer que a função disponibilidade, $D(t)$, traduz a proporção de tempo em que o sistema se encontra em condições para ser usado e assim poder realizar as suas funções específicas. Na manutenção a disponibilidade intrínseca de um equipamento representa-se por:

$$\text{Disponibilidade} = \frac{T_{UP}}{T_{UP} + T_{DOWN}} \quad (3)$$

em que:

T_{UP} é o período de tempo em que o equipamento está em condições de ser utilizado, e

T_{DOWN} é o período de tempo em que o equipamento não está em condições de ser utilizado.

3. Metodologia utilizada na análise exploratória dos dados

Apresenta-se nesta secção uma metodologia que permitirá efectuar uma análise fiabilística, diferenciada para sistemas reparáveis e para sistemas não reparáveis, para fundamentadamente, se desencadear as acções necessárias de forma a diminuir as ocorrências e evitar, se possível, a sua repetição. A necessidade de aplicar diferentes algoritmos consoante se pretenda inferir acerca de sistemas reparáveis ou sistemas não reparáveis, prende-se com o facto de a quantificação e previsão da fiabilidade se efectuar distintamente, consoante se trate de um, ou de outro, dos sistemas.

A metodologia usada fundamenta-se no ajuste de modelos de fiabilidade uma vez que esta assume particular importância no que concerne à definição de metodologias de manutenção a aplicar aos equipamentos e aos componentes neles inseridos. Os modelos teóricos ou distribuições estatísticas mais utilizadas nessas

caracterizações são essencialmente, as distribuições de Poisson, exponencial negativa, normal e de Weibull.

O modelo de Weibull, contrariamente ao modelo exponencial que será apenas utilizado na predição da fiabilidade no caso de, pela aplicação do teste de Laplace, as ocorrências serem consideradas IID, abrange os casos em que a taxa de falhas é variável no tempo, pois trata-se de uma expressão a três parâmetros que possui a relevante particularidade de não possuir uma única forma característica. É devido a esta volubilidade que o caracteriza que na prática, em estudos fiabilísticos, é dos modelos mais utilizados, uma vez que por modificação dos seus parâmetros, nomeadamente o de forma, pode ser adaptada a diversas distribuições do tempo entre avarias. As mais importantes são a exponencial negativa, quando $\beta=1$ e a distribuição normal quando β apresentar um valor próximo de 3.5. Conforme sejam estes valores podem-se aferir algumas características do equipamento, pois se está sujeito a desgaste, o valor de β terá um valor superior a 1, se não está, β será igual a 1, e se β for inferior a 1, provavelmente, encontrar-se-á em fase de rodagem.

Os tubos eléctricos e os componentes electrónicos, por exemplo, são dois géneros de componentes em que se verificou avariarem de acordo com esta distribuição.

A distribuição de Weibull é igualmente utilizada quando, previamente à substituição preventiva de componentes, se pretende verificar se a função de risco é crescente, o que se verifica sempre que o parâmetro de forma, β , for superior a 1. Existirá evidência estatística de $\beta > 1$ sempre que, pela metodologia dos testes de hipóteses, seja possível rejeitar a hipótese nula. Informação adicional acerca destes modelos teóricos, bem como do teste de hipóteses à função de risco crescente, pode ser vista em [1] ou então em [3].

A. Algoritmo para análise fiabilística de sistemas reparáveis

Efectuar análise de tendência de avaria através do teste de Laplace;

SE λ for constante ENTÃO

- calcular taxa de avarias (λ) e correspondente MTBF;
- estimar, e apresentar graficamente, a fiabilidade do equipamento através do modelo exponencial negativo;
- estimar distribuição que melhor descreva a forma das avarias:
- calcular parâmetros da distribuição; /* método máxima verosimilhança */
- efectuar teste à qualidade do ajuste; /* Kolgomorov-Smirnov */

SENÃO

SE λ for decrescente ENTÃO

- aplicar modelo de Crow:
- calcular taxa de avarias (λ), correspondente MTBF e factor de crescimento da fiabilidade;
- estimar, e apresentar graficamente a fiabilidade do equipamento através do modelo exponencial negativo;

SENÃO /* λ crescente */

- averiguar a existência de causas possíveis e assinaláveis para fiabilidade decrescente;

SE existirem causas ENTÃO

- proceder à identificação e eliminação;

SENÃO

- fase III da curva da banheira, aplicação de técnicas para validar a decisão; /* Estudo sobre a viabilidade económica da sua substituição */

FIMSE

FIMSE

FIMSE

B. Algoritmo para análise fiabilística de sistemas não reparáveis

Efectuar análise de tendência de avaria através da aplicação do teste de Laplace;

SE as avarias forem IID ENTÃO

- indagar qual a distribuição que melhor descreva os dados;
- calcular parâmetros da distribuição assumida; /* máxima verosimilhança */
- efectuar teste à qualidade do ajuste; /* Kolgomorov-Smirnov */
- SE a qualidade ao ajuste for boa ENTÃO
- estimar, e apresentar graficamente, a fiabilidade do equipamento através do modelo previamente assumido;

FIMSE

teste de hipóteses à função de risco crescente;

SE a função de risco for crescente ENTÃO

- calcular a idade óptima de substituição preventiva;

FIMSE

SENÃO /* as avarias não são IID */

- provavelmente os dados dependerão da ordem cronológica das avarias, ou então, serão oriundos de mais que uma população, devendo essa tendência ser analisada com o propósito de encontrar as possíveis causas;

SE essas causas existirem ENTÃO

- proceder à eliminação;

FIMSE


FIMSE

4. Análise de Resultados

Com base no registo cronológico das avarias inscritas pelo sector da manutenção durante um período representativo compreendido entre Novembro de 2001 e Abril de 2005, apresentam-se, nesta secção, um conjunto de indicadores fiabilísticos que permitirão avaliar o desempenho de sistemas reparáveis e sistemas não reparáveis. No âmbito deste trabalho o conceito de sistema reparável é redutível a equipamentos e o conceito de sistema não reparável é redutível a componentes. Para os sistemas reparáveis a análise será efectuada na vertente de fiabilidade crescente, constante e decrescente. Para os sistemas não reparáveis a análise será efectuada na vertente de modos de avaria Independente e Identicamente Distribuídos (IID) e Não Independente e Identicamente Distribuídos (NIID).

A. Exemplo de um Sistema Reparável com Fiabilidade Crescente

Considerando um conjunto de dados históricos, pela aplicação da metodologia expressa no algoritmo A da secção 3, obtiveram-se os seguintes indicadores fiabilísticos:

ET	V. Prova	Tst Laplace	λ	MTBF
-2,189	2,9%	λ Decrescente		405,8
				$\alpha=0,14$

Como se pode verificar, o teste de Laplace revelou-se formalmente conclusivo ($ET < -1,65$ para um nível de significância de 5%) pelo que a taxa de avarias é considerada decrescente. Nestas circunstâncias, os tempos

entre ocorrências são, em média, sistematicamente maiores. Confirmada esta tendência, procedeu-se, segundo o disposto no referido algoritmo, à aplicação do modelo de Crow para estimar o valor da taxa de avarias, (λ). Com a taxa de avarias assim determinada, é possível estimar a fiabilidade pelo modelo exponencial negativo, tendo-se obtido desta forma gráfico da Fig. 1,

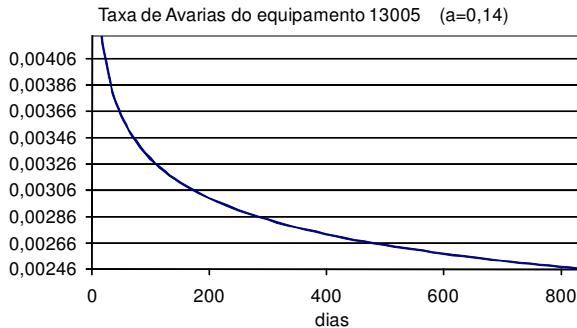


Fig. 1. Fiabilidade de um SR com taxa de avarias decrescente.

que demonstra a evolução da taxa de avarias ao longo de um horizonte temporal de 800 dias.

Através do mesmo gráfico podemos inferir que:

- no horizonte temporal de 200 dias a taxa de falhas é reduzida em 3%;
- a taxa de avarias a partir de 600 dias tende para um valor aproximadamente constante (6%), pelo que, se não se verificarem avarias durante esse período, a probabilidade de se observarem é notavelmente reduzida;

B. Exemplo de Um Sistema Reparável com fiabilidade constante

Relativamente a um outro conjunto de dados associados a um certo equipamento, obtiveram-se os resultados expressos na seguinte tabela:

ET	V. Prova	Tst Laplace	λ	MTBF
-1,953	5,1%	λ Constante	0,009168	109,1

Relativamente à análise de tendência, concluímos que para um nível de significância de 5%, há tendência linear uma vez que o valor obtido para a $ET < -1,96$. Nesta situação, os acontecimentos num espaço amostral contínuo esperam-se aleatórios, pelo que o comportamento fiabilístico do equipamento, pode ser estudado através da aplicação do modelo exponencial negativo. Assim, através do gráfico ilustrado na Fig. 2, poderemos inferir que:

- A Probabilidade de funcionar ao fim de 5 dias de trabalho é aproximadamente 38%.
- A Probabilidade de Avaria após 20 dias de trabalho é quase 100%.
- Verificada a hipótese de taxa de avarias constante, a probabilidade de K avarias pode ser calculada pelo modelo de Poisson. Para $t = MTBF$:
 $P(\text{zero avarias}) = 0.3681$;
 $P(\text{uma avarias}) = 0.3681$;
 $P(\text{duas avarias}) = 0.1838$.

- Pela equação 3.49 obtêm-se uma estimativa para λ : $\hat{\lambda} = 0.009168$.

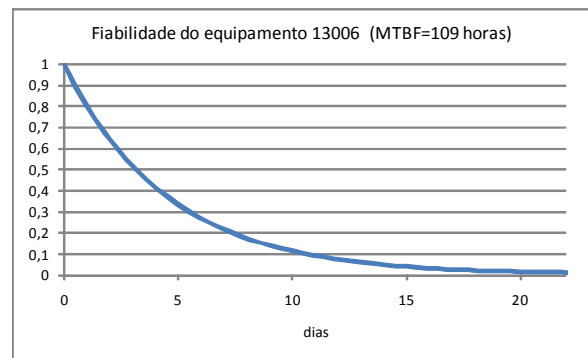


Fig. 2. Fiabilidade de um SR com taxa de avarias constante.

C. Exemplo de Um Sistema Reparável com fiabilidade decrescente

Sempre que o valor da ET obtido pela aplicação do teste de Laplace seja francamente positivo – $ET > 1.96$ para um nível de significância de 5% – o teste revela-se formalmente conclusivo. Nesta situação, é plausível considerar a taxa de avarias crescente, ou seja, os tempos entre avarias, à medida que o tempo passa, tendem a ser sucessivamente mais pequenos, o que caracteriza o que é bem conhecido na teoria da fiabilidade como a fase III da curva “em forma de banheira”. Nestas circunstâncias, dever-se-á averiguar a qualidade das últimas intervenções, diminuir o intervalo de tempo entre manutenções preventivas e principalmente indagar a existência de causas possíveis e assinaláveis que provoquem tal crescimento. No caso de se concluir pela presença dessas causas, dever-se-ão empreender as devidas ações correctivas para as eliminar. No caso de se concluir pela inexistência dessas causas, provavelmente, o equipamento estará próximo do fim do ciclo de vida e como é característico desta fase, reflectirá o processo normal e inevitável do envelhecimento. Dever-se-á, todavia, fundamentar esta hipótese com técnicas e métodos específicos como por exemplo o diagrama causa-efeito (cuja descrição pode, por exemplo, ser encontrada em [3]) e elaborar um estudo acerca da viabilidade da substituição do equipamento com o desígnio de não incorrer no risco de rejeitar o equipamento, se, de facto, ainda estiver em boas condições.

Relativamente a outro conjunto de dados históricos pertencentes a um outro equipamento obtiveram-se os resultados apresentados na tabela que se segue:

ET	V. Prova	Tst Laplace	λ	MTBF
2,137	3,3%	λ Crescente		

Como se pode verificar, apresenta-se um valor de $ET = 2.137$, pelo que, ao nível de significância de 5%, há evidência estatística de taxa de avarias crescente com valor de Prova do teste igual a 3.3%.

Uma vez constatada a evidência estatística de taxa de avarias crescente, não é usual, nestas circunstâncias,

efectuar a predição da fiabilidade através de um modelo estatístico.

D. Exemplo de um sistema não reparável com tempos entre avarias não IID

A fiabilidade de um equipamento (SR) é, obviamente, influenciada pelos itens ou componentes (SNR) que o constituem. Neste contexto, a fim de se poder melhorar a fiabilidade e, portanto, o desempenho dos equipamentos onde estão inseridos, é necessário definir os principais elementos que os constituem e identificar os respectivos modos de falha.

O resultado do teste de Laplace, a estimativa do MTTF e os valores dos parâmetros de uma distribuição teórica elegida para representar os dados, são indicadores adequados para aferir o comportamento fiabilístico dos componentes inseridos nos equipamentos.

Quando o teste de Laplace é formalmente conclusivo – sempre que o valor de ET seja significativamente positivo – conclui-se que os últimos tempos entre ocorrências não são IID. Neste caso, há indícios estatísticos de dados dependentes da ordem cronológica das ocorrências e/ou oriundos de mais que uma população. Nestas circunstâncias, convém averiguar, no contexto operacional, a existência de causas que indiciem se estaremos na presença de dados dependentes da ordem cronológica das ocorrências ou oriundos de mais que uma população.

Não se prossegue para o cálculo dos parâmetros do modelo de Weibull, ou de qualquer outra distribuição teórica que se considere adequada, uma vez que o pressuposto IID não é verificado e nestas circunstâncias, tal como referido por Leitão [2], é errado ajustar os dados a qualquer distribuição teórica.

E. Exemplo de um sistema não reparável com tempos entre avarias IID e função de risco crescente

Quando, pela aplicação do teste de Laplace, há evidência estatística no sentido de aceitar que os tempos entre ocorrências são IID, ou seja, são provenientes de um processo de Poisson Homogêneo, é viável ajustar os dados a uma distribuição teórica. Pela sua versatilidade, é comum prosseguir-se para o cálculo dos parâmetros do modelo de Weibull. De entre os vários métodos analíticos referidos na literatura que versa sobre esta temática, destaca-se o da máxima verosimilhança, pelo qual recai a nossa preferência, em virtude de serem dos melhores estimadores que se podem obter, pois em geral são consistentes, tendem a ser não enviesados e eficientes à medida que a dimensão da amostra cresce. Informação adicional acerca deste método pode ser vista em [4].

Considere-se, por exemplo, o caso em que a $ET=0.0748$. O pressuposto de tempos entre ocorrências IID é verificado, pelo que é viável prosseguir-se para o cálculo dos parâmetros de um modelo teórico, tendo-se elegido, neste caso, o modelo de Weibull. Na obtenção destes parâmetros aplicaram-se métodos analíticos como o da máxima verosimilhança, por produzirem estimadores eficientes, consistentes e não enviesados à medida que a dimensão da amostra cresce.

Considere-se, neste momento, a título de exemplo, um caso em que no âmbito deste trabalho, foram obtidos os seguintes valores para os parâmetros de Weibull:

$$\begin{aligned}\beta &= 2.545 \\ \gamma &= 13968.957 \text{ h} \\ \eta &= 0\end{aligned}$$

Uma vez conhecidas as estimativas dos parâmetros da distribuição de Weibull, é viável prosseguir para a estimação da fiabilidade, obtendo-se o gráfico da Fig. 3.

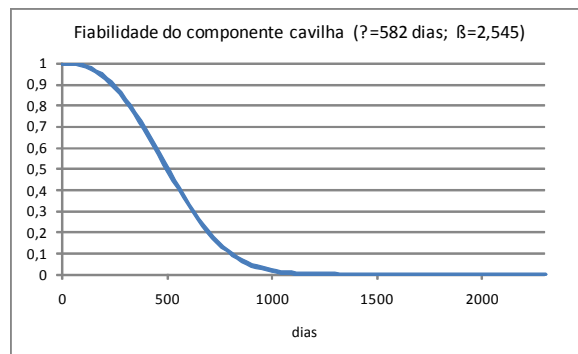


Fig. 3. Fiabilidade de um componente com modos de avarias IID e função de risco decrescente.

Pela análise deste gráfico é possível inferir as seguintes propriedades:

- A Probabilidade de funcionar ao fim de 500 dias de trabalho é aproximadamente 50%.
- A Probabilidade de falha ao fim de 1000 dias de trabalho é praticamente 100%.

Para avaliar a eventual necessidade de substituição preventiva deste componente nos equipamentos onde está inserido, é indispensável verificar se a função de risco é crescente, pois caso não o seja, a dita substituição não se revela viável em virtude de não proporcionar benefícios acrescidos.

F. Exemplo de um sistema não reparável com tempos entre avarias IID e função de risco decrescente

Considere-se, uma vez mais, um certo conjunto de dados históricos aos quais se aplicou o disposto no Algoritmo B da metodologia apresentada na secção 3. Pela observação da tabela seguinte verifica-se o pressuposto IID ($ET=0.068$) pelo que é viável prosseguir-se para o cálculo dos parâmetros do modelo de Weibull. Obtiveram-se desta forma os valores de 0.872 e 53.04, respectivamente para β e para η .

ET	V. Prova	Tst Lapl.	λ	MTTF	Fiabilid	η (dias)	β
0,068	94,6%	IID	0,000943	1060,4		53,40	0,872

Uma vez conhecidas as estimativas dos parâmetros da distribuição de Weibull, a estimativa da fiabilidade pode ser observada através do gráfico mostrado na Fig. 4.

A partir desse gráfico podemos inferir as seguintes propriedades:

- A Probabilidade de funcionar ao fim de 50 dias de trabalho é apenas 40%.
- A Probabilidade de falha ao fim de 200 dias de trabalho é praticamente 100%.

Uma vez que o parâmetro de forma da distribuição é inferior a 1 ($\beta=0.872$) não faz sentido efectuar teste de hipóteses à função de risco crescente, uma vez que a substituição de prevenção não se repercutirá em ganhos adicionais.

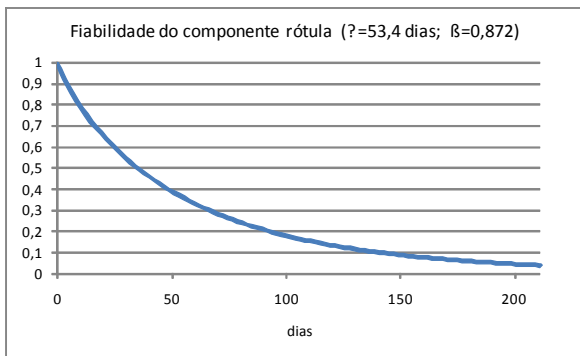


Fig. 4. Fiabilidade de um componente com modos de avarias IID e função de risco crescente.

5. Conclusões

Pretendendo-se otimizar a estrutura da manutenção de uma empresa industrial, Faurécia, Sistemas de Escape, SA,

estimou-se, no âmbito de uma dissertação de Mestrado, subordinada ao tema “*Definição de Metodologias de Manutenção para a Indústria. Caso Prático*”, o comportamento fiabilístico dos equipamentos através do conhecimento da distribuição estatística das avarias e da função de risco. Este conhecimento, se devidamente utilizado, poderá assegurar a eficácia e o controlo adequado dos activos da produção, o que se poderá repercutir na geração de riqueza para a empresa.

Referências

- [1] Harol Ascher and Harry Feingold. *Reparable Systems Reliability – Modeling, Inference, Misconceptions and their causes*. Marcel Dekker, Inc., New York, 1984, p.7,8,160.
- [2] Armando L. F. Leitão. *Curso de Mestrado em Engenharia Industrial, Universidade do Minho. Sebenta de apoio*, 1999.
- [3] O’Connor, P. D.T. (1995) – *Practical Reliability Engineering*, Jonh Wiley & Sons, third revised edition, 1995, p. 341.
- [4] Guimarães, Rui, Cabral, J. S. (1997) - *Estatística*, McGraw–Hill de Portugal.