

19ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

Tema: Tecnologia Aplicável à Manutenção Preditiva de Equipamentos Elétricos, Eletrônicos e Programáveis

Título: Utilização de Dados de Histórico na Manutenção Preditiva de Equipamentos Elétricos, Eletrônicos e Programáveis em Aplicações Metroferroviárias

UTILIZAÇÃO DE DADOS DE HISTÓRICO NA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS, ELETRÔNICOS E PROGRAMÁVEIS EM APLICAÇÕES METROFERROVIÁRIAS

1. INTRODUÇÃO

Devido à demanda crescente do transporte metroferroviário nas grandes cidades, os requisitos de desempenho associados aos sistemas envolvidos com a movimentação automática e segura dos trens têm se tornado cada vez mais ambiciosos e difíceis de serem atingidos. Para que os índices de desempenho necessários possam ser alcançados, é essencial que todos os equipamentos envolvidos com a movimentação dos trens nas linhas comerciais operem apropriadamente, de tal forma que o transporte de passageiros não seja prejudicado. A adoção de procedimentos de manutenção preditiva representa uma abordagem importante nesse sentido, uma vez que permite, ao mesmo tempo, minimizar a ocorrência de falhas nos equipamentos dos sistemas utilizados (traduzida em um potencial aumento nos índices de disponibilidade e segurança crítica) e otimizar os custos operacionais de manutenção quando efetuada uma comparação com modelos de manutenção corretiva e preventiva usualmente adotados.

Com base nesse contexto, e considerando-se a tendência de os sistemas utilizados no setor metroferroviário basearem-se cada vez mais em componentes elétricos, eletrônicos e programáveis, o principal objetivo deste trabalho é apresentar um modelo válido para tais categorias de componentes que permita orientar a manutenção preditiva de sistemas de aplicação metroferroviária (por exemplo, no domínio de Sinalização e Controle) a partir do uso de seus respectivos dados de histórico de operação.

2. PANORAMA DO ESTADO-DA-ARTE DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

A partir da década de 1970, a automação empresarial levou a um aumento nos custos relacionados a paralisações e problemas de qualidade nos produtos e serviços disponibilizados

pelas empresas [1]. Para que fosse possível se manter a capacidade competitiva, surge nesse contexto a manutenção preditiva, que pode ser compreendida como *“a manutenção que prediz o tempo de vida útil dos componentes das máquinas e equipamentos e as condições para que esse tempo seja bem aproveitado”* e é amparada por meio de *“qualquer atividade de monitoramento que seja capaz de fornecer dados suficientes para uma análise de tendências, emissão de diagnóstico e tomada de decisão”* [2].

A tendência das pesquisas recentes na área de manutenção preditiva relaciona-se à proposição de arcabouços, métodos e modelos que podem ser aplicados a uma ou mais áreas de atuação. No estudo apresentado na referência [3], por exemplo, é proposta uma solução de suporte à manutenção preditiva de sistemas considerando tanto falhas estatisticamente independentes quanto dependentes entre si. A solução proposta baseia-se no uso conjunto das funções "taxa de falha" e "idade acumulada" do sistema, as quais permitem avaliar o custo de um eventual procedimento de manutenção a fim de se julgar se é mais compensador, nas condições correntes de operação do sistema, disparar uma manutenção preditiva ou esperar pela falha do componente para substituí-lo (manutenção corretiva).

Na referência [4], é apresentada uma política de manutenção preditiva que combina dados operacionais de componentes de um sistema com dados estatísticos de confiabilidade extraídos da população à qual o componente pertence. Esses parâmetros são utilizados para atualizar a distribuição de probabilidades que rege a vida útil residual de cada componente do sistema.

Por fim, apresenta-se, na referência [5], uma metodologia para monitorar as condições de isolamento de uma linha de transmissão de alta potência, de modo a se permitir o disparo de ações de manutenção preditiva antes de o fornecimento de energia ser interrompido. Para tanto, a variação da corrente de fuga é avaliada no domínio do tempo e faz-se uso de uma rede neural para decidir se eventuais procedimentos de manutenção preditiva serão necessários.

3. MODELO DE PREDIÇÃO DE FALHAS PARA SUPORTE À MANUTENÇÃO PREDITIVA DE SISTEMAS ELÉTRICOS, ELETRÔNICOS E PROGRAMÁVEIS

As abordagens de manutenção preditiva propostas nos estudos científicos recentes geralmente demandam a implantação de uma infraestrutura específica para dar suporte à coleta de dados e ao monitoramento dos componentes de um sistema. Dependendo da natureza dos dados operacionais que necessitam ser registrados e monitorados, o custo associado à infraestrutura pode ser excessivamente elevado, eventualmente inviabilizando a instalação de um programa de manutenção preditiva, sobretudo nas situações em que a verba disponível para tal programa é restrita.

Nos cenários específicos em que se opta pela adoção de um programa de manutenção preditiva quando já existem registros dos instantes de ocorrência das falhas e das manutenções (corretivas e preventivas) dos componentes de um sistema, essas informações poderiam ser utilizadas para se tentar prever quando as próximas falhas de cada componente irão ocorrer. Como essa abordagem não exigiria a implantação de uma infraestrutura dedicada apenas ao monitoramento de características operacionais do sistema, os custos associados à instalação de um programa de manutenção preditiva baseado nessa técnica seriam inferiores aos das abordagens usuais.

No presente estudo, é proposto um modelo conceitual que visa permitir que falhas futuras em sistemas formados por um ou mais componentes elétricos, eletrônicos e programáveis sejam estimadas com base na abordagem em que se aproveitam dados já disponíveis de falhas e manutenções passadas. Esse modelo é apresentado na Figura 1.

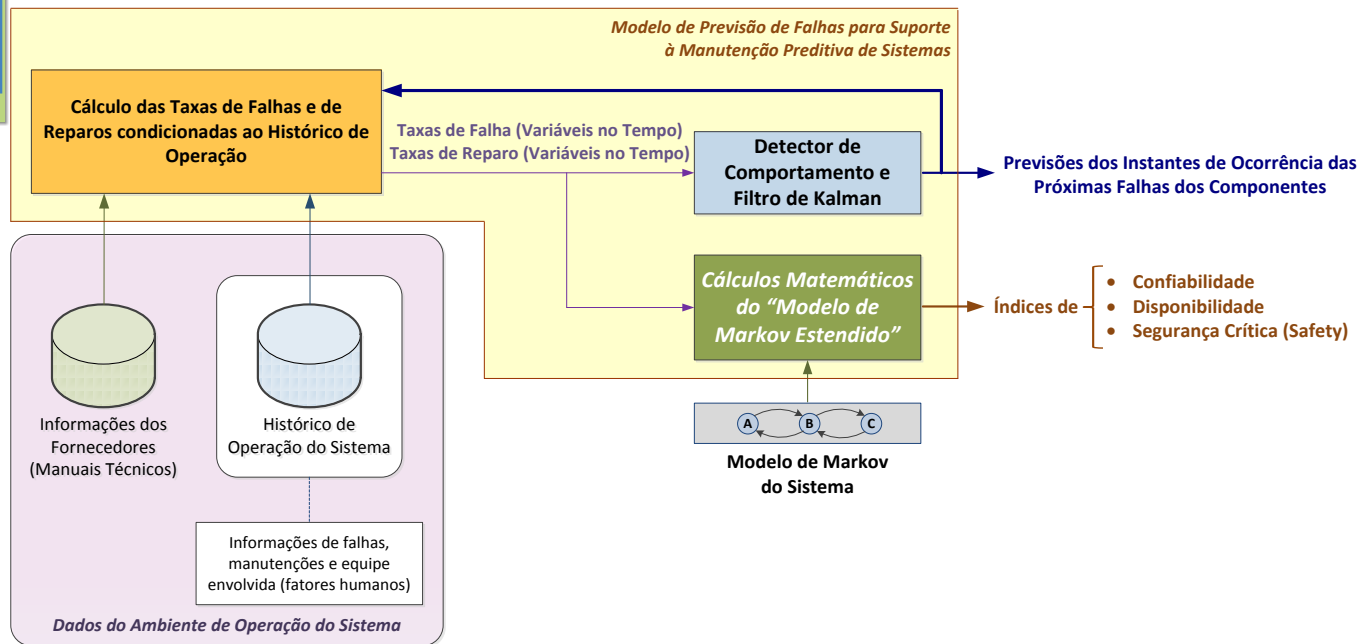


Figura 1: Arquitetura do Modelo Proposto Contextualizado em um Ambiente de Operação de um Sistema Hipotético

Por intermédio da Figura 1, é possível observar que o modelo proposto neste trabalho é composto por três elementos fundamentais:

- Bloco “Cálculo das Taxas de Falhas e de Reparos Condicionadas ao Histórico de Operação”:** Este elemento é responsável por determinar, ao longo do tempo de ensaio e utilizando como entradas os “Dados do Ambiente de Operação do Sistema”, as estimativas das taxas de falhas e de reparos dos componentes do sistema em estudo com base nos modelos de predição de confiabilidade preconizados no padrão RIAC-HDBK-217Plus. Prevê-se, nesse padrão, que a taxa de falhas de um sistema elétrico, eletrônico ou programável formado por um ou mais componentes é resultado da combinação de duas parcelas: uma proveniente de registros de histórico de operação e outra, de levantamentos empíricos sobre as características constitutivas dos componentes do sistema [6]. Como hipótese simplificadora, assumiu-se que esse mesmo comportamento de atualização das taxas de falhas também pode ser aplicado às taxas de reparo.

b) **Bloco “Detector de Comportamento e Filtro de Kalman”**: Cabe a este elemento realizar as seguintes funcionalidades:

- i. Filtrar, por meio de Filtragem Kalman, eventuais variações estatísticas dos dados que descrevem os eventos de falhas e manutenções executados sobre o sistema;
- ii. Detectar, por intermédio de técnicas numéricas de regressão polinomial, a tendência comportamental do sistema a partir de seu passado;
- iii. Extrapolar o comportamento passado do sistema, aproximado por uma lei matemática pela aplicação das técnicas de regressão, para o futuro;
- iv. Incorporar, por meio de Filtragem Kalman, desvios estatísticos ao comportamento futuro predito com base nas oscilações estatísticas levantadas para o passado.

c) **Bloco “Cálculos Matemáticos do ‘Modelo de Markov Estendido’”**: Considerando-se que processos de Markov podem ser empregados para descrever os modelos de confiabilidade, disponibilidade e segurança crítica (*safety*) de sistemas elétricos, eletrônicos e programáveis, a atribuição deste elemento é contabilizar de forma aproximada a evolução de uma dessas funções de acordo com as taxas de falhas e de reparos recebidas do bloco de “Cálculo das Taxas de Falhas e de Reparos Condicionadas ao Histórico de Operação” e com a especificação de um processo de Markov do sistema em estudo.

Sob o ponto de vista dinâmico, o modelo apresentado na Figura 1 funciona de forma iterativa segundo o fluxograma da Figura 2, de tal forma que cada iteração represente o transcurso de um intervalo de tempo Δt no funcionamento do sistema. A escolha do intervalo de tempo Δt utilizado em um ensaio depende do compromisso entre precisão de resultados e demanda de esforço computacional.

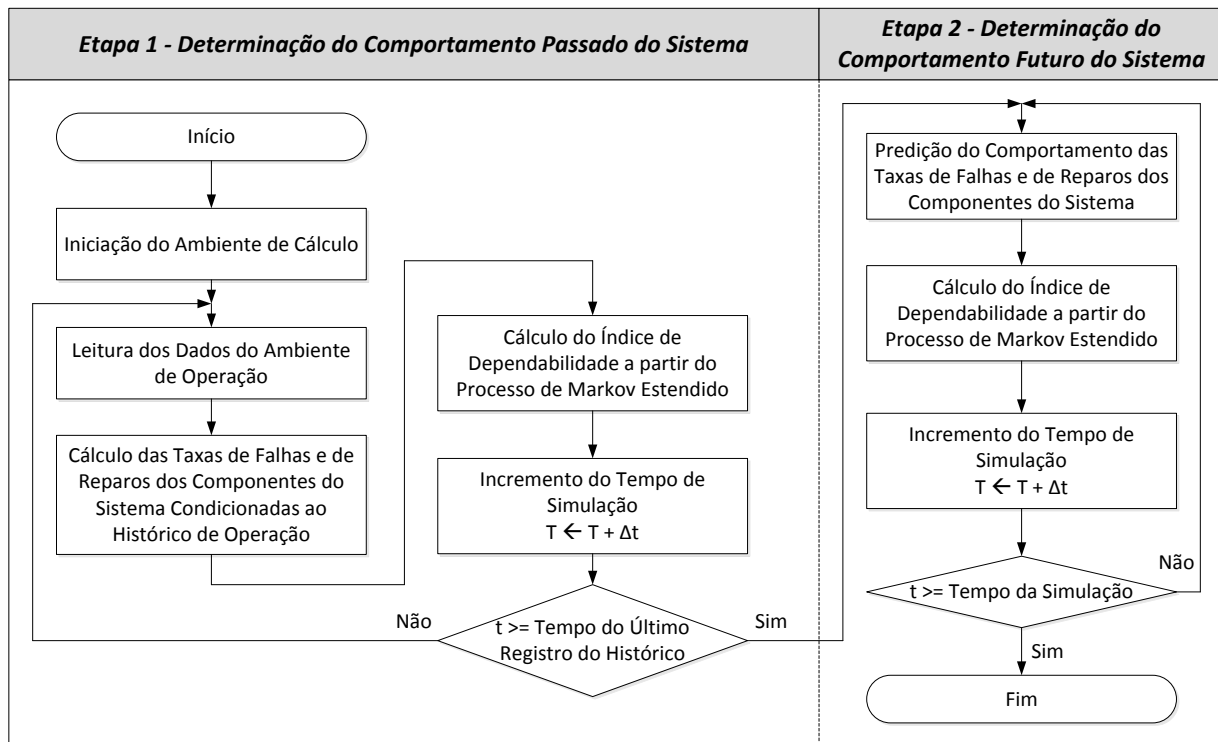


Figura 2: Fluxograma do Funcionamento Dinâmico do Modelo da Figura 1

4. AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO E ENSAIO DO MODELO PROPOSTO

Para que o modelo proposto possa ser funcionalmente estudado e validado, uma plataforma computacional de ensaios baseada na versão R2009a (7.8.0.347) do aplicativo *MATLAB* está em processo de desenvolvimento. Tal ambiente de ensaios é composto por quatro módulos:

- Módulo “Leitura da Especificação do Sistema”:** Este módulo é o responsável pela aquisição dos valores nominais das taxas de falhas e de reparos do sistema a ser estudado, bem como do respectivo modelo de Markov que representa seu comportamento com relação ao índice de dependabilidade (confiabilidade, disponibilidade ou segurança crítica – *safety*) de interesse;
- Módulo “Simulador de Dados de Entrada”:** O “Simulador de Dados de Entrada” é o elemento responsável por gerar registros hipotéticos dos eventos de falha e manutenção

de todos os componentes do sistema em estudo mediante aplicação de métodos estocásticos aos respectivos valores nominais das taxas de falhas e reparos dos componentes do sistema.

O principal propósito do “*Simulador de Dados de Entrada*” é o de permitir que o modelo proposto no presente trabalho possa ser avaliado mediante uso da plataforma computacional de ensaios sem necessidade de se obter dados reais relativos à operação de um sistema que se deseja estudar.

- c) **Módulo “*Tratamento Estatístico e Filtragem Kalman para Predição de Falhas*”**: Este componente do ambiente de ensaio do modelo é o responsável pela implementação do bloco “*Detector de Comportamento e Filtro de Kalman*” da Figura 1.
- d) **Módulo “*Computação de Processos de Markov com Histórico de Operação*”**: Este fragmento do ambiente de ensaio do modelo implementa os blocos “*Cálculo das Taxas de Falhas e de Reparos Condicionadas ao Histórico de Operação*” e de “*Cálculos Matemáticos do Modelo de Markov Estendido*” do modelo da Figura 1.

5. CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

Ensaio preliminares executados durante o processo de validação da plataforma computacional de ensaios permitem observar que, em média, são necessários ao menos 3 a 5 registros de falhas passadas para que as previsões de falhas futuras possam ser estatisticamente críveis (isto é, para que o desvio padrão das amostras referentes às falhas futuras seja compatível com as necessidades demandadas para a aplicação).

Em sistemas críticos com relação à confiabilidade, à disponibilidade ou à segurança (*safety*), a necessidade de acumular dados de 3 a 5 falhas dos componentes de um sistema pode demandar que dados de histórico de muitos anos estejam disponíveis, sobretudo quando o nível de abstração dos componentes avaliados é alto (por exemplo, subsistemas funcionais) e quando técnicas de tolerância a falhas estão presentes. Por esse motivo, considera-se que o

potencial do modelo proposto possa ser mais bem aproveitado como uma ferramenta de suporte à manutenção preditiva de sistemas em níveis mais baixos de abstração (por exemplo, cartões eletrônicos e programáveis) e em aplicações com menor grau de uso de técnicas de tolerância a falhas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PINTO, A. K.; XAVIER, J. DE A. N. **Manutenção: Função Estratégica**. 2^a. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007, p. 341.
- [2] MARQUES, A.; MARÇAL, R. F. M.; NETO, A. A. B.; PILATTI, L. A. **Os Principais Equipamentos Utilizados nas Empresas de Beneficiamento de Mármore e Granito, suas Funções e Importância no Processo**. XIII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção. **Anais**. 2006.
- [3] FAN, H.; HU, C.; CHEN, M.; ZHOU, D. Cooperative Predictive Maintenance of Repairable Systems with Dependent Failure Modes and Resource Constraint. **IEEE Transactions on Reliability**, v. 60, n. 1, p. 144-157, mar 2011.
- [4] KAISER, K. A.; GEBRAEEL, N. Z. Predictive Maintenance Management Using Sensor-Based Degradation Models. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans**, v. 39, n. 4, p. 840-849, jul 2009.
- [5] SILVA, P. R. N.; NEGRÃO, M. M. L. C.; VIEIRA, P.; SANZ-BOBI, M. A. A new methodology of fault location for predictive maintenance of transmission lines. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 42, n. 1, p. 568-574, nov 2012.
- [6] RIAC. **Handbook of 217Plus(TM) Reliability Prediction Models**. Nova Iorque. 2006.

DADOS DOS AUTORES DO ARTIGO

Antonio Vieira da Silva Neto é Mestrando em Engenharia Elétrica na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e possui Graduação em Engenharia Elétrica pela mesma instituição (2010). Atua como Engenheiro de Garantia de Segurança na Alstom Brasil e atuou como Analista de Segurança na Fundação para o Desenvolvimento Tecnológico da Engenharia.

Paulo Sérgio Cugnasca possui Doutorado (1999), Mestrado (1993) e Graduação (1987) em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). Atua como Docente no Departamento de Computação e Sistemas Digitais (PCS) da EPUSP e como Pesquisador do Grupo de Análise de Segurança (GAS), pertencente à mesma instituição.