

DEFINIÇÃO DE UMA POLÍTICA DE INSPEÇÕES COM BASE NO CONCEITO *DELAY TIME* E NOS PARÂMETROS DE *DOWNTIME*, CUSTO E DISPONIBILIDADE

Glauco Ricardo Simões Gomes¹

RESUMO: O presente trabalho apresenta uma aplicação de modelagem matemática orientada à gestão da manutenção que tem como base o conceito *delay time*. O cenário do estudo foi a área de produção de uma unidade industrial de fluxo contínuo que opera 24 horas por dia. A ideia principal foi a de utilizar os conceitos desta abordagem para determinar os tempos ótimos das ações preventivas do departamento de manutenção de modo a garantir uma maior disponibilidade dos equipamentos e instalações enquanto apresenta custos adequados de intervenção da área de manutenção. Após uma breve introdução sobre o tema (seção 1), o artigo apresenta na seção 2, tópicos que ilustram e ressaltam a importância da modelagem matemática aplicada à gestão da manutenção e do conceito *delay time*. A sessão 3 traz as características da empresa onde o estudo foi realizado, assim como os dados referentes ao processo produtivo e às ações de manutenção. A seção 4 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do conceito *delay time* e por fim, estes resultados são discutidos bem como as limitações do artigo e as propostas de trabalhos futuros.

Palavras-chave: Política de manutenção. *Delay time*. Custos. Inspeção. Disponibilidade.

1 INTRODUÇÃO

Empresas de base industrial quer sejam de pequeno, médio ou grande porte, enfrentam o desafio de se manterem cada vez mais competitivas em um mercado globalizado e voltado a políticas de redução de custos. Fato é, que para realizar tais reduções, buscam-se diferenciais em seus processos internos e externos. Entretanto, procedimentos como a aquisição de materiais e compra de equipamentos com melhor rendimento estão facilmente acessíveis a todos os concorrentes e com isso, deixam de figurar como uma exclusividade.

¹ Mestre em Administração Centro de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração – CEPEAD Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Minas Gerais/Brasil. E-mail: glaucorsg@gmail.com

Assim sendo, fatores internos às operações evidenciam-se como o verdadeiro diferencial competitivo das organizações que pretendem manter-se no mercado. Neste sentido, Tsang (2002) ressalta que a manutenção se apresenta como uma função de suporte para aquelas empresas com forte investimento em equipamentos e instalações. Além disso, a manutenção tem papel fundamental na contribuição da melhoria da competitividade visto que garante uma melhor utilização dos equipamentos orientada aos objetivos da empresa.

Diversos autores como Murthy (2002), Eti et al. (2006) e Alsyouf (2007), enaltecem o papel do planejamento da manutenção como elemento de diferencial competitivo, por ter por objetivo a geração de ações que garantem a disponibilidade dos equipamentos e instalações durante o seu processo natural de degradação, não só impactando no desempenho do negócio, mas também na qualidade de produtos e serviços.

Na tentativa de harmonizar as demandas operacionais e de manutenção, o planejamento tem que lidar com questões cruciais e muitas vezes conflitantes; envolvendo, por exemplo, decisões sobre quando realizar uma inspeção, quando desativar um equipamento para uma manutenção ou qual a idade ótima para a substituição de componente. Conforme cresce a importância da área de manutenção, cresce também a necessidade de implementações de políticas de manutenção de forma a suportar tais questões (WANG, 2002).

A modelagem matemática completa este cenário figurando como ferramenta para um melhor processo de planejamento das ações de manutenção levando em consideração tanto seus custos quanto os benefícios associados; objetivando assim, um equilíbrio entre os mesmos (DEKKER, 1996).

Apesar da sua grande aplicabilidade, Scarf (1997) elucida que os modelos matemáticos orientados à gestão da manutenção deparam-se com um grande desafio: o sucesso da área de modelagem só pode ser medido em termos do sucesso na resolução de problemas reais de manutenção. Assim, fica clara a necessidade de uma aderência destes modelos e de seus respectivos resultados à realidade das empresas. Desta forma, o objetivo seria o de modelar o problema de maneira a obter-se políticas ótimas de manutenção para uma posterior aplicação e que venha a trazer benefícios de curto prazo para as organizações.

Dentre as modelagens mais tradicionais da área de manutenção, destaca-se o conceito *delay time* que aborda a interrupção do funcionamento do equipamento ou sistema como um processo de dois estágios, onde inicialmente existem indícios de um defeito latente e um intervalo de tempo hábil onde pode-se tomar uma ação previamente à efetiva falha do sistema.

O presente trabalho apresenta uma aplicação de modelagem matemática orientada à gestão da manutenção que tem como base o conceito *delay time*. A ideia principal é a de utilizar os conceitos desta abordagem para determinar os tempos ótimos das ações preventivas de um departamento de manutenção de modo a garantir uma maior disponibilidade dos equipamentos e instalações enquanto apresenta custos adequados de intervenção da área de manutenção.

O artigo está dividido da seguinte forma: após a introdução referente ao tópico 1, apresenta-se uma breve discussão acerca da modelagem matemática em manutenção e em particular a abordagem *delay time* (seção 2 e subseção 2.1). A terceira parte do trabalho refere-se à contextualização do problema e apresentação dos dados utilizados para ilustrar a aplicação dos modelos. Posteriormente, apresentam-se os resultados obtidos (e suas respectivas considerações) e as referências utilizadas.

2 MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA À MANUTENÇÃO

Segundo Levitt (1997), a função manutenção busca otimizar o uso dos ativos de uma organização ao longo do seu ciclo de vida; o que significa não só preservá-los, como também preservar sua capacidade de produção em níveis aceitáveis de segurança e rentabilidade.

Ainda segundo o autor, a gestão da manutenção apresenta-se hoje como uma função importante e complexa, visto o grande número de custos operacionais e de suporte que incorrem sobre equipamentos e sistemas.

Para Figueiredo et al. (2008), à gestão da manutenção (e seu conseqüente planejamento) estão associados três tipos de ações de manutenção – corretiva, preventiva e preditiva. A manutenção corretiva tem natureza reativa, pois é realizada após a ocorrência da falha do equipamento ou sistema; já as manutenções preventivas e preditivas têm caráter proativo, visto que são realizadas previamente à falha e atuam de maneira a diminuir a probabilidade de ocorrência deste evento.

Levitt (2003) ressalta que apesar de não ser a prática dominante, existem duas situações onde a manutenção preventiva é importante: quando esta reduz o risco ou a probabilidade de mortes, lesões ou danos ambientais ou quando o custo da atividade de manutenção é inferior ao custo da consequência da sua não realização.

Neste sentido, destacam-se duas importantes ferramentas para o suporte da gestão da manutenção. O conceito *delay time* que determina intervalos ótimos para inspeção de sistemas

sujeitos a defeitos que futuramente levarão a falhas; e a noção de manutenção imperfeita, onde admite-se que as ações de manutenção carregam em si uma parcela de “não qualidade” e que podem levar o sistema a interrupções antes do previsto.

2.1 O conceito *delay-time*

O conceito de *delay time* foi originalmente proposto por Christer em 1982 no artigo “*Modelling inspection policies for building maintenance*” para a resolução de problemas de manutenção em edificações. Posteriormente o conceito foi aplicado em ambientes de manutenção industrial e desde então vem sendo amplamente utilizado (BAKER; CHRISTER, 1994). Apesar de o seu desenvolvimento inicial datar da década de 80, os estudos envolvendo o conceito *delay time* continuam sendo utilizados nos mais diversos contextos (EMOVON ET AL., 2016; WANG; WANG, 2015; VAN OOSTEROM et al., 2014) e passam por eventuais revisões do estado da arte (WANG, 2012).

Ainda segundo Baker e Christer (1994), o conceito *delay time* tem como motivação a representação dos *outputs* do processo de manutenção enquanto variáveis de decisão para a gerência. Mais especificamente, consiste em determinar o melhor momento para intervir em um equipamento ou sistema dado o aparecimento de um defeito, antes da sua falha total.

Caracterizando-se como uma modelagem bastante pragmática, o conceito foi prontamente adotado por engenheiros de maneira a modelar problemas de decisão acerca de inspeções periódicas em sistemas sujeitos a processos de degradação (CHRISTER; WALLER, 1984; CHRISTER et al., 1995; CHRISTER, 1999; WANG, 2003).

O conceito *delay time* aborda o evento falha como um processo de dois estágios; desta feita, considera-se um intervalo de tempo h que reflete o período entre o surgimento de um defeito e a efetiva ocorrência de uma falha causada por este. O objetivo então é modelar o problema de maneira a obter melhores valores para h para que com isso, sejam estabelecidas estratégias ótimas de manutenção (WANG; JIA, 2007; JONES et al., 2009).

A Figura 1 ilustra o conceito de *delay time*.

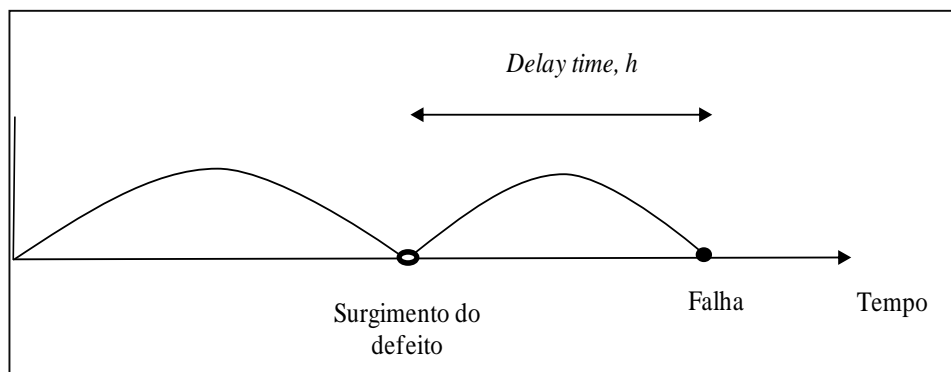


Figura 1 – Ilustração do conceito *delay time*
 Fonte: Adaptado de Christer et al., 1998.

Christer et al. (1998) definem o *delay time* como uma extensão do tradicional conceito de tempo até a falha já difundido nos estudos de confiabilidade. Entretanto, a diferenciar-se o fato de que caso o objeto de estudo (equipamento ou sistema) tenha sido inspecionado previamente, pode-se evidenciar a possibilidade de ocorrência de uma falha futura; e com isso, uma tratativa de prevenção pode ser adotada.

Mowbray (1997) ressalta que a existência de um período entre o surgimento de um defeito observável e a parada não planejada do sistema (*breakdown*) não se mostra como algo inédito para os engenheiros; haja vista as já difundidas implementações de políticas de manutenção preventiva, sistemas de inspeção e o conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC).

Wang e Jia (2007), apontam que o diferencial do *delay time* estaria então na tentativa de capturar quantitativamente, a relação entre a evidência de um defeito e a ocorrência da falha e, explorá-la para a construção das rotinas de inspeção. Para Wang (1997), apesar de h normalmente não ser mensurável, foi provada a possibilidade da sua probabilidade ser estimada tanto por meios objetivos como subjetivos.

Uma tratativa tradicional na construção dos modelos que fazem uso do *delay time* é a adoção de algumas suposições que ilustram as condições de contorno do sistema estudado. Baker e Christer (1994) listam as suposições gerais que caracterizam o conceito *delay time*:

- Uma falha é detectada tão logo ela ocorra e sem a necessidade de inspeção;
- Um sistema que apresente falha deve ser reparado antes de voltar à operação;
- Antes da ocorrência da falha, um componente passa por um ou mais estados defeituosos;
- A detecção de um estado defeituoso de um componente só pode ser realizada por

meio de uma inspeção.

Conforme citado previamente, o conceito *delay time* apresenta-se como uma válida ferramenta para o processo de decisão da gestão da manutenção e cujo principal “produto” é a definição de políticas de manutenção estruturadas. Alguns dos parâmetros comumente discutidos nessas aplicações são discutidos por Ferreira et al. (2009) e apresentados nas Equações 1, 2 e 3, a seguir:

A probabilidade de ocorrência de uma falha gerar parada total do sistema (*breakdown*)

$$b(t) = \int_0^t \left(\frac{t-h}{t} \right) f(h) dh \quad (1)$$

O custo esperado política de inspeção periódica, é:

$$C(t) = \frac{\lambda t \{ C_b b(t) + C_r [1 - b(t)] \} + C_i}{(t + d)} \quad (2)$$

O tempo inativo (*downtime*) gerado por esta política:

$$D(t) = \frac{\lambda t d_b b(t) + d}{(t + d)} \quad (3)$$

Onde t é o intervalo de tempo entre as inspeções; λ é a taxa de chegada de defeitos por unidade de tempo; $f(h)$ é a função densidade de probabilidade do *delay time*; C_b , C_r e C_i são, respectivamente, os custos de *breakdown*, reparo e inspeção; e d_b e d_i são respectivamente os tempos médios de *breakdown* e de inspeção.

Jones, Jenkinson e Wang (2009) apresentam uma metodologia para aplicação do conceito *delay time* em ambientes industriais de manufatura. Neste trabalho, os autores apresentam uma abordagem um pouco mais sutil que prevê uma diferenciação entre as taxas de chegadas de defeitos (k_f) e falhas (λ). A diferenciação destes dois parâmetros é refletida em novas equações para os modelos de *downtime* e custos (Equações 4 e 5).

A equação para a probabilidade de parada total do sistema (*breakdown*) se mantém similar àquela apresentada anteriormente (Equação 1). As equações podem ser visualizadas a seguir:

$$D(t) = \left\{ \frac{d_i + k_f t b(t) d_b}{t + d_i} \right\} \quad (4)$$

$$C(t) = \frac{[k_f t \{C_b b(t) + C_r [1 - b(t)]\} + C_i]}{(t + d_i)} \quad (5)$$

Onde:

$f(h)$ - Função distribuição de probabilidade acumulada que representa o comportamento do *delay time* no sistema.

d_i - Duração de uma atividade de inspeção;

d_b - Duração de uma falha ocasionada por um *breakdown*;

C_b - Custo de uma falha ocasionada por *breakdown*;

C_r - Custo da realização de um reparo detectado em uma inspeção;

C_i - Custo de realização de uma inspeção;

k_f - Taxa de chegada de defeitos ao sistema;

$\lambda(t)$ - Taxa de chegada de falhas ao sistema.

3 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

De forma a ilustrar a aplicabilidade dos conceitos do *delay time* no processo de manutenção e na efetiva definição de sua política, realizou-se um estudo de caso em uma unidade industrial do segmento alimentício cujo processo de produção opera em um regime de 24 horas por dia, 7 dias por semana. O principal aspecto de interesse para a análise está na definição de intervalos ótimos de inspeções de modo garantir uma maior eficácia do sistema estudado. Eficácia esta, aqui refletida por meio dos parâmetros de *downtime*, custo da política preventiva e disponibilidade total do sistema.

A unidade fabril contava com 4 linhas de produção e apresentava um quadro de aproximadamente 220 funcionários, dos quais boa parte (cerca de 180) encontrava-se na área de produção. Os equipamentos, em sua maioria, consistiam em moto redutores de baixa potência (inferiores a 2 HP) utilizados prioritariamente para o processo de secagem e para o sistema de movimentação dos produtos.

Além destes equipamentos, destacavam-se outros elementos como sensores de nível e de movimento encontrados nas câmaras de secagem, empacotadeiras no final de cada uma das linhas de produção, bombas de água fria e de vácuo e uma caldeira na área de utilidades.

A empresa onde se realizou o estudo apresenta fluxo de produção contínua e assim, restringe consideravelmente as ações de manutenção. Além do intenso regime de operação da

área de produção, outro agravante observado foi o fato da equipe de manutenção ser extremamente reduzida.

Para cada turno de trabalho (8 horas) há apenas um técnico em mecânica e um técnico em eletroeletrônica para cobrir as constantes manutenções emergenciais e ocasionalmente realizar atividades programadas como intervenções periódicas ou inspeções. Ademais, a cada dois meses, uma manutenção preventiva com duração de 3 dias é executada onde os principais problemas apontados pela área de produção são tratados.

A motivação para a escolha desse processo (além do acesso às informações) foi a alta taxa de manutenções corretivas encontrada combinada com sua natureza contínua das operações, o que ressalta a necessidade de inspeções de qualidade (visto que o processo não pode ser interrompido com frequência para eventuais intervenções).

Assim, o estudo de caso teve como base os dados referentes à taxa de falhas, duração e custos de ações de manutenção e a qualidade das inspeções realizadas no processo produtivo observados por cerca de 4 meses.

3.1. Coleta e análise dos dados

A partir das informações fornecidas pelo técnico de Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) da empresa e das observações *in loco* foi possível determinar a taxa de falhas dos equipamentos da área de produção. O sistema como um todo, apresenta uma taxa de chegada de 0,4625 de defeitos por hora (k_f), que por sua vez, desdobram-se em 0,0960 falhas por hora (λ).

Os dados foram então, validados junto às supervisões de Manutenção e Produção e posteriormente inseridos no módulo *Input Analyzer* do simulador ARENA[®] versão 14.0 onde puderam ser realizados testes de aderência para a distribuição de probabilidade de falhas e do *delay time*.

Após o teste de *Komogorov-Smirnov* realizado pelo supracitado módulo, foi possível verificar que a distribuição de probabilidade para as falhas pode ser representada por uma distribuição exponencial negativa enquanto que a distribuição para o conceito *delay time* pode ser representada por uma distribuição de *Weibull* com parâmetro de forma β igual a 7,114. Este resultado condiz com a escolha realizada por outros autores da área em trabalhos prévios (BEBBINGTON et al., 2007; WANG, 2012).

As informações referentes aos custos e duração das atividades de manutenção foram

extraídas junto ao sistema ERP SAP[®] utilizado pela empresa para a gestão dos seus diversos processos. Mais especificamente, esta etapa consistiu na depuração de informações contidas nos relatórios de resultados dos módulos PM (*Plant Maintenance*) e CO (*Controlling*) do referido sistema.

Desta forma, foi possível identificar os tempos de parada relacionados a manutenções emergenciais (d_b) e a inspeções (d_i). Analogamente, pode-se evidenciar os custos das paradas de produção associadas a atividades de inspeção (c_i), reparo em função de uma inspeção (c_r) e às manutenções emergenciais (c_b). As informações foram então validadas pelos respectivos supervisores de área e estão apresentados no Quadro 1.

$d_b = 1,85 h$
$d_i = 0,2 h$
$C_r = R\$ 19,35$
$C_b = R\$ 35,24$
$C_i = R\$ 8,20$
$k_f = 0,4625$ defeitos por hora
$\lambda = 0,0960$ falhas por hora
$\beta = 7,114$

Quadro 1 – Parâmetros de duração, custo e taxa de falhas do processo analisado.

Fonte: Pesquisa direta.

4 RESULTADOS

Após a o levantamento e tratamento dos dados do processo, o próximo passo foi a implantação do modelo contendo as formulações desenvolvidas por Jones, Jenkinson e Wang (2009) de forma a obter o período ótimo de inspeções dentro de um intervalo de 720 horas (um mês de trabalho). O modelo foi implementado com o auxílio do *software* Mathcad[®]14.0 e os respectivos gráficos ilustrando o comportamento de cada um dos parâmetros de interesse são apresentados a seguir.

De forma a tornar os resultados mais apresentáveis, calculou-se adicionalmente a disponibilidade do sistema ao longo do tempo conforme apresentado por Nascimento Neto et al. (2012). Percebe-se nesta formulação, a necessidade do parâmetro d_r que representa a duração média de um reparo a ser realizado frente à parada do sistema. Para o nosso exemplo, tem-se $d_r = 0,82$.

$$A(t) = \frac{720 - \left(\left(\frac{720 * d_i}{t} \right) + (b(t) * d_b) + \left(\frac{720 * d_r * \lambda}{t} \right) \right)}{720}$$

A partir das análises realizadas, observou-se que o momento mais propício para a realização de intervenções programadas de manutenção deveria se dar no começo das operações e posteriormente com certa frequência. Particularmente, pode-se perceber a partir da Figura 2 que à medida em que o tempo de operação aumenta, tem-se uma maior probabilidade de ocorrência de parada total do sistema (*breakdown*).

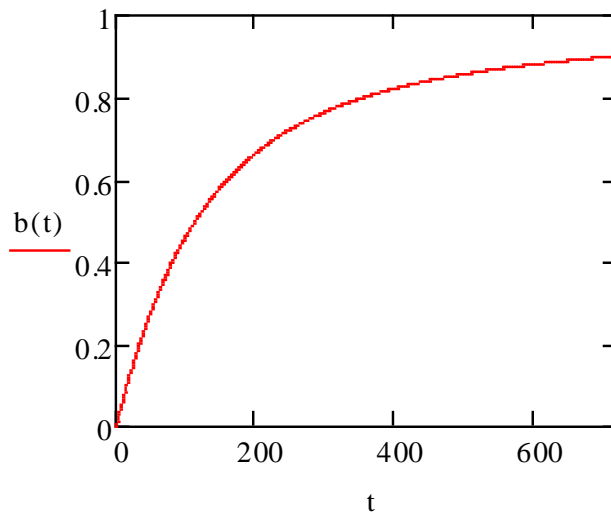


Figura 2 – *Breakdown* esperado ao longo do tempo
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Da mesma forma, é possível perceber a partir da Figura 3 que com o passar do tempo de operação tem-se uma probabilidade maior de aumento no tempo de parada do sistema (*downtime*).

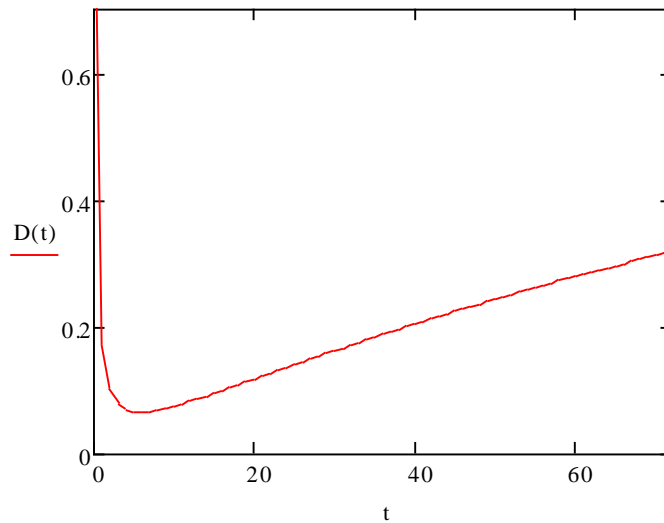


Figura 3 – Downtime esperado por unidade ao longo do tempo
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Analogamente, analisam-se os parâmetros de custo - $Cost(t)$ - e disponibilidade do sistema - $A(t)$. Em consonância com as análises anteriores, percebe-se que os parâmetros de custos (Figura 4) e disponibilidade (Figura 5) acompanham o comportamento do sistema até aqui.

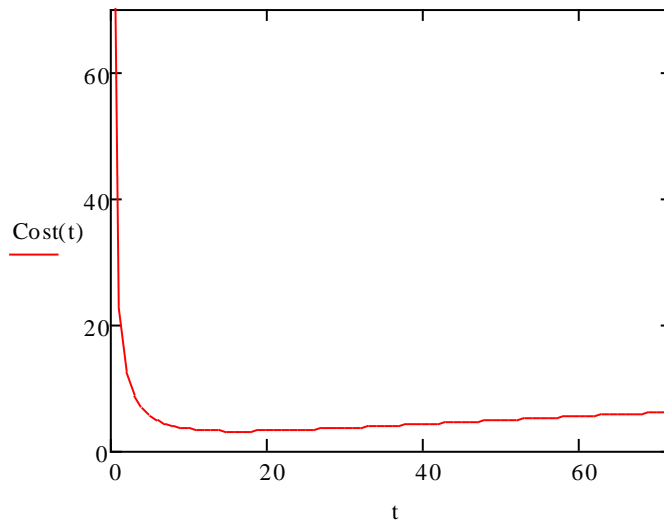


Figura 4 – Custo esperado por unidade de tempo
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Contudo, para o caso da disponibilidade, observa-se que após apresentar um pico no início da operação, tem-se uma queda nos valores de disponibilidade em função do próprio desgaste dos componentes frente à operação ininterrupta adotada pela empresa e uma

posterior estabilidade abaixo do valor ótimo.

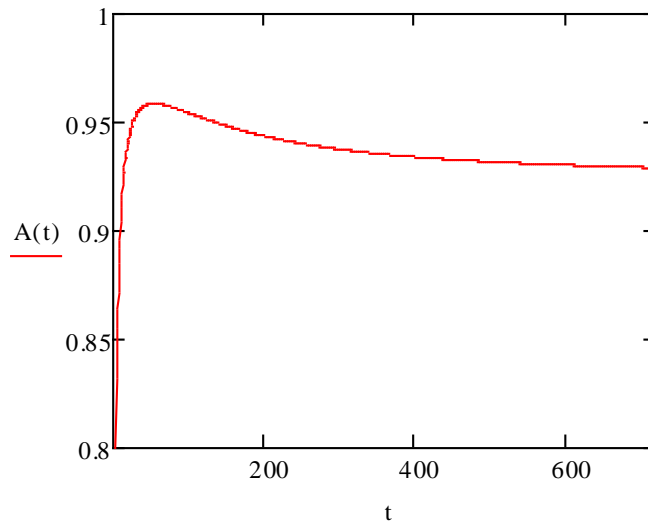


Figura 5 – Disponibilidade esperada ao longo do tempo
 Fonte: Elaborado pelo autor.

Após a análise gráfica dos parâmetros, resta então definir qual o intervalo ótimo t^* para a realização destas inspeções. Para tanto, analisou-se os pontos de inflexão das funções que representam os parâmetros estudados (máximos ou mínimos dependendo do parâmetro em questão). Por meio da minimização dos vetores $D(t)$ e $Cost(t)$ e da maximização do vetor $A(t)$ pode-se chegar aos valores ótimos para os intervalos de inspeção segundo cada um desses critérios. A Tabela 1 apresenta tais resultados.

Tabela 1 – Resultados após a otimização dos modelos

Parâmetro	Função	Tempo ótimo (t^*)	Valor ótimo da função
<i>Downtime</i>	$D(t)$	6h	0,066 do tempo de inspeção
Custo	$Cost(t)$	16h	R\$ 3.256
Disponibilidade	$A(t)$	55h	95,90%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da tabela pode-se observar que não existe uma faixa que contenha os valores de tempo ótimo para todos os parâmetros (t_D^* , t_{Cost}^* e t_A^*) ao mesmo tempo. Assim, cabe agora a tomada de decisão que norteará a política de inspeções e possíveis intervenções da manutenção.

Ao optar pelo intervalo de inspeções ótimo de um parâmetro em detrimento a outro, é possível que se tenha uma considerável queda nos valores dos demais parâmetros e assim, a política não chegaria a uma efetividade adequada. Esta disparidade pode ser percebida na

Tabela 2 que apresenta os valores de cada um dos parâmetros quando utilizando os três diferentes tempos ótimos

Tabela 2 – Aplicação dos tempos ótimos em cada um dos parâmetros analisados

Tempo ótimo	Valor (em horas)	Downtime	Custo	Disponibilidade
t_{D}^*	6	0,066	R\$ 4.962,00	83,20%
t_{Cost}^*	16	0,101	R\$ 3.256,00	93,00%
t_{A}^*	55	0,262	R\$ 5.322,00	95,90%

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Tabela 3, por sua vez, estende a análise da disparidade entre os valores ótimos na medida em que apresenta agora as variações de cada um dos parâmetros frente os demais valores ótimos encontrados.

Tabela 3 – Variações dos parâmetros frente aos valores ótimos

Tempo ótimo	Variação frente ao valor ótimo de downtime	Variação frente ao valor ótimo de custos	Variação frente ao valor ótimo de disponibilidade
t_{D}^*	--	34%	13%
t_{Cost}^*	35%	--	3,0%
t_{A}^*	75%	39%	--

Fonte: Elaborado pelo autor.

Percebe-se a partir da Tabela 3 que o intervalo associado ao modelo de custos apresenta variações menores quando comparado aos demais valores ótimos. Esta, por si só, seria uma forte motivação para escolhê-lo como intervalo ótimo para a política de manutenção.

Contudo, soma-se ainda o aspecto gerencial que pode ser associado a este intervalo. Visto que a organização analisada apresenta um regime de produção contínuo, com funcionamento 24 horas por dias, sendo dividido em 3 turnos de 8 horas; inspeções a cada 16 horas implicariam em intervenções programadas ao final do segundo turno e antes do início do terceiro turno.

Neste sentido, poder-se-ia aproveitar a presença de duas turmas de manutenção na ação de inspeção (o que poderia inclusive, diminuir o tempo de inspeção d_i), bem como valorizar a troca de experiências e informações entre técnicos destas duas equipes na resolução de problemas ocorridos em turnos anteriores (PALMER, 2002).

Ressalta-se aqui, o papel da “*memória organizacional*” que pode vir a se formar em função desta troca de experiências e eventual registro das intervenções realizadas por meio de ordens de manutenção, aplicação de *checklists* e registros de produção.

5 CONCLUSÕES

Após o levantamento e tratamento das informações do processo e posterior implementação da modelagem, verifica-se a aplicabilidade dos conceitos *delay time* na construção de uma política de inspeções para um sistema de produção contínuo.

Como resultado, pode-se estabelecer um intervalo ótimo de 16 horas para as inspeções, implicando assim em uma disponibilidade de 93% e o menor custo possível frente às opções encontradas para a política preventiva de inspeções.

Observa-se que os resultados aqui apresentados podem ser utilizados de forma a reestruturar as ações periódicas do departamento de manutenção estudado e; nesse sentido, trazer melhores números em termos reais do processo.

Dada a natureza contínua do processo, fica cada vez mais evidente a importância da qualidade da inspeção e da observação das falhas latentes do processo. Assim, apresenta-se como proposta de trabalhos futuros a adoção de uma modelagem que preveja não só os aspectos aqui abordados, mas também eventuais falhas no processo de inspeção e reparo.

Para tanto, sugere-se a extensão da modelagem preconizada por Jones, Jenkinson e Wang (2009) onde se inclui o índice r de qualidade das ações de manutenção. Abordagens similares podem ser encontradas em Zequeira e Bérenguer (2006) e Berrade et. al (2012).

Sugere-se também uma análise de sensibilidade dos parâmetros de custo e duração das intervenções, bem como da taxa de falhas λ para um melhor entendimento de como o processo tende a se comportar em função de melhorias de caráter qualitativo (melhoria na qualidade da inspeção) e/ ou quantitativo (redução da taxa de falhas).

Por fim, sugere-se ainda a adoção de uma abordagem multivariada para a tomada de decisão frente ao dilema encontrado na seleção do valor ótimo para o intervalo de inspeções.

Visto que cada um dos critérios analisados (*downtime*, custos e disponibilidade) levou a valores muito díspares quando comparado aos outros critérios, emerge a necessidade de se entender qual dos critérios apresenta maior impacto na gestão da manutenção daquele sistema e assim; caberia ao decisor identificar qual a hierarquia destes parâmetros e sua flexibilidade em termos gerenciais.

Entende-se que este trabalho figura como um primeiro passo na construção de uma prática de gestão de manutenção suportada não só por um melhor levantamento de informações (obtido por meio da utilização de ERPs e sistemas de gestão de manutenção legados).

Mas também pela aplicação de modelos matemáticos que reflitam a realidade do contexto estudado. Contudo, este trabalho apresentou algumas limitações na sua realização; pode-se destacar inicialmente o período de análise.

Seja por questões de tempo e acesso ao ambiente de produção, seja pelas informações disponibilizadas pela empresa, a massa de dados analisada refletia apenas a operação da empresa por 4 meses. Neste período, não foi possível observar fatores como sazonalidade ou variações bruscas de demanda (positivas ou negativas) que pudessem impactar na rotina de trabalho da empresa e, por conseguinte, na dinâmica do departamento de manutenção.

Uma outra limitação observada foi o fato de que as informações disponibilizadas pela empresa estavam condensadas, de forma que análises pormenorizadas de cada um dos centros de trabalho da área industrial (produção, subestação, utilidades, etc.) não puderam ser realizadas.

Percebe-se, entretanto, que esta “aglutinação” não impacta negativamente na análise aqui realizada. Como grande parte das falhas e defeitos ocorre na área de produção e este é o foco inicial da aplicação da política de inspeções, tanto pesquisador quanto empresa entendem que pequenas variações na taxa de falha, nas durações e custos de manutenção não descaracterizariam o contexto investigado.

INSPECTION POLICY DEFINITION BASED ON DELAY TIME CONCEPT AND DOWNTIME, COST AND AVAILABILITY PARAMETERS

ABSTRACT: This paper presents an application of mathematical modeling oriented to maintenance management based on the delay time concept. The study scenario was the manufacturing sector of an industrial unit which operates 24 hours a day in continuum flux of production. The main idea was to use the concepts of this approach to determine the optimal time of preventive action from the maintenance department to ensure greater availability of equipment and facilities while introducing appropriate maintenance costs. After a brief introduction on the subject (section 1), the article presents in section 2, topics that illustrate and underscore the importance of mathematical modeling applied to the maintenance management and delay time concept. Session 3 shows the characteristics of the company where the study was conducted, as well as data relating to the production process and maintenance actions. Section 4 presents the results obtained after applying the delay time concept and finally, these results are discussed as well as the limitations of the article and the proposals for future work.

Keywords: Maintenance policy. Delay time. Costs. Inspection. Availability.

REFERÊNCIAS

ALSYOUF, I. The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. **International Journal of Production Economics**, v. 105, p. 70-78, 2007.

BAKER, R.D.; CHRISTER, A.H. Review of delay time OR modeling of engineering aspects of maintenance. **European Journal of Operational Research**, v. 73, p. 407-422, 1994.

BEBBINGTON, M.; LAI, C.-D.; ZITIKIS, R. A flexible Weibull extension. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 92, p. 719-726, 2007.

BERRADE, M.D.; CAVALCANTE, C. A.V.; SCARF, P. A. Maintenance scheduling of a protection system subject to imperfect inspection and replacement. **European Journal of Operational Research**, v. 218, p. 716-725, 2012.

CHRISTER, A.H. Development in delay time analysis for modeling plant maintenance. **Journal of the Operational Research Society**, v. 50, p. 1120-1137, 1999.

CHRISTER, A.H.; WALLER, W.M. Reducing production downtime using delay-time analysis. **Journal of Operational Research Society**, v. 35, p. 499-512, 1984.

CHRISTER, A.H.; WANG, W.; CHOI, K. The delay-time modeling of preventive maintenance of plant given limited PM data and selective repair at PM. **IMA Journal of Mathematics Applied in Medicine and Biology**, v. 15, p. 355-379, 1998.

CHRISTER, A.H.; WANG, W.; BAKER, R.D.; SHARP, J. M. Modeling maintenance practice of production plant using the delay time concept. **IMA Journal of Mathematics Applied in Business and Industry**, v. 6, p. 67-84, 1995.

DEKKER, R. Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 51, p. 229-240, 1996.

EMOVON, I.; NORMAN, R. A.; MURPHY, A. J. An integration of multi-criteria decision making techniques with a delay time model for determination of inspection intervals for marine machinery systems. **Applied Ocean Research**, v. 59, p. 65-82, 2016.

ETI, M.C.; OGAJI, S.O.T.; PROBERT, S. D. Strategic maintenance-management in Nigerian industries. **Applied energy**, v. 83, p. 211-227, 2006.

FERREIRA, R. J. P.; ALMEIDA, A. T.; CAVALCANTE, C. A.V. A multi-criteria decision model to determine inspection intervals of condition monitoring based on delay time analysis. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 94, 905-912, 2009.

FIGUEIREDO, F. A.; CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. Preventive maintenance planning using prior expert knowledge and multicriteria method PROMETHEE III. **In: Proceedings of European Safety and Reliability Conference (ESREL)**, Valência, 2008.

JONES, B.; JENKINSON, I.; WANG, J. Methodology of using delay-time analysis for a manufacturing industry: the use of Bayesian network modelling for maintenance planning in a manufacturing industry. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 94, p. 111-124, 2009.

LEVITT, J. **The handbook of maintenance management**. Nova Iorque; Industrial Press INC., 1997.

_____. **The complete guide to preventive and predictive maintenance**. Nova Iorque; Industrial Press INC. 2003.

MOWBRAY, J. **Reliability centred maintenance**. Londres; Butterworth-Heinemann. 1997.

MURTHY, D.N.P.; ATRENS, A.; ECCLESTON, J.A. Strategic maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 8, n. 4, p. 287-305, 2002.

NASCIMENTO NETO, L.P.; ARAÚJO, H.A.B.T.; LOPES, R.S.; GOMES, G.R.S.G.; CAVALCANTE, C.A.V. Uso de análise *snapshot* e do conceito *delay time* para definição de tempos de inspeção: Um estudo de caso para o planejamento de manutenção de frotas. **In: Anais do XXXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, Bento Gonçalves – RS, 15 a 18 de Outubro de 2012.

PALMER, R. Maintenance work order planning. **In: Maintenance Engineering Handbook**. HIGGINS, L. R.; MOBLEY, R. K. (editors). 6. ed. McGraw-Hill: 2002.

SCARF, P. A. On the application of mathematical models in maintenance. **European Journal of Operations Research**, v. 99, p. 493-506, 1997.

TSANG, Albert H.C. Strategic dimensions of maintenance management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 8, n. 1, p. 7-39, 2002.

VAN OOSTEROM, C.D.; ELWANY, A.H.; ÇELEBI, D.; VAN HOUTUM, G.J. Optimal policies for a delay time model with postponed replacement. **European Journal of Operational Research**. v. 232, p. 186-197, 2014.

WANG, H. Subjective estimation of the delay time distribution in maintenance modeling. **European Journal of Operations Research**, v. 99, p. 516-529, 1997.

_____. A survey of maintenance policies of deteriorating systems. **European Journal of Operations Research**, v. 43, p. 471-476, 2002.

_____. A delay time based approach for risk analysis of maintenance activities. **The Journal of the Safety and Reliability Society**, v. 23, p. 103-113, 2003.

WANG, W. An overview of the recent advances in delay-time-based maintenance modelling. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 106, p. 165-178, 2012.

WANG, W.; WANG, H. Preventive replacement for systems with condition monitoring and additional manual inspections. **European Journal of Operational Research**. v. 247, n. 2, pp. 459-471, December, 2015.

WANG, W.; JIA, X. An Empirical Bayesian Based Approach to Delay Time Inspection Model Parameters Estimation Using Both Subjective and Objective Data. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 23, p. 95-105, 2007.

ZEQUEIRA, R. I.; BÉRENGUER, C. Periodic imperfect preventive maintenance with two competing failure modes. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 91, p. 460-468, 2006.

Originais recebidos em: 20/07/2015

Aceito para publicação em: 02/05/2016