

## IMPLANTAÇÃO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA PARA AUMENTO DE CONFIABILIDADE DE EQUIPAMENTOS HOTBOX/HOTWHEEL NA EFC

Leandro Rocha Lopes, VALE (1)

Guilherme Bandeira de Arruda, VALE (2)

### RESUMO

O sistema Hotbox/HotWheel (HBW) são equipamentos Waysides responsáveis por medir a temperatura de rolamento e rodas das composições ferroviárias. Durante a movimentação na região dos sensores, estes componentes de vagões e locomotivas emitem calor através de radiação infravermelha sendo estas detectadas pelos sensores pirômetros localizados na ferrovia. Após os dados coletados e processados, as informações são enviadas para um supervisor centralizado através de uma rede de comunicação por pooling. Em caso de alarmes, é solicitada a parada imediata da composição para a avaliação. Uma alta confiabilidade desse ativo é desejada pois está diretamente ligado a segurança operacional, além de que, paradas indesejadas, geram alto custo operacional. Basicamente, a manutenção deste ativo é realizada em inspeções de 21 dias, preventivas de 52 semanas ou corretivas quando há algum evento que leve a perda da função requerida. O presente trabalho tem por objetivo a implantação de manutenção pôde-se traçar a curva distribuição probabilidade Weibull para avaliação de confiabilidade. Estratificando-se o problema, identificou-se que os principais modos de falha estão ligados a ruídos no sensor pirômetro e falhas no envio de dados. Para mitigar os desvios, construiu-se em estrutura SQL, um supervisor com informações provenientes do sinal de cada sensor pirômetro e tempo de transmissão de dados para acompanhamento preditivo. Após a implantação da funcionalidade e estratégia de manutenção, a confiabilidade do ativo passou a 93,19% considerando um tempo de missão de 21 dias.

### 1. INTRODUÇÃO

O sistema Hotbox/HotWheel (HBW) coleta sinais analógicos de calor quando a composição ferroviária cruza a região dos sensores e analisa a informação de algum aquecimento anormal. As condições de alarme são gravadas e transmitidas ao centro operacional através de uma rede de comunicação. No atual cenário de aumento de demanda de transporte de carga na EFC (Estrada de Ferro Carajás) a atividade de manutenção se torna função estratégica fundamental à empresa. Dentro deste cenário, o monitoramento e a detecção precoce de condições inseguras de caixas de rolamento e rodas tornam-se cada vez mais importante.

Em um ambiente altamente competitivo e em constante evolução tecnológica, o sucesso de uma empresa está intimamente ligado ao quanto ela conheça da confiabilidade de seus produtos, ativos e processos para que possa controlá-los. Segundo a NBR-5462 [1], confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo. Desta forma, é ideal que se conheça o comportamento quanto a vida útil (tempo de vida), para que ações possam ser tomadas partir do comportamento observado em casos de desvios.

Os equipamentos industriais são arranjos complexos de itens, componentes e subsistemas, com metas de desempenho, confiabilidade e manutenibilidade. Após definida a função, o projetista calcula a confiabilidade esperada e identifica a importância dos componentes para esta confiabilidade [2].

O método quantitativo é umas das formas existentes para se gerenciar a confiabilidade e a disponibilidade de equipamentos. Em tal metodologia, as previsões são baseadas em dados históricos dos quais se procura extrair padrões de comportamento através de uma modelagem matemática. A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é um dos métodos quantitativos que tem sido aplicados com sucesso a vários segmentos industriais [2] [3] [4].

A confiabilidade é definida como uma probabilidade, ou seja, deve apresentar valores entre 0 e 1 e os axiomas clássicos da probabilidade podem ser aplicados nos cálculos [5].

1 M.Sc, Engenheiro Sênior - VALE

2 Esp., Engenheiro Sênior - VALE

O tempo até a falha de um componente ou sistema é uma variável aleatória, e segue uma distribuição de probabilidade. A distribuição Weibull é uma das distribuições de probabilidade mais frequentemente utilizadas devido à sua flexibilidade e capacidade de representação de amostras de tempos até falha com comportamentos de funções de risco distintas (curva da banheira) [5]. A partir de seus parâmetros, é possível avaliar o cenário e traçar estratégias de manutenção (corretiva, preventiva ou preditiva). Uma má decisão quanto ao modelo de manutenção a ser utilizado, pode levar a desperdício de recursos e consequentemente drenar os lucros.

Este artigo tem por objetivo a implantação da manutenção preditiva em sistemas HBW para aumento de sua confiabilidade baseando-se na característica histórica do equipamento dada pela função distribuição Weibull.

A justificativa deste trabalho dá-se pela necessidade de uma alta confiabilidade dos ativos devido ao cenário altamente competitivo e tecnológico que vivemos além da criticidade operacional.

Na seção 2 é apresentado o sistema HotBox/HotWheel, seu princípio de funcionamento e principais componentes. Já na seção 3 tem-se um breve resumo de confiabilidade e das características da distribuição probabilidade Weibull. Por sua vez, na seção 4 tem-se a análise de confiabilidade do sistema a partir de dados históricos dos anos 1 e 2 para que, na seção 5, seja apresentada a implantação da manutenção preditiva e exposto os principais resultados. Por fim, na seção 6 tem-se a conclusão e as observações sobre os resultados obtidos.

## 2. SISTEMAS HOTBOX/HOTWHEEL DA EFC

Para monitoramento das temperaturas das rodas e rolamentos dos ativos rodantes (locomotivas e vagões), a empresa dispõe de equipamentos HBW (HotBox/HotWheel) dispostos em 12 pontos da EFC (1 para cada linha da ferrovia que hoje é duplicada) e 3 no RFSP (Ramal Ferroviário Sudeste do Pará). O monitoramento é realizado através da radiação infravermelha emitida pelas caixas de rolamento e rodas. Basicamente um sistema de via, conforme pode ser visto na figura 1, é composto por:

- 2 Transdutores eletromagnéticos para detecção de rodas;
- 2 scanners com sensores pirômetros infravermelhos para detecção de temperatura de rolamentos;
- 2 scanners com sensores pirômetros infravermelhos para detecção de temperatura de rodas;
- 1 circuito de via para detecção de aproximação de trens na região dos sensores;



Figura 1 – Sensores de campo.

Já dentro do abrigo do equipamento, conforme figura 2, os principais componentes são:

- 1 unidade de processamento microHBD;
- 1 unidade de processamento microHWD;
- 1 módulo circuito de via;



Figura 2 – Unidades de processamento campo.

Na figura 3 tem-se parte das informações de temperatura disponibilizadas ao operador. A detecção de aproximação da composição ferroviária na região dos sensores é realizada a mais ou menos 30m pelo circuito de via. Quando isso ocorre, os sensores ficam em estado de espera para medição das temperaturas. Logo após, os transdutores de roda realizam a contagem de eixos permitindo a associação da temperatura ao carro. Nesse momento os dados de temperatura, velocidade, direção e espaçamento são coletados pelo microHBD e MicroHWD. Após passagem do trem, o sistema analisa os dados, salva todas as informações e transmite do abrigo do equipamento ao abrigo de micro-ondas mais próximo, para seguir ao supervisorio centralizado, por uma rede de comunicação por pooling, via fibra ótica.



Figura 3 – Informações de temperatura de caixa e roda de uma composição

Em caso de ocorrência de temperaturas elevadas, o procedimento de parada do trem é iniciado pelo Centro de Controle Operacional.

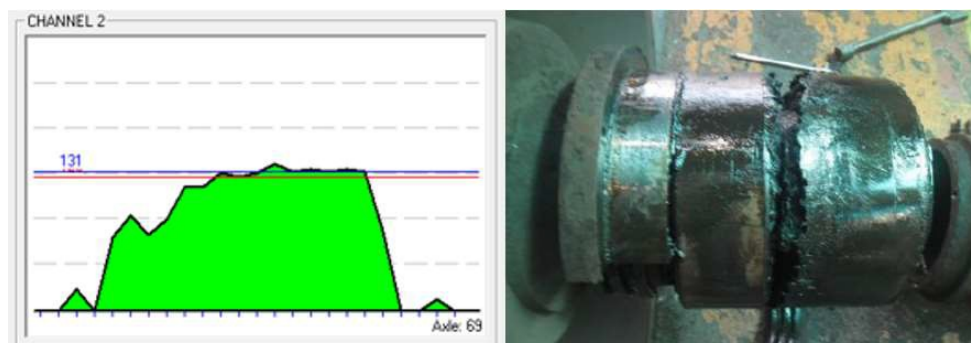


Figura 4 – Perfil de calor detectado para um alarme de HotBox

Na figura 4 tem-se o perfil de aquecimento para um alarme de HB. Para perfeita detecção é necessário um alinhamento refinado dos scanners para que a temperatura seja medida no local correto. É um processo delicado e preciso que, em caso de desvios, há possibilidade de que rodas ou rolamentos que estejam em processo de falha não sejam identificados. Para o Hotbox a detecção é realizada a uma distância horizontal de  $\pm 7 \frac{1}{4}$ " do boleto do trilho e a um ângulo de  $45^\circ$  do rolamento, conforme mostra figura 05.

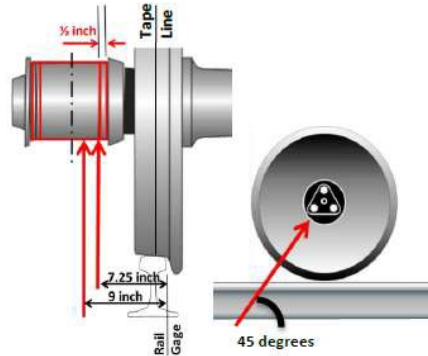


Figura 5 – Alinhamento scanner HotBox [6].

Devido a criticidade do ativo, por se tratar de segurança operacional, uma alta confiabilidade é necessária.

### 3. CONCEITOS BÁSICOS DE CONFIABILIDADE

Segundo Leemis [6], a confiabilidade de um item corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas [5].

Em se tratando de estratégia de manutenção, uma importante base de apoio são métodos quantitativos já propostos na literatura. O RCM (Reliability-Centered Maintenance - Manutenção Centrada Na Confiabilidade) é um método que pode contribuir para o aumento da confiabilidade e da disponibilidade de equipamentos. A MCC é um método sistemático que visa propor o tipo ideal de manutenção a ser realizada em um equipamento com base nas características de falhas. Assim, a MCC é uma técnica utilizada para desenvolver planos de manutenção que minimizem os custos associados as atividades de manutenção através de um foco nas funções mais críticas ao sistema [7]. Para isso, a qualidade da base de dados tem interferência direta nos resultados.

A modelagem matemática possibilita a determinação da função confiabilidade por uma distribuição de probabilidade. Com isso, é capaz de oferece informações importantes, tais como a probabilidade  $R(t)$  de sobrevivência até o tempo  $t$ , o tempo médio  $\bar{T}$  até a falha e a função risco  $\lambda(t)$  do equipamento [5].

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (1)$$

$$\bar{T} = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (2)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3)$$

Os componentes podem ser classificados em não reparáveis e reparáveis. Um componente não reparável falha somente uma vez, ou seja, não pode ser reparado. Já um componente reparável é um item que, quando

uma falha ocorre, pode retornar a uma condição de operação através de algum processo de reparo. Para itens não reparáveis o termo correto é MTTF (Mean Time To Failure – Tempo Médio até a Falha). Para itens reparáveis cujo resultado do reparo pode ser considerado tão bom quanto novo, usa-se MTBF (Mean Time Between Failure - Tempo Médio entre Falhas) [2].

Sistema é todo o conjunto de componentes interconectados segundo um projeto predeterminado, de forma a realizar um conjunto de funções de maneira confiável e com bom desempenho [5]. Em sistemas, a confiabilidade depende da confiabilidade intrínseca das partes e da natureza das conexões entre elas. Duas conexões básicas descrevem a maioria dos sistemas industriais: série e paralela.

$$F(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t)) \quad (4)$$

$$R(t) = \prod_{i=1}^n (1 - F_i(t)) \quad (5)$$

Num sistema em série, todos os componentes devem funcionar para que o sistema funcione. Já para o sistema em paralelo, todos os componentes devem falhar para que o sistema falhe.

Há diversos modelos paramétricos para os tempos até a falha:

- Exponencial;
- Lognormal;
- Gamma;
- Normal;
- Logística;
- Weibull;

Dentre estas, a Weibull é mais amplamente utilizada pois possibilita explicar o comportamento de sistemas cuja falha nasce da competição entre diversos modos de falha.

### 3.1 Distribuição Weibull

A expressão mais geral da Função Densidade Probabilidade (f.d.p) é da distribuição Weibull de três-parâmetros, dada pela expressão:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} \exp \left( - \left( \frac{t - \gamma}{\eta} \right)^{\beta} \right) \quad (6)$$

Em que,

$$f(t) \geq 0, \quad t \geq \gamma, \quad \beta > 0, \quad \eta > 0, \quad -\infty < \gamma < +\infty \quad (7)$$

sendo:

- $\beta$ : o parâmetro de forma, conhecido também como inclinação da distribuição Weibull;
  - Determina a forma da curva e a característica das falhas do sistema;
- $\eta$ : o parâmetro de escala

- o É o valor no tempo pelo qual 63,2% de todas as falhas terão ocorrido. Nesse sentido,  $\eta$  é apenas um ponto na escala de tempo, proporcionando alguma medida padrão da distribuição dos tempos ao fracasso.
- $\gamma$ : o parâmetro de posição
  - o É algum valor do tempo pelo qual na distribuição completa de tempos a falha é deslocada, ou seja, intervalo de tempo em que o equipamento não apresenta falhas;

As representações de confiabilidade da distribuição de Weibull são:

- Função de Confiabilidade

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\gamma} \quad (8)$$

- Função de Risco (Taxa de Falhas)

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\gamma}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\gamma-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\gamma} \quad (9)$$

- Tempo Médio de Vida útil (MTBF)

$$MTBF = \int_0^\infty R(t) dt = \eta \Gamma\left(1 + \frac{1}{\gamma}\right) \quad (10)$$

### 3.2 Curva da Banheira e Estratégia de Manutenção

Ao longo do ciclo de vida, o comportamento da taxa de falha de um equipamento pode ser representado por uma curva (Bathtub Curve), conforme figura 06.

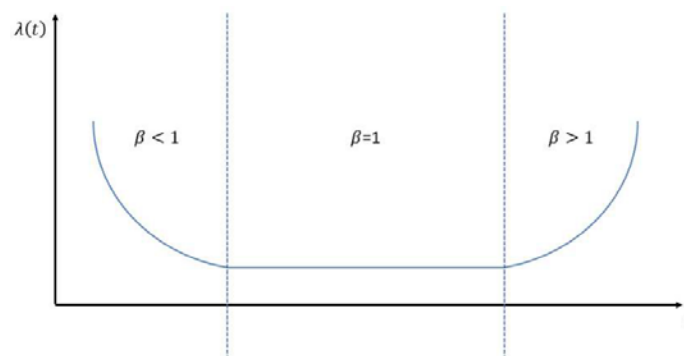


Figura 6 – Curva da banheira (bathtub curve).

É caracterizada por três períodos distintos associadas ao fator de forma da distribuição de Weibull que descreve a confiabilidade do sistema:

- Mortalidade infantil: para valor de  $\beta < 1$ ;
- Maturidade: para valor de  $\beta = 1$ ;
- Mortalidade senil (envelhecimento): para valor de  $\beta > 1$ ;



No período inicial há uma alta taxa de falhas, porém, decrescente. Normalmente as falhas são prematuras, originadas por erros de instalação, processo de fabricação ou materiais inadequados [9]. Segundo Sellitto [10] a estratégia de manutenção ideal nesse período é a corretiva pois possibilita identificar e corrigir deficiências do projeto ou instalação.

Na fase de maturidade, a taxa de falhas é sensivelmente menor e oscila ao redor de uma média constante. As falhas são aleatórias, devidas a fatores pouco controláveis tais como erros humanos e falhas inevitáveis [9]. A estratégia para esta fase é a manutenção preditiva. Tal tipo de manutenção é realizado conforme a necessidade, baseado no resultado de inspeções contínuas ou periódicas quando a variável a ser monitorada atinge o limite pré estabelecido [4].

Por fim, na fase de envelhecimento, as falhas são provenientes de desgaste ou degradação. A estratégia indicada é a preventiva pois previne uma indisponibilidade através de ações coordenadas e periódicas de intervenção no sistema [9].

Tabela 1 - Relação entre as fases do ciclo de vida e estratégias de manutenção de equipamentos [10]

Fases	Estratégias	Decorrências
mortalidade infantil, falhas de origem	emergência	retarda ou até impede o fim da mortalidade infantil ao não reforçar os itens que quebraram ou não remover as causas das falhas de origem
	corretiva	antecipa o fim da mortalidade infantil ao reforçar os itens que quebraram ou remover as causas das falhas de origem
	preditiva	monitora as falhas em progresso que podem resultar em quebra, mas estas são muito poucas nesta fase, pois as quebras se dão mais por baixa resistência
	preventiva	perpetua ou até agrava a mortalidade infantil ao trocar exatamente os sobreviventes, os itens fortes, que não têm falhas de origem
maturidade, falhas aleatórias	emergência	como se limita a trocar componentes quebrados, pode fazer retornar à mortalidade infantil se não selecionar os substitutos
	corretiva	é inócua quanto às falhas catastróficas, mas pode reduzir o patamar de expectativa de falhas eliminando modos de falha que passaram da primeira fase
	preditiva	informa o início e monitora os processos de falhas progressivas que resultarão em quebras, podendo predizer aumentos na probabilidade da quebra
	preventiva	retorna à mortalidade infantil ao trocar exatamente os sobreviventes, os itens fortes, que não têm falhas de origem e ainda não iniciaram o desgaste
desgaste, falhas progressivas	emergência	permite que as quebras que vão ocorrer realmente ocorram a um custo interno mais baixo do que a preventiva
	corretiva	só será útil se for capaz de retardar ou o início da falha ou a quebra que realmente vai ocorrer
	preditiva	monitora os processos progressivos de falhas já iniciados predizendo aumentos na probabilidade da quebra
	preventiva	previne a emergência antecipando a troca à quebra que realmente vai ocorrer, porém a um custo interno mais alto do que a emergência

Na Tabela 1, Sellitto [10] resume as estratégias usuais de manutenção com as fases do ciclo de vida do equipamento. Para uma correta gestão de manutenção é necessário que se conheça os intervalos e comportamento temporal do sistema a fim de se evitar desperdícios e otimizar custos.

#### 4. ANÁLISE DE DADOS DE VIDA DOS HBW NA EFC

Utilizando-se dos dados disponíveis no sistema informatizado, realizou-se a análise de dados de vida do sistema HBW com o MINITAB. Para avaliação do modelo, algumas premissas foram adotadas:

- Considerou-se históricos de corretivas, preventivas e demais intervenções que indisponibilizaram por algum momento o ativo;
- Em cada intervenção considerou-se o reparo perfeito, ou seja, retornam o ativo a uma condição “tão bom quanto novo”
- Os equipamentos que compõe o sistema foram considerados em série;
- Utilizou-se função de Verossimilhança como estimação paramétrica dos valores devido a quantidade de dados censurados;
- Adotou-se intervalo de confiança bilateral de 95%;

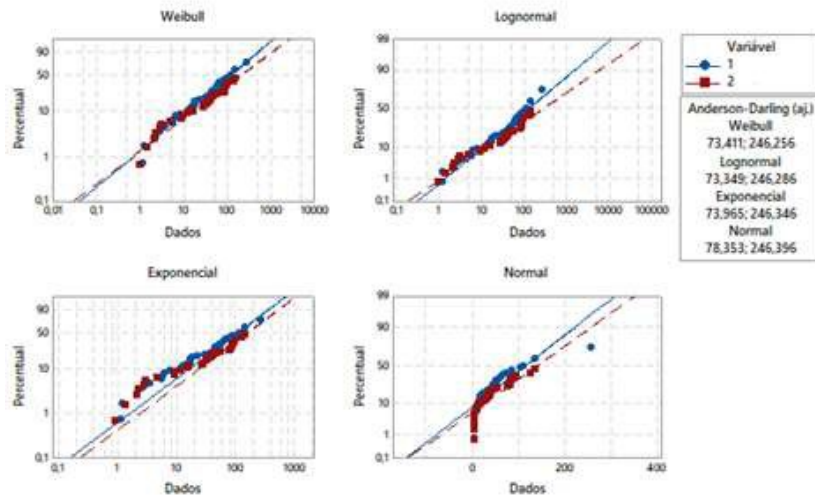


Figura 7 – Identificação da distribuição probabilidade

A primeira etapa foi realizar a identificação do modelo paramétrico de distribuição mais adequado conforme dados históricos disponibilizados. Para os anos 1 e 2, conforme valor Anderson-Darling [11], a distribuição Weibull a 2 parâmetros foi a que mais se ajustou, conforme demonstra a figura 07.

Realizando a avaliação de confiabilidade do sistema para os anos 1 e 2 chegou-se aos resultados da figura 08. Para o ano 1 tem-se o  $\beta$  igual a 0,818154 enquanto para o ano 2 tem-se  $\beta$  igual a 0,737299. Os valores de  $\beta$ , para ambos os anos, mostra que o sistema se encontrava na fase de mortalidade infantil. Uma manutenção de má qualidade também tem influência para o resultado. É importante salientar que no ano 2 houve implantação de novos equipamentos e demais atualizações tecnológicas, o que refletiu no valor do parâmetro de forma para esse ano. Além disso, em ambos os anos, houve componentes eletrônicos que apresentaram problemas antes do esperado

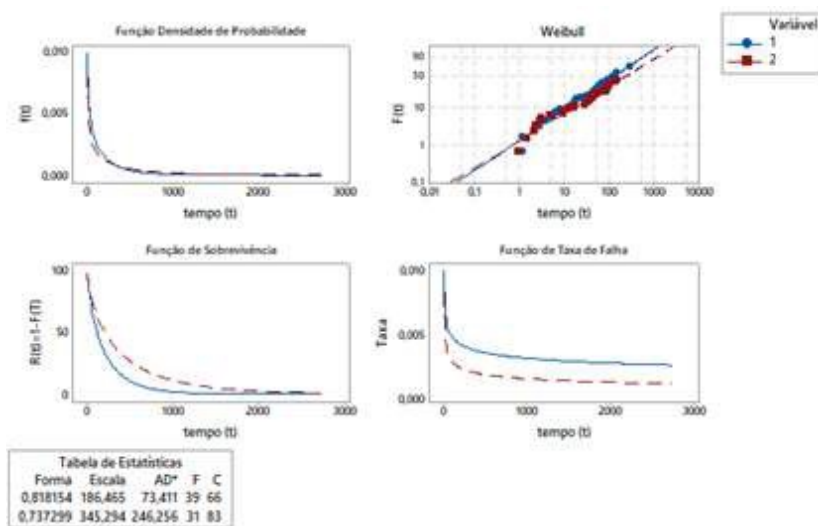


Figura 8 – Visão geral da distribuição para anos 1 e 2.

Até o ano 1, a estratégia de manutenção adotada era:

- Inspeções de campo a cada 21 dias;
- Preventivas a cada 182 dias (26 semanas);

No ano 2, inclui-se na estratégia a inspeção remota semanal. Com a iniciativa, houve um aumento da confiabilidade do sistema pois possibilitou a visualização de variação de alguns parâmetros e alertar o



mantenedor de possíveis corretivas a serem realizadas no período de inspeção de campo. Avaliando-se a confiabilidade a um tempo de missão de 21 dias tem-se:

$$\square_{1111}(21) = 84,576\%;$$

$$\square_{1111}(21) = 88,082\%;$$

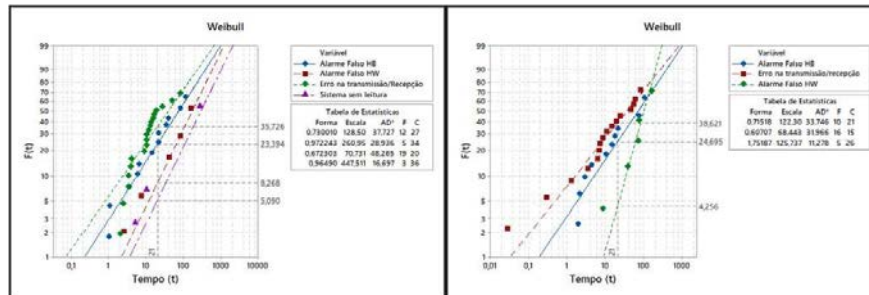


Figura 9 – Modos de Falha para os anos 1 e 2.

Verificou-se os modos de falha que mais influenciam negativamente para confiabilidade do sistema. Em ambos os anos se tem em evidência “Alarme Falso de HB” e “Erro na transmissão/recepção” conforme pode ser visto na figura 09. O parâmetro de forma  $\beta$  para esses modos de falha remete a mortalidade infantil. O alto valor de  $\beta$  para modo “Alarme falso HW” no ano 2 nos remete a fase senil, porém, para um tempo de missão de 21 dias a probabilidade de ocorrência é menor que em relação aos outros.

Diante dos dados expostos, percebe-se que a migração do sistema ao longo da curva da banheira em direção à maturidade é uma indicação do sucesso das ações, que poderão ser revisadas e estendidas no tempo.

## 5. IMPLANTAÇÃO DE PREDITIVA E RESULTADOS ALCANÇADOS

Baseando-se nos resultados de confiabilidade previamente levantados, realizou-se a construção de uma estratégia de manutenção preditiva. Utilizou-se como partida a necessidade de monitoramento dos principais modos de falha. Para isso, foi necessário a construção de um banco em SQL contendo os principais pontos a serem acompanhados. No final do ano 2 os dados foram disponibilizados em uma interface web e a estratégia foi adicionada a inspeção remota semanal.

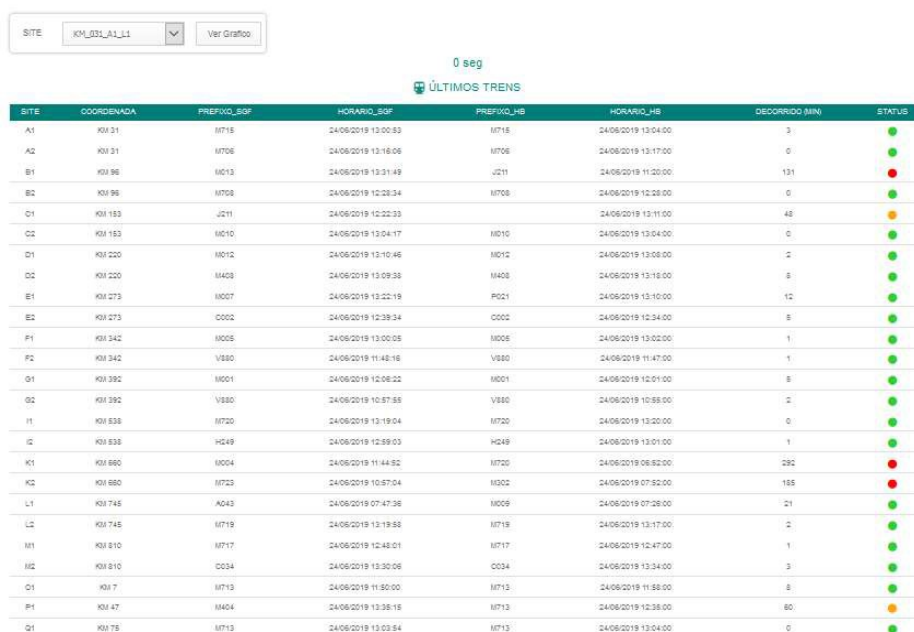


Figura 10 – Preditiva para Erro na transmissão/recepção – Tela de Status

O princípio de funcionamento para monitoramento de comunicação se baseia em dados de movimentação dos trens, provindos do sistema de gestão de tráfego, em comparação com dados processados pelo sistema HBW no campo. O sistema web consegue fazer esse monitoramento, auxiliando o operador nas tomadas de decisões, com base em regras pré estabelecidas pelo especialista.

Baseando-se no tempo (t) decorrido, tem-se os seguintes status, conforme pode ser visto na figura 10:

- Comunicação normal (Verde):  $t < 30\text{min}$ ;
- Monitorar (Amarelo):  $30 < t < 90$ ;
- Crítico (Vermelho):  $t > 90\text{min}$ ;

Com isso, é possível chegar a possíveis diagnósticos. Tais como:

- Manutenção de VP sobre a região do equipamento (Auto de Linha, Reguladora, etc.);
- Trens parado sobre a região do HBW;
- Atraso de informação devido a:
  - Baixo sinal Link Rádio;
  - Ruído na transmissão de dados;
  - Canal congestionado;
  - Dados retidos em campo;
  - HBW com hora registrada incorreta;



Figura 11 – Preditiva para Erro na transmissão/recepção – Histórico

Na figura 11 tem-se um caso em que havia um problema na transmissão dos dados em dos equipamentos e que, após diagnóstico por preditiva, a corretiva em campo foi executada antes que ocorresse a falha no equipamento.

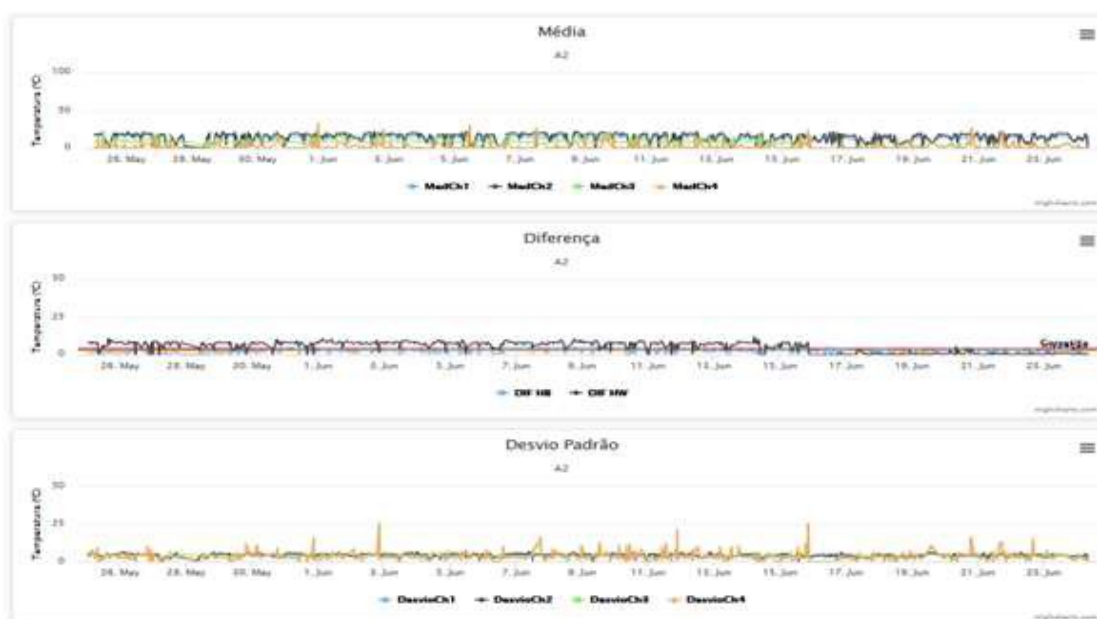


Figura 12 – Preditiva para monitoramento de dados dos scanners HBW

Outra funcionalidade inserida na aplicação web foi o monitoramento, através de estatística descritiva, das informações dos scanners, conforme pode ser vista na figura 12. Para esta preditiva, o conhecimento do especialista sobre histórico de temperaturas na ocorrência de anormalidade foi primordial. A cada trem que passa no site, é calculada:

- Média aritmética de cada canal;
- Diferença entre as médias dos canais HB e HW;
- Desvio Padrão de cada canal;

Com o monitoramento de cada parâmetro é possível verificar:

- Média e Diferença
  - Desalinhamento de scanner;
  - Degradação do sensor pirômetro;
- Desvio Padrão
  - Medir a dispersão entorno da média das temperaturas de cada canal a fim de verificar, além de alarmes e pré alarmes:
    - Ruídos no canal causados por:
      - Condições de Via;
      - Má conexão;
      - Fixação Folgada;

Na figura 12 tem-se um caso em que havia um problema de desalinhamento de scanners. A corretiva foi executada antes do período de inspeção de campo.

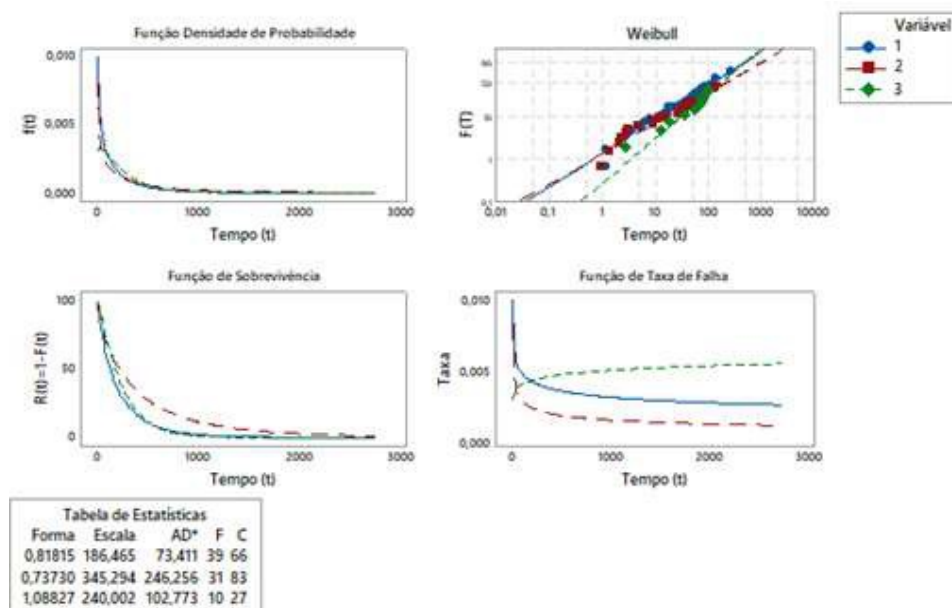


Figura 13 – Comparação Confiabilidade anos 1, 2 e 3.

Na figura 13 tem a comparação das confiabilidades nos últimos anos. No ano 3, após implantação da preditiva, o valor de  $\beta$  passou para 1,08827, ou seja, com a ação realizada, o sistema passou para a fase de maturidade. Conforme tabela 2, para um IC de 95% tem-se:

Tabela 2 - Estimativa de parâmetros ano 3.

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Inferior	Superior
$\beta$	1,08827	0,300449	0,633484	1,86954
$\eta$	240,002	94,9773	110,500	521,273

Conforme previamente comentado na seção 3.2 as estratégias de manutenção atualmente praticadas são indicadas. Na tabela 3, tem-se a comparação anual a um tempo de missão de 21 dias:

Tabela 3 - Comparação paramétrica anos 1, 2 e 3.

Parâmetro	Ano 1	Ano 2	Ano 3
R (t)	84,576%	88,082%	93,186%
F (t)	15,424%	11,918%	6,814%
$\lambda$ (t)	0,006527	0,004455	0,003657
$\bar{T}$	207,982	417,056	232,413

No banco de dados utilizado, há presença de outliers evidenciadas pelo boxplot da figura 16. Outliers são valores atípicos que apresentam grande afastamento dos demais da série [12].

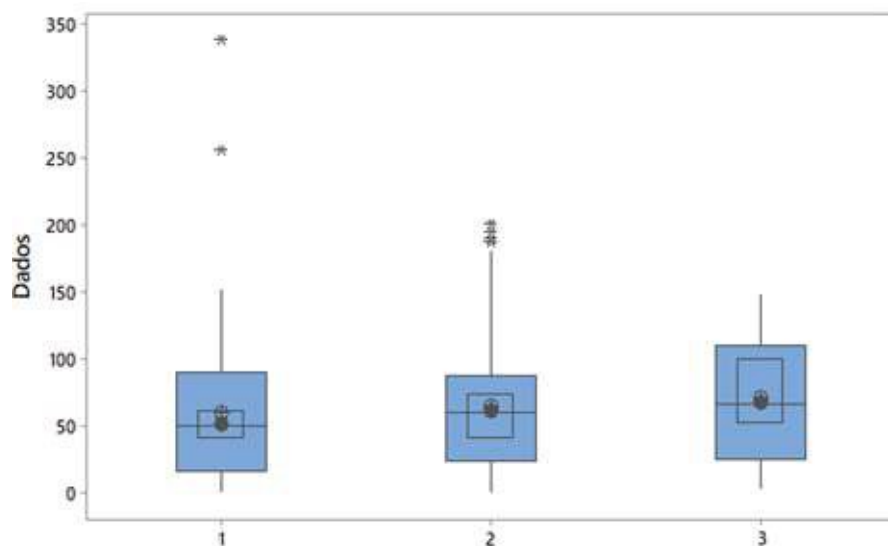


Figura 16 – Boxplot para evidenciar outliers

Durante o saneamento do banco, tais dados foram considerados relevantes pois tratava-se de intervalos entre intervenções que realmente estavam fora da curva. A influência deles, principalmente para o ano 2, está evidenciada no parâmetro de escala.

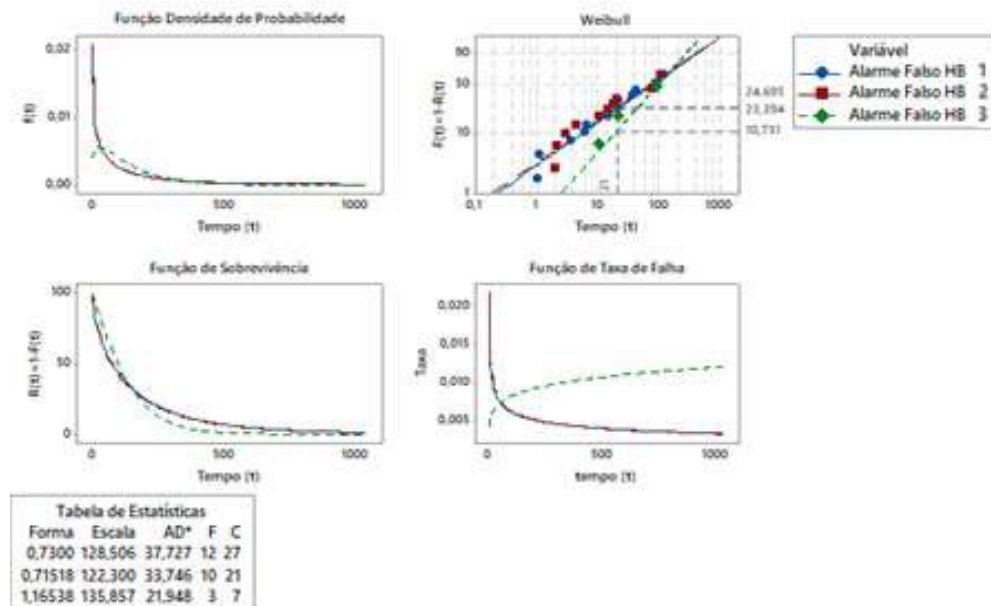


Figura 14 – Modo de Falha “Alarme Falso HB” anos 1 2 e 3.

Analisando-se em termos de modo de falha, houve uma melhora significativa, conforme figura 14. Para o modo “Alarme Falso HB” o parâmetro de forma se encontra próximo de 1 ( $\beta=1,16538$ ). A confiabilidade a um tempo de missão de 21 dias passou para 89,269% (era 76,606% ano 2 e 75,305% no ano 1). A curva da taxa de falha no ano 3 nos evidencia que, para esse modo, tem-se uma baixa taxa de falha no início e posteriormente tem-se um rápido aumento para um nível de maturidade. Para este modo de falha, em paralelo, tem-se realizado monitoramento preditivo de condições de via através de sensoriamento dedicado (Carro Controle).

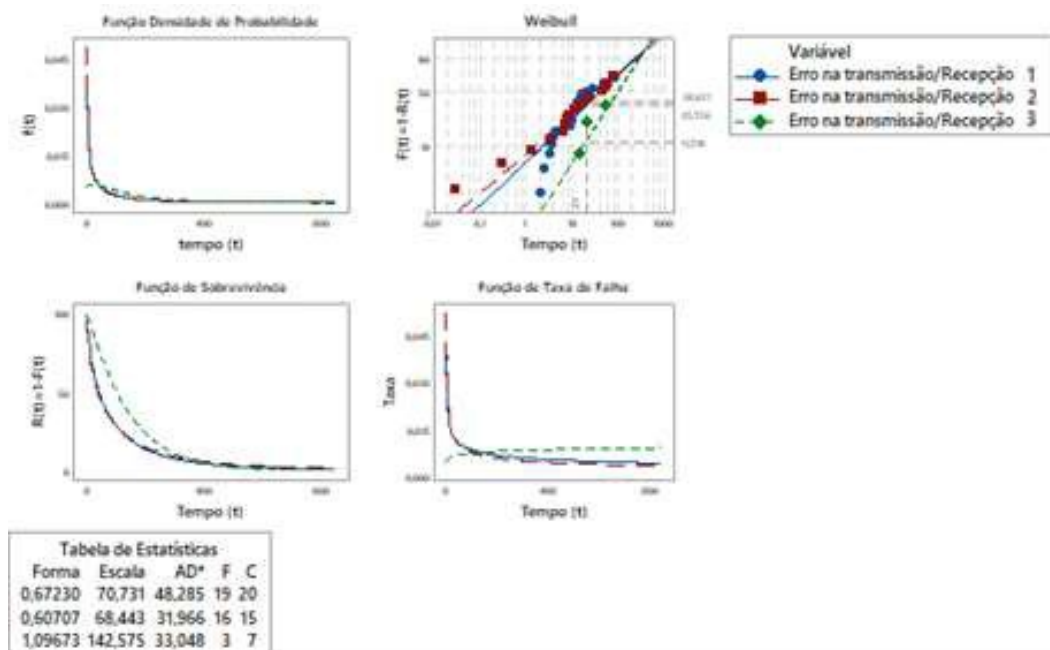


Figura 15 – Modo de Falha “Erro na transmissão/Recepção” anos 1, 2 e 3.

Para o modo “erro de transmissão/recepção” o parâmetro de forma também se encontra próximo de 1 ( $\beta=1,09673$ ), conforme figura 14. A confiabilidade a um tempo de missão de 21 dias passou para 88,481% (era 64,274% ano 1 e 61,379% em ano 2). A curva da taxa de falha, para ambos modos de falha, nos evidencia que se tem uma baixa taxa de falha no início e posteriormente tem-se um rápido aumento para um nível de maturidade.

A estratégia de manutenção adotada, considerando-se os intervalos de confiança do modelo, é o indicado.

## 6. CONCLUSÃO

Em algumas empresas, a gestão da manutenção é tratada de maneira secundária em relação a produção. Em um ambiente altamente competitivo é importante que se tenha alta confiabilidade dos seus ativos. Isso se reflete nos lucros e na garantia que metas a sejam alcançadas.

No atual cenário de aumento de produção e transporte ferroviário, é importante que se garanta a operacionalidade e segurança dos ativos rodantes, sendo assim, o Sistema HotBox/HotWheel tem papel importante em se tratando de monitoramento de temperaturas. Dentro da Manutenção Centrada em Confiabilidade, os métodos quantitativos, principalmente utilizando-se a distribuição Weibull, são amplamente aplicados nos estudos.

Neste contexto, o principal objetivo do trabalho, foi a implantação de uma estratégia de manutenção preditiva no Sistema HBW no intuito de aumentar a confiabilidade. A princípio, com dados históricos, realizou-se uma avaliação da confiabilidade para os anos 1 e 2. Utilizando-se da distribuição Weibull a 2 parâmetros e analisando-se em termos de parâmetro de forma, percebeu-se que para ambos os anos o sistema se encontrava dentro da fase de mortalidade infantil, devido a motivos previamente explanados no decorrer do trabalho. Com um IC de 95%, a melhor estratégia seria a corretiva e preditiva, porém, até o momento, a empresa adotava, além das corretivas, somente as inspeções e preventivas. Tal estratégia pode ter influenciado para o prolongamento da fase de mortalidade infantil. Através das análises, constatou-se que os principais modos de falha era “Alarme Falso de HB” e “Erro na transmissão/Recepção”.

No intuito de aproximar o sistema a fase de maturidade, inseriu-se a inspeção remota no ano 2. Os resultados em termos de confiabilidade foram melhores do que no ano 1 (passou para 88,082%) quando analisados a um tempo de missão igual ao período de inspeção de campo (21 dias). Basicamente a estratégia tratava-se de uma preditiva, porém, limitava-se a verificação paramétrica de configuração do sistema.

No final do ano 2 iniciou-se a implantação de preditiva. Os parâmetros a serem monitorados tiveram como base os principais modos de falha que influenciavam negativamente na confiabilidade.

Avaliando-se a confiabilidade após ação, a curva deslocou-se a fase de maturidade. O valor do parâmetro de forma passou para 1,08827. Com um IC de 95%, e conforme tabela 1, as estratégias de manutenção corretiva, preditiva e preventiva são as ideais.

Vale ressaltar que no ano 3, avaliou-se 5 meses, porém, os resultados se mostraram promissores para o decorrer do ano.

Por fim, conclui-se que a correta estratégia de manutenção a ser adotada depende de quanto se conhece do ativo. O controle do banco de dados é de grande importância quando se realiza uma análise quantitativa de confiabilidade. Uma gestão de manutenção com qualidade é o ideal e deve ser levada em consideração para que os lucros não sejam drenados.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- [2] SELLITTO, M. Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metalmecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos, GEPROS, v.2, n.1, p.97-108, 2007.
- [3] MENGUE, D.; SELLITTO, M. Estratégia de manutenção baseada em funções de



confiabilidade para uma bomba centrífuga petrolífera. Produção Online, v.13, n.2, p.759-783, 2013. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v13i2.1341>

[4] CERVEIRA, D.; e SELLITO, M. Manutenção centrada em confiabilidade (mcc): análise quantitativa de um forno elétrico a indução. Produção Online, v.15, n.2, p.405-432, 2015. <http://dx.doi.org/10.14488/1676-1901.v15i2.1615>

[5] FOGLIATTO, F.; RIBEIRO, J. Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

[6] CARTER, D; DUSTIN, C. An Analysis of Obstruction of the Scan Area of Hot Bearing Detectors with 3-D Modeling. Technology Digest TD-17-007, April 2017, TTCI/AAR, Pueblo, CO.

[7] LEEMIS, L. Reliability: probabilistic models and statistical methods. Nova York: Prentice-Hall, 384p., 1995.

[8] YSSAAD, B.; KHIAT, M.; CHAKER, A. Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v.55, p.108-115, 2014.

[9] DHILLON, B. S. Engineering Maintenance: A Modern Approach. CRS Press LCC, 2002

[10] SELLITTO, M. Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos. Produção, v.15, n.1, p.044-059, 2005.

[11] RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. Power comparisons of Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling Tests. Journal of Statistical Modeling and Analytics, Malaysia, v. 2, n. 1, p. 21-23, 2011.

[12] FIGUEIRA MMC. Identificação de outliers. Revista Millenium Online, Viseu, 12, 1998.