

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

Eng. Antonio Vieira da Silva Neto

Prof. Dr. Paulo Sérgio Cugnasca

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

12 de Setembro de 2013

(1)

Programação

1. Motivação do Trabalho
2. Panorama do Estado-da-Arte da Manutenção Preditiva
3. Justificativa e Objetivo do Trabalho
4. Modelo de Predição de Falhas para Suporte à Manutenção Preditiva de Sistemas Elétricos, Eletrônicos e Programáveis
5. Ambiente de Desenvolvimento e Ensaio do Modelo Proposto
6. Considerações Preliminares

MOTIVAÇÃO DO TRABALHO

(3)

Demanda e Qualidade do Serviço de Transporte Metroferroviário

Com o aumento da demanda do transporte metroferroviário nas grandes cidades, é fundamental melhorar os índices de desempenho para que a qualidade percebida pelos usuários atinja patamares aceitáveis.

Demanda de Transporte – CMSP (1)

- Total de Passageiros Transportados no Ano

Linha do Metrô de São Paulo	Número de Passageiros em 2006 [1]	Número de Passageiros em 2012 [2]	Variação de 2006 para 2012
Linha 1 – Azul	334.970.000	304.469.000	- 9,11 %
Linha 2 – Verde	88.869.000	144.504.000	+ 62,60 %
Linha 3 – Vermelha	332.327.000	353.509.000	+ 6,37 %
Linha 5 – Lilás	18.475.000	74.690.000	+ 304,28 %
Total	774.641.000	877.171.000	+ 13,24 %

Demanda de Transporte – CMSP (2)

- Média de Passageiros Transportados por Dia Útil

Linha do Metrô de São Paulo	Número de Passageiros em 2006 [1]	Número de Passageiros em 2012 [2]	Variação de 2006 para 2012
Linha 1 – Azul	1.149.698	1.039.000	- 9,63 %
Linha 2 – Verde	312.879	515.000	+ 64,60 %
Linha 3 – Vermelha	1.133.318	1.191.000	+ 5,09 %
Linha 5 – Lilás	68.086	254.000	+ 273,06 %
Total	2.663.982	2.999.000	+ 12,58 %

Falta de Qualidade Percebida (1)



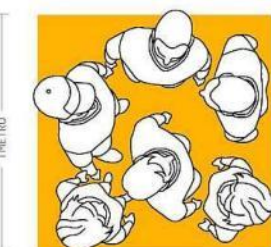
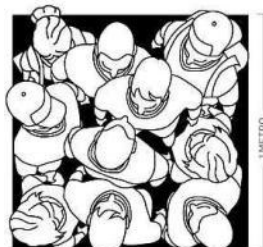
[Adaptado] <http://www.rodrigovianna.com.br/wp-content/uploads/2010/09/metro-1.jpg>

Falta de Qualidade Percebida (2)

LOTAÇÃO

Aperto

Passageiros de pé por metrô quadrado em horário de pico



10 passageiros
Linha 3
Vermelha

8,9 passageiros
Linha 1
Azul

6,5 passageiros
Linha 2
Verde

6 passageiros
é o nível máximo de desconforto adotado Internacionalmente

Medidas para driblar a superlotação

1 Catracas
Diminuição do número de catracas livres para os passageiros acessarem as plataformas

2 Virada dos trens
Na Linha 1-Azul, passageiros são retirados das composições na Estação São Bento, para que as elas fiquem vazias para atender a demanda no sentido oposto da linha. O mesmo ocorre na Linha 3-Vermelha, nas Estações Penha e Tatuapé

3 Escadas rolantes
Desligamento das escadas rolantes para diminuir ritmo do acesso de passageiros às plataformas

4 Embarque Legal
Programa Embarque Legal, que também tenta organizar o fluxo de passageiros no horário de pico

5 Grades
Colocação de grades nas plataformas para melhorar o embarque e desembarque

6 Trens
Mudança na configuração dos trens, que têm menos bancos e portas mais largas, de 1,30 m para 1,60 m, para facilitar o acesso de passageiros

INFOGRÁFICO: EDUARDO ASTA E RODRIGO FORTES/AE

<http://blogs.estadao.com.br/it-cidades/files/2011/04/lotacao-metro1.jpg>

Falta de Qualidade Percebida (3)



[Adaptado] <http://noticias.uol.com.br/album/2012/05/16/trens-do-metro-de-sao-paulo-se-chocam-na-zona-leste.htm?abrefoto=9#fotoNav=12>

Melhoria de Desempenho e Qualidade

- As seguintes alternativas de estratégia devem ser consideradas para se promover a melhoria do desempenho e da qualidade associada ao transporte de passageiros por meio do modal metroferroviário:
 - i. Ampliação da malha metroferroviária;
 - ii. Adoção de sistemas automatizados de controle de maior desempenho;
 - iii. Minimização da ocorrência de eventos indesejados que afetem negativamente a operação.

Entre as três categorias de ações, a alternativa iii demanda os menores investimentos e permite obter retorno mais rapidamente.

Manutenção Preditiva

- Uma das possíveis ações pertencentes à categoria *iii* é a **implantação de um programa de manutenção preditiva**.
- Segundo [3], os seguintes benefícios puderam ser atingidos em decorrência da adoção de técnicas de manutenção preditiva em uma **planta industrial**:

Custos de manutenção	Redução de 50% a 80%
Ocorrência de falhas nas máquinas	Redução de 50% a 60%
Estoque de sobressalentes	Redução de 20% a 30%
Horas extras para manutenção	Redução de 20% a 50%
Tempo de parada das máquinas	Redução de 50% a 80%
Tempo de vida das máquinas	Aumento de 20% a 40%
Produtividade	Aumento de 20% a 30%

PANORAMA DO ESTADO-DA- ARTE DA MANUTENÇÃO PREDITIVA

(12)

Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva é “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” [4].

A manutenção preditiva 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” [4].

Tendência das Pesquisas Científicas (1)

- Resultados relevantes por repositório de publicações
 - **IEEEExplore** (<http://ieeexplore.org>):
 - Artigos em Periódicos: 7
 - Artigos em Congressos: 5
 - Data da Publicação mais Antiga: 1978
 - Data da Publicação mais Recente: 2012
 - **ScienceDirect** (<http://www.sciencedirect.com>):
 - Artigos em Periódicos: 7
 - Artigos em Congressos: 0
 - Data da Publicação mais Antiga: 2007
 - Data da Publicação mais Recente: 2012

IEEE Xplore®
DIGITAL LIBRARY



Tendência das Pesquisas Científicas (2)

- Levantamento probabilístico da predisposição de ocorrência de falhas com base em características quantitativas de histórico de operação **(1978)**;
- Implantação de programas economicamente viáveis de manutenção preditiva em empresas;
- Apresentação de técnicas de monitoramento operacional para suporte à manutenção preditiva em aplicações específicas (por exemplo, escavação e distribuição de energia elétrica).

Tendência das Pesquisas Científicas (3)

- Apresentação de sistemas automatizados de manutenção preditiva baseados no uso de pelo menos uma das seguintes técnicas:
 - Software especificado com métodos formais;
 - Sistemas multiagentes;
 - Integração com ERPs;
 - Sistemas especialistas;
 - Redes neurais;
 - Algoritmos genéticos.

JUSTIFICATIVA E OBJETIVO DO TRABALHO

(17)

Justificativa do Trabalho (1)

- As abordagens propostas nas pesquisas recentes geralmente demandam a implantação de uma **infraestrutura específica** para dar suporte à coleta de dados e ao monitoramento dos componentes do sistema sob avaliação.
- Nas abordagens propostas nas pesquisas recentes, **o custo associado pode ser excessivamente elevado** dependendo do sistema.



Justificativa do Trabalho (2)

- Se houver de antemão **registros dos instantes de ocorrência das falhas e das manutenções** (corretivas e preventivas) dos componentes de um sistema, *por que não utilizar essas informações para implantar um programa de manutenção preditiva?*

Como já há dados disponíveis e os processos para coleta de novas informações já foram estabelecidos, o custo para implantar um programa de Manutenção Preditiva baseado nessa abordagem seria menor que o das demais alternativas.

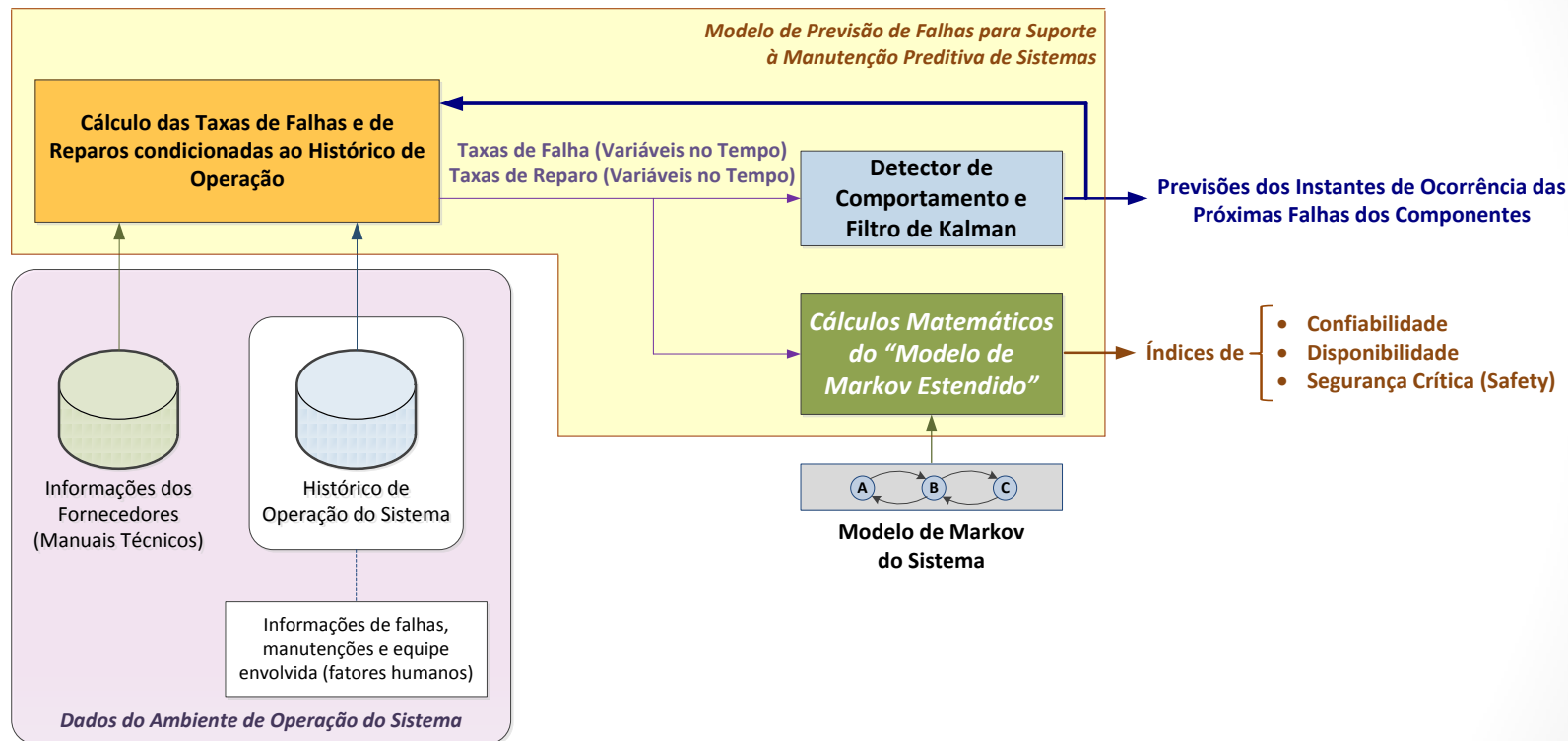
Objetivo do Trabalho

*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.***

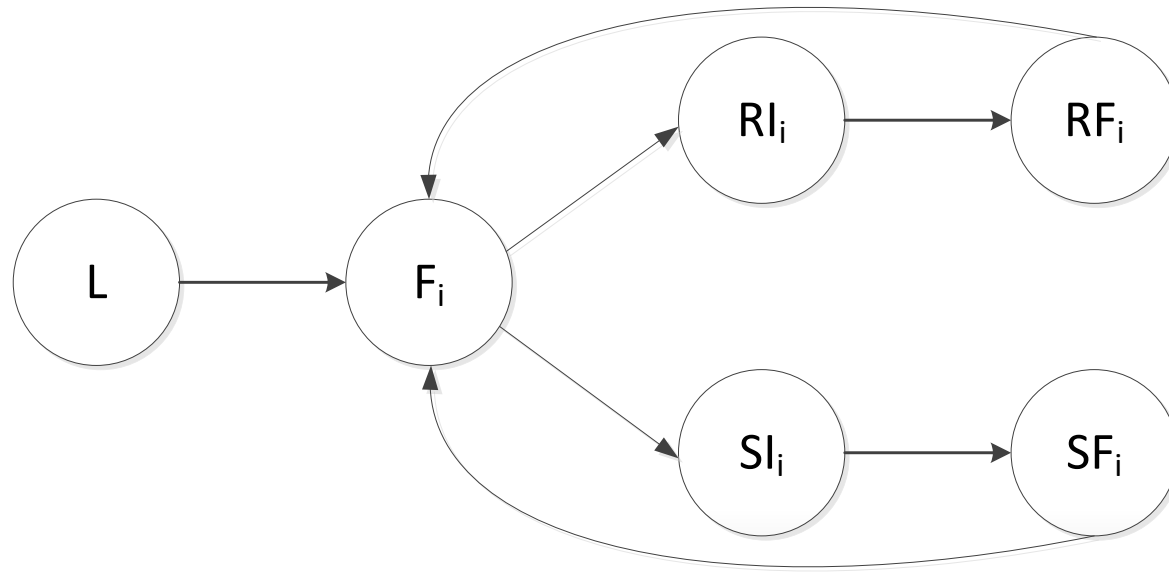
MODELO DE PREDIÇÃO DE FALHAS PARA SUPORTE À MANUTENÇÃO PREDITIVA DE SISTEMAS ELÉTRICOS, ELETRÔNICOS E PROGRAMÁVEIS

{ 21 }

Arquitetura do Modelo



Eventos de Falhas e Manutenções Considerados no Modelo



L: Evento de ativação do sistema

F_i : Evento de falha do componente i

R_i : Evento de início de reparo do componente i

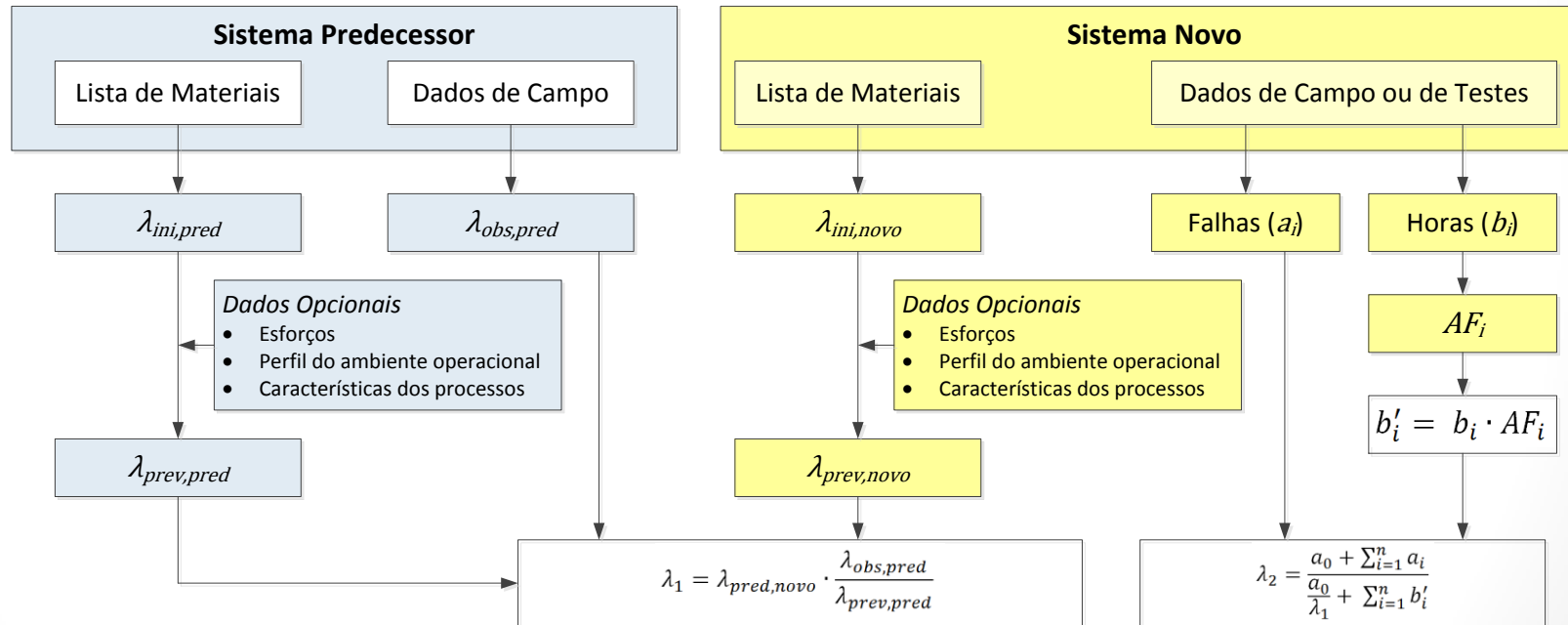
RF_i : Evento de final de reparo do componente i

S_i : Evento de início de substituição do componente i

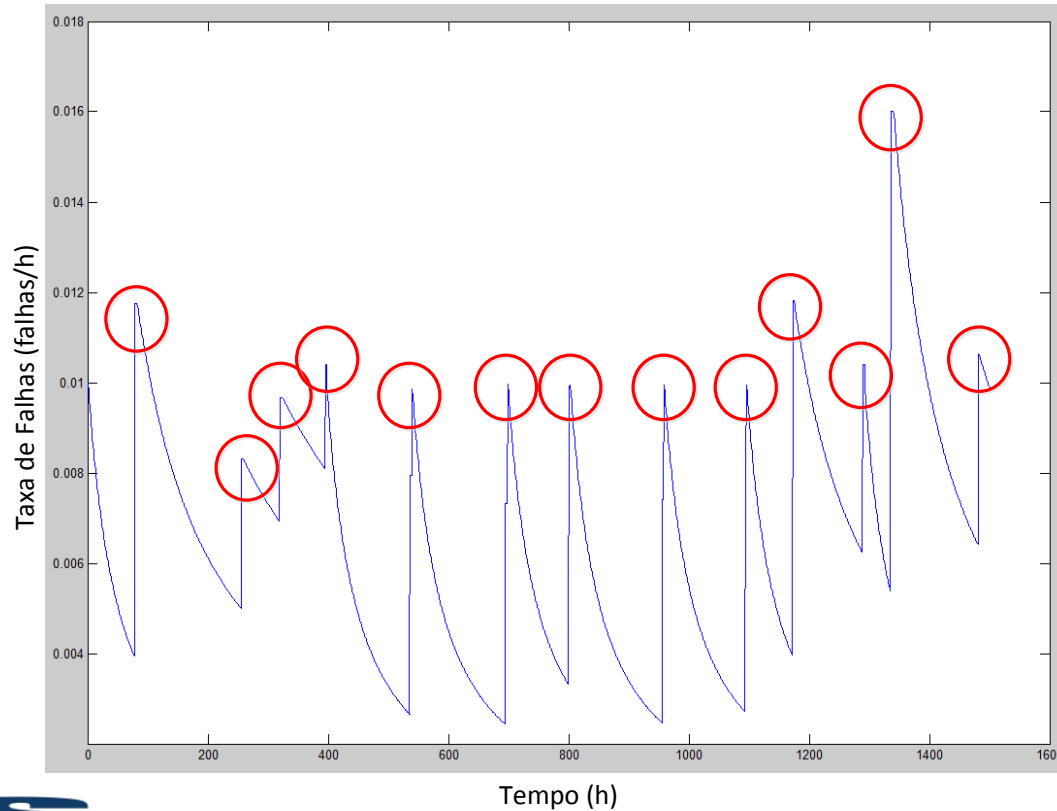
SF_i : Evento de final de substituição do componente i

Cálculos das Taxas de Falhas e de Reparos dos Componentes

- Padrão RIAC-HDBK-217Plus [5]



Detector de Comportamento e Filtro de Kalman



Instantes de Tempo de Ocorrência de uma Falha

Cálculos do Modelo **Estendido** de Markov

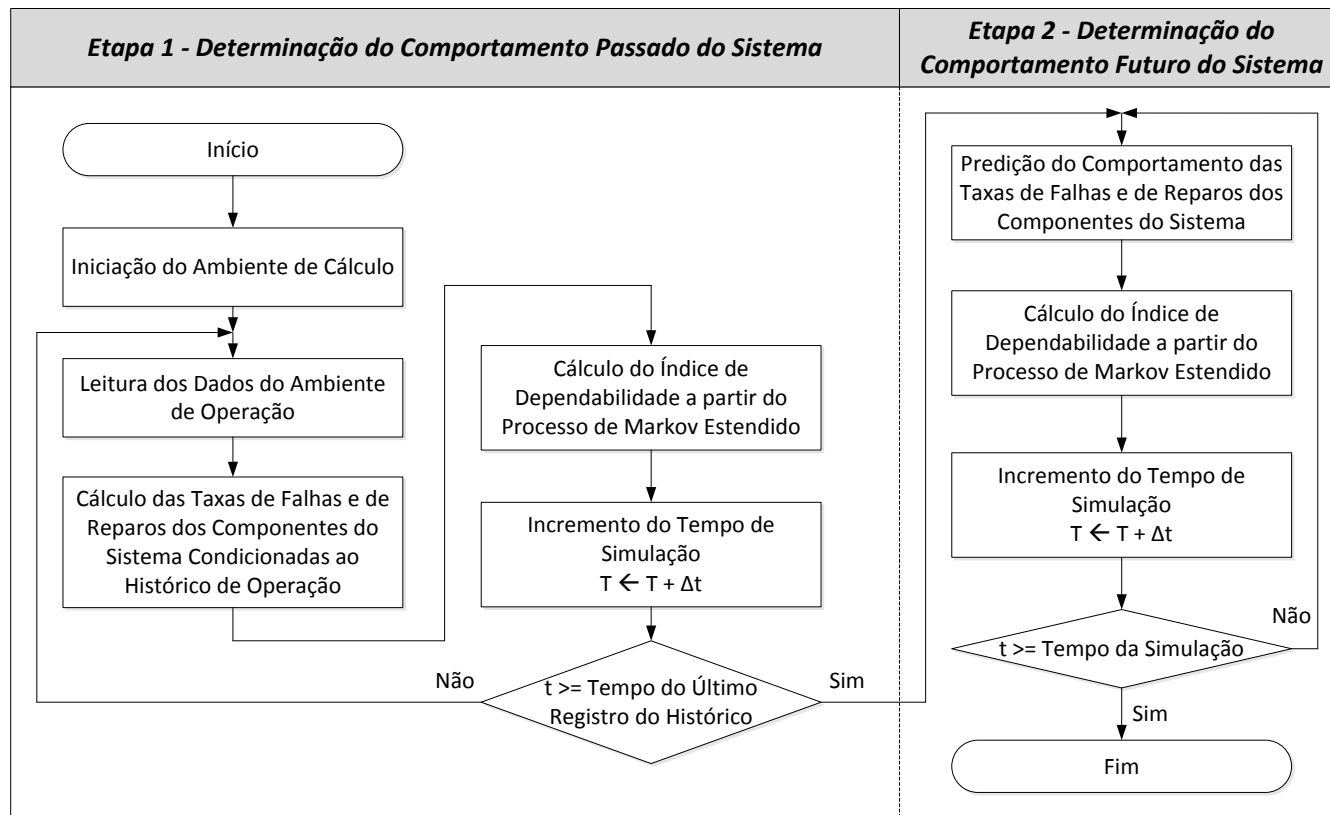
$$P(t + \Delta t) = A(t + \Delta t) \cdot P(t)$$

Probabilidades
dos Estados no
instante $t + \Delta t$

Matriz de
Transições **no**
instante $t + \Delta t$

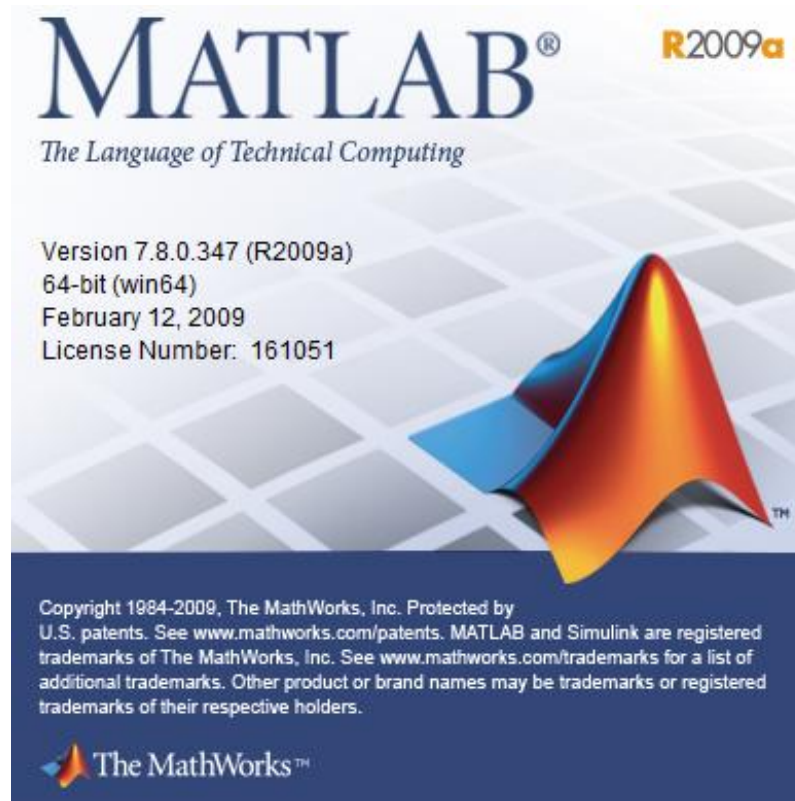
Probabilidades
dos Estados no
instante t

Funcionamento Dinâmico do Modelo



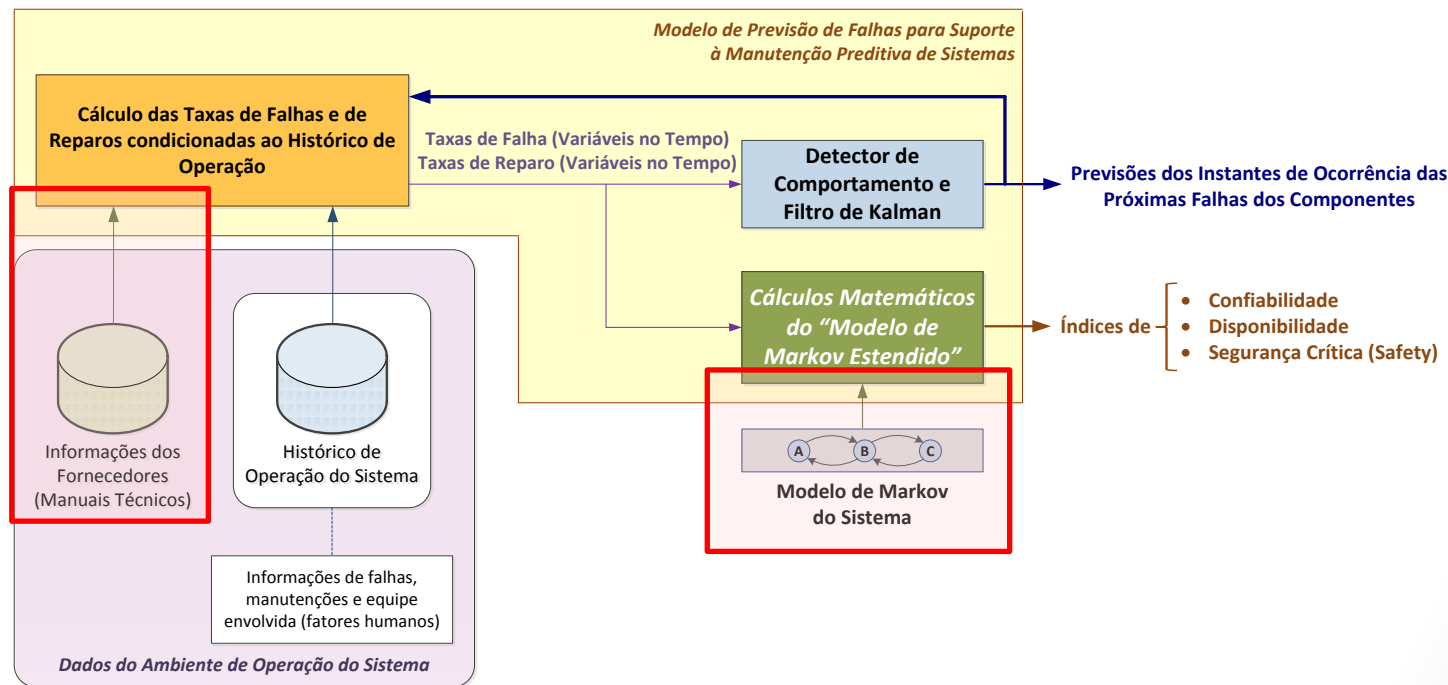
AMBIENTE DE DESENVOLVIMENTO E ENSAIO DO MODELO PROPOSTO

Ferramenta de Desenvolvimento



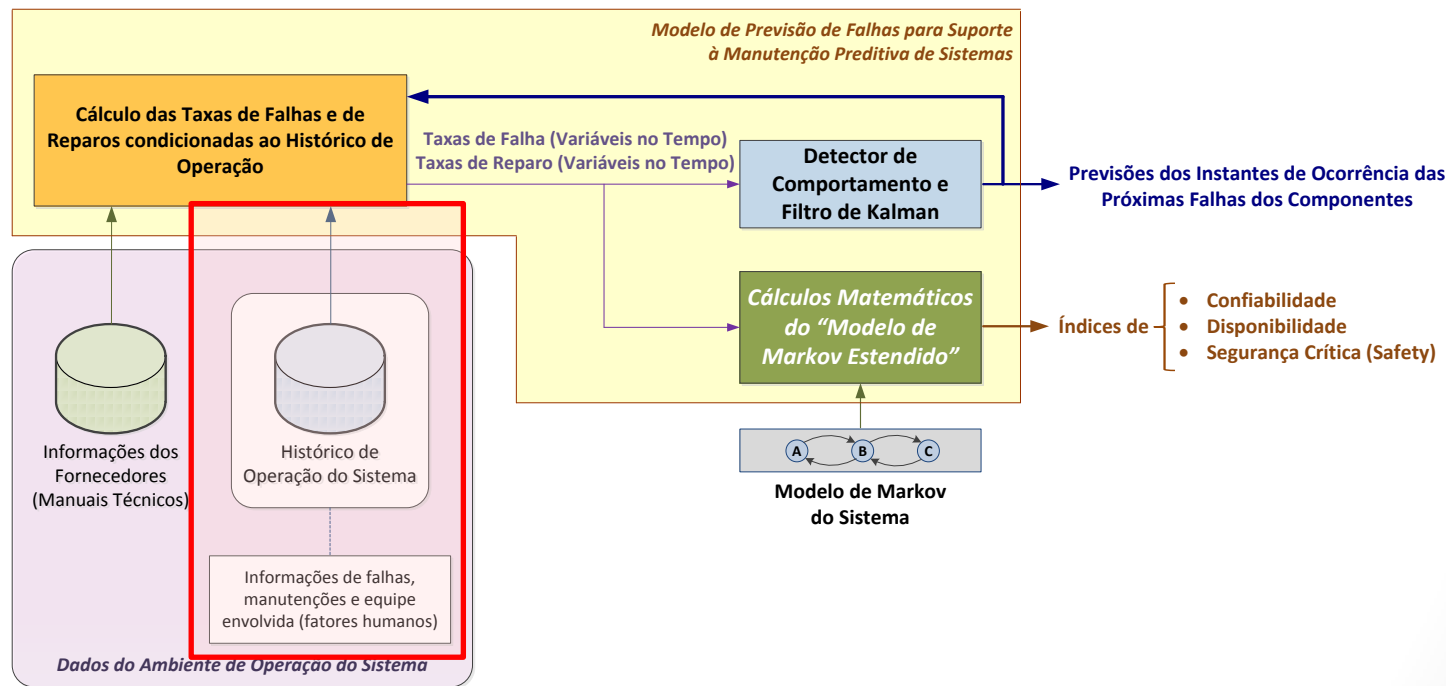
Elementos em Desenvolvimento (1)

1) Módulo “Leitura da Especificação do Sistema”



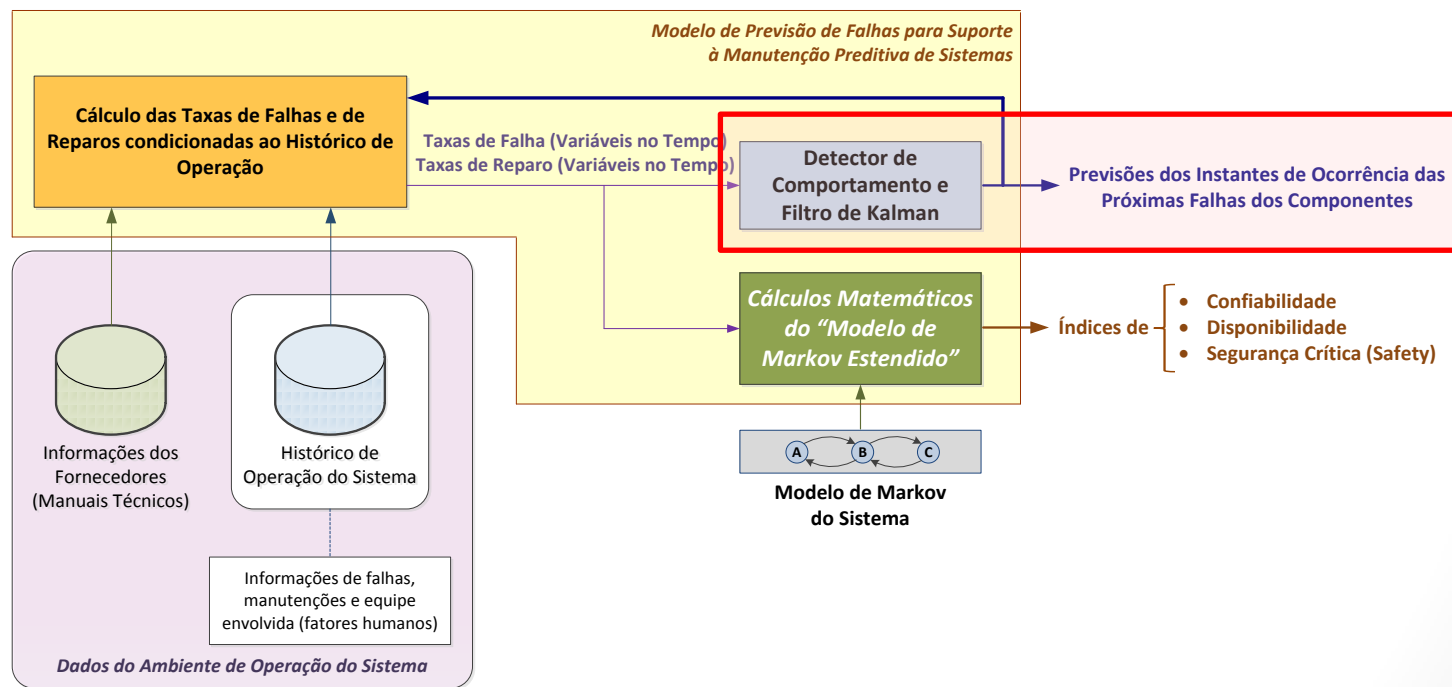
Elementos em Desenvolvimento (2)

2) Módulo “Simulador de Dados de Entrada”



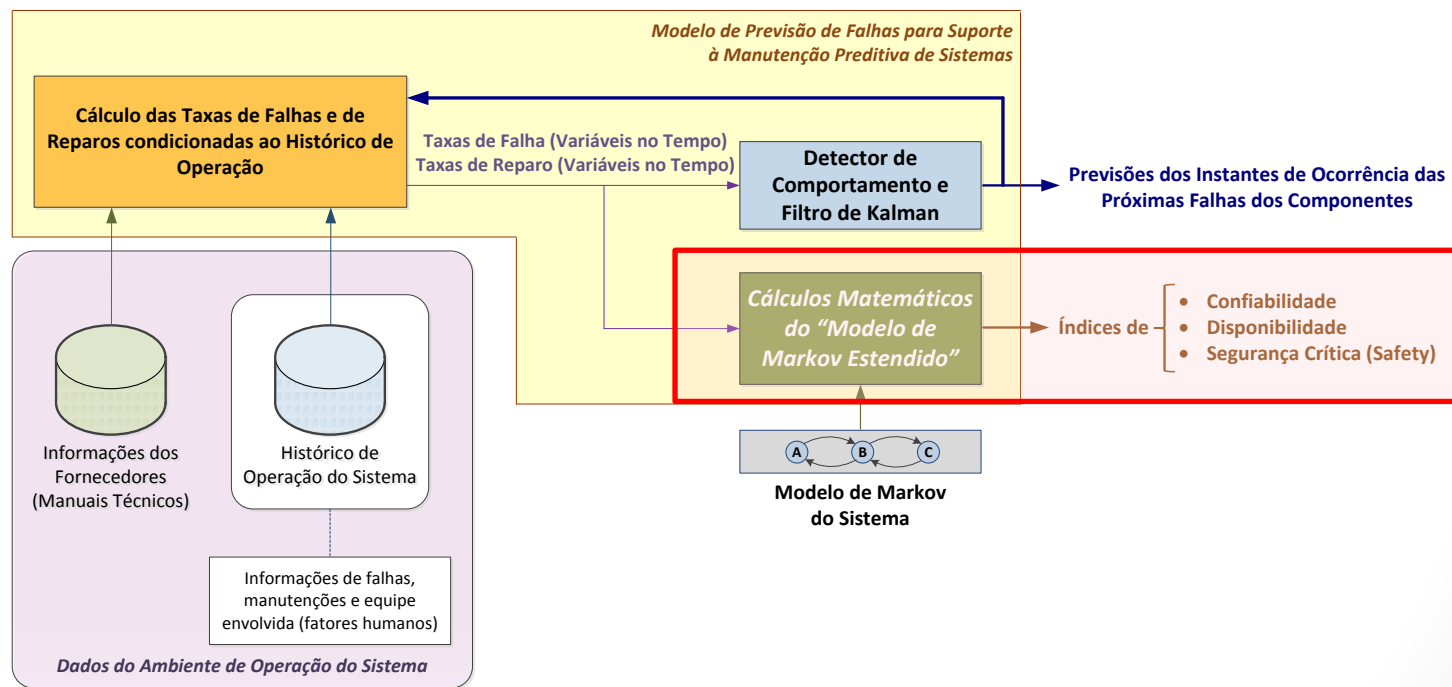
Elementos em Desenvolvimento (3)

3) Módulo “Tratamento Estatístico e Filtragem Kalman para Predição de Falhas”



Elementos em Desenvolvimento (4)

4) Módulo “*Computação de Processos de Markov com Histórico de Operação*”



CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

(34)

Considerações Preliminares (1)

- Ensaios preliminares permitem observar que, em média, são necessários ao menos **3 a 5 registros de falhas passadas** para que o desvio padrão das amostras referentes às falhas futuras seja compatível com as necessidades demandadas para aplicações práticas usuais.
- Em sistemas críticos com relação à dependabilidade, isso pode demandar que dados de histórico de muitos anos estejam disponíveis, sobretudo **quando o nível de abstração dos componentes avaliados é alto e quando técnicas de tolerância a falhas estão presentes.**

Considerações Preliminares (2)

Dessa maneira, considera-se que o potencial do modelo proposto possa ser mais bem aproveitado para auxiliar na **manutenção preditiva de sistemas em níveis mais baixos de abstração** (por exemplo, cartões eletrônicos e programáveis).

Referências Bibliográficas

1. CMSP. **Diretrizes Gerais para Modernização dos Sistemas de Sinalização e Controle, Telecomunicações e Controle Centralizado**. Rev. 0, 17/07/2007.
2. CMSP. **Demanda de Passageiros**. Disponível em <http://www.metro.sp.gov.br/metro/numeros-pesquisa/demanda.aspx>. Acesso em 25/08/2013.
3. ALMEIDA, M. T. DE. **Manutenção Preditiva: Benefícios e Lucratividade**. Itajubá (MG), 2011. Disponível em <http://www.mtaev.com.br/download/mnt2.pdf>. Acesso em 25/08/2013.
4. 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.
5. RIAC. **Handbook of 217Plus(TM) Reliability Prediction Models**. Nova Iorque. 2006.

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

Eng. Antonio Vieira da Silva Neto

Prof. Dr. Paulo Sérgio Cugnasca

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

12 de Setembro de 2013

[38]