

ENGENHARIA DE CONFIABILIDADE - UM ESTUDO DE CASO PARA AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE DESCARGA DE MINÉRIO “VIRADOR DE VAGÕES” DURANTE O PRIMEIRO ANO DE OPERAÇÃO



Jefferson Januario Mendes (IFMG)

jefferson.mendes@ifmg.edu.br

Robert Cruzoaldo Maria (IFMG)

rccmaria@gmail.com

Lucelia Aparecida Radin (IFMG)

lucelia.radin@ifmg.edu.br

Danilo Augusto Pereira de Sa (IFMG)

daniloaugustodesa@yahoo.com.br

Rafael de Oliveira Cordeiro (IFMG)

rafaeloc13@gmail.com

As aplicações de Engenharia de Confiabilidade levam ao conhecimento do comportamento dos ativos de produção e as oportunidades de melhoria. Dentre as aplicações da engenharia de confiabilidade encontra-se a possibilidade de identificar problemas repetitivos de equipamentos, as causas raízes dos problemas e as possibilidades de eliminá-las. O presente trabalho busca avaliar o desempenho do sistema de descarga de minério denominado “virador de vagões” durante no seu primeiro ano de operação e apresenta uma análise das perdas por falhas funcionais, que provocam a “parada” do equipamento impedindo que o mesmo desempenhe sua função no processo. Distribuições de probabilidade são necessárias para modelar o tempo de perfeito funcionamento, pois não se consegue conhecer e controlar todos os fatores ativos que afetam o sistema. A análise de Weibull é uma das mais utilizadas devido a sua capacidade de modelar uma grande variedade de dados e características de vida. Através dos resultados das análises de Perfil de Perdas e Análise dos dados de Vida, foram identificadas as principais falhas de cada sistema do ativo para o período. Como todo processo que se inicia, foram encontradas várias oportunidades de Melhorias.



Curitiba, PR, Brasil, 07 a 10 de outubro de 2014.

Palavras-chaves: Confiabilidade, Weibull, Virador de vagões

1 - Introdução

No Brasil destaca-se como uma das principais atividades, a produção e comércio de bens minerais como o minério de ferro, níquel, concentrado de cobre, carvão, bauxita, alumina, alumínio, potássio, caulim, manganês dentre outros. Os sistemas produtivos que suportam essa cadeia são constituídos essencialmente de equipamentos de médio e grande porte, com grande diversidade de operações e com exigências de desempenho.

Os processos logísticos são de extrema importância na cadeia de produção mineral. Devido ao volume de material movimentado para a produção dos bens minerais e produtos da mineração, os termos confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade são considerados fundamentais para que os sistemas logísticos da cadeia mineral atendam as solicitações de desempenho e produtividade.

Um sistema importante no processo de logística dos bens minerais é o de carregamento, transporte, descarga e estocagem de minérios. O processo de descarga foco deste trabalho é responsável por descarregar os vagões que chegam pela ferrovia e alimentar os pátios de estocagem da área do porto.

A Engenharia da Confiabilidade fornece ferramentas teóricas e práticas que permitem especificar, projetar, testar e demonstrar a probabilidade e a capacidade segundo o qual componentes, equipamentos e sistemas, desempenharão suas funções, por períodos determinados de tempo, em ambientes específicos. A confiabilidade de um processo, em diversos aspectos tem impacto na qualidade do produto. Um processo menos confiável necessitará intervenções mais frequentes, cujos gastos poderão anular a vantagem inicial de um custo produção mais baixo.

As aplicações de Engenharia de Confiabilidade levam ao conhecimento do comportamento dos ativos de produção e as oportunidades de melhoria. Dentre as aplicações da engenharia de confiabilidade encontra-se a possibilidade de identificar problemas repetitivos de equipamentos, as causas raízes dos problemas e as recomendações para eliminá-las.

O presente trabalho busca avaliar o desempenho do sistema de descarga de minério denominado “virador de vagões” durante no seu primeiro ano de operação e apresenta uma

análise das perdas por falhas funcionais, que provocam a “parada” do equipamento impedindo que o mesmo desempenhe sua função no processo.

2 - Desenvolvimento

A confiabilidade é diretamente associada ao correto funcionamento de um processo por um espaço de tempo específico, de tal forma que o processo desempenhe com qualidade as funções para as quais foi projetado e desenvolvido, e essa capacidade de perfeito funcionamento durante esse período em condições estabelecidas, determina o critério de confiabilidade do processo.

A NBR 5462 define confiabilidade como: “Característica de um item eventualmente expressa pela probabilidade de que ela preencherá uma função dada, sob condições definidas e por um período de tempo definido”.

A manutenibilidade é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos (NBR 5462, 1994). Aliando a confiabilidade e manutenibilidade, pode-se determinar a probabilidade de que tal sistema esteja pronto para funcionamento, ou seja, quão disponível o sistema será para uso.

A disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. (NBR 5462, 1994).

Como os processos possuem um fator de variabilidade, seja pela variabilidade da matéria prima, seja pela variabilidade de operação ou outros fatores adversos, geralmente apresentam um taxa de falhas que podem ser decrescente, diminuindo com o passar do tempo e que pode ser caracterizadas pela estabilização dos parâmetros de processo. Outro modelo são as falhas aleatórias e também denominada taxa de falha constante, e ainda o modelo de taxa de falha crescente, que aumenta com o passar do tempo e geralmente é característico do processo de degradação do sistema, mostrando um efeito gradual de envelhecimento.

Os processos industriais também podem ser entendidos como sistemas complexos compostos de uma infinidade de subsistemas, onde a complexidades aumenta com o numero de componentes envolvidos no sistema. Daí deriva que a determinação da confiabilidade de determinado processo ou sistema implica na determinação da confiabilidade de todos os subsistemas e de seus componentes. Para Guzzon (2009), a análise de confiabilidade vai desde o início do projeto até as fases de desenvolvimento e operação. Seu objetivo é reduzir a probabilidade de falhas a que o sistema está sujeito ou ainda minimizar o efeito negativo das mesmas, utilizando-se dados quantitativos oferecidos pelo processo.

A incorporação de novas funcionalidades aos sistemas de produção aumentou a complexidade de operações e têm exigido mais confiabilidade e segurança dos processos produtivos. Com isso, técnicas de engenharia mais avançadas têm sido usadas para garantir o projeto, operação e manutenção dos sistemas produtivos com custos adequados, riscos controlados e desempenho esperado (RAPOSO, 2010).

A determinação da função confiabilidade é possível pela modelagem, por uma distribuição de probabilidade, dos tempos de perfeito funcionamento até a ocorrência de uma falha do sistema. A modelagem oferece outras informações importantes, tais como a probabilidade de funcionalidade até o tempo t, o tempo médio até a falha do sistema e a função risco (FOGLIATTO e RIBEIRO, 2009). Segundo Lewis (1996), distribuições de probabilidade são necessárias para modelar o tempo de perfeito funcionamento, pois não se consegue conhecer e controlar todos os fatores ativos que afetam o sistema.

Fogliatto e Ribeiro (2009) apontam as distribuições, exponencial, Weibull, Gamma e Log-normal como as mais comumente empregadas para descrever o comportamento de sistemas. Dentre estas, destaca-se a análise de Weibull que é uma das mais utilizadas devido a sua capacidade de modelar uma grande variedade de dados e características de vida.

A análise de Weibull pode ser entendida como um método estatístico que modela o sistema em uma distribuição específica de Weibull. Seus parâmetros permitem pela análise identificar se a falha é um evento prematuro, randômico ou ocasionado por desgaste. Dessa forma, a função densidade probabilidade (pdf) da distribuição Weibull com três parâmetros é dada por:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T-\gamma}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T-\gamma}{\eta} \right)^{\beta}}$$

Onde:

η = Eta - parâmetro de escala (também chamado de vida característica),

β = Beta - parâmetro de forma (ou inclinação),

γ = Gama - parâmetro de localização (também chamado de vida mínima).

Se $\gamma = 0$, então temos a “pdf” da distribuição Weibull com dois parâmetros dada por:

$$f(T) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{T}{\eta} \right)^\beta}$$

A Análise de Weibull é um método estatístico que correlaciona dados específicos de falha com uma distribuição particular, podendo indicar se a falha é um evento “prematureo” (mortalidade infantil), “randômico” (aleatório) ou ocasionada por “desgaste” (final de vida econômica).

O parâmetro de escala Eta (η) está associado à vida característica de um determinado componente. Ele descreve e representa uma distância, tempo ou ciclos transcorridos desde o início da atividade até o momento da falha.

De acordo com Pinto (2003) a indicação dos tipos de falhas esta diretamente ligada ao fator de forma “ β ” da distribuição Weibull, que é o parâmetro que define a proximidade ou igualdade com outras distribuições. De tal forma que a análise do Fator de Forma “ β ” com o auxílio do fluxograma de decisão (Figura XX) permite inferir as prováveis causas das falhas, de modo que:

Se $\beta = 1$ - A distribuição de Weibull é idêntica a distribuição exponencial.

Se $\beta = 2$ - A distribuição de Weibull é igual à distribuição de Raleigh.

Se $\beta = 2,5$ - A distribuição de Weibull se aproxima da distribuição log-normal.

Se $\beta = 3,6$ - A distribuição de Weibull se aproxima da distribuição normal.

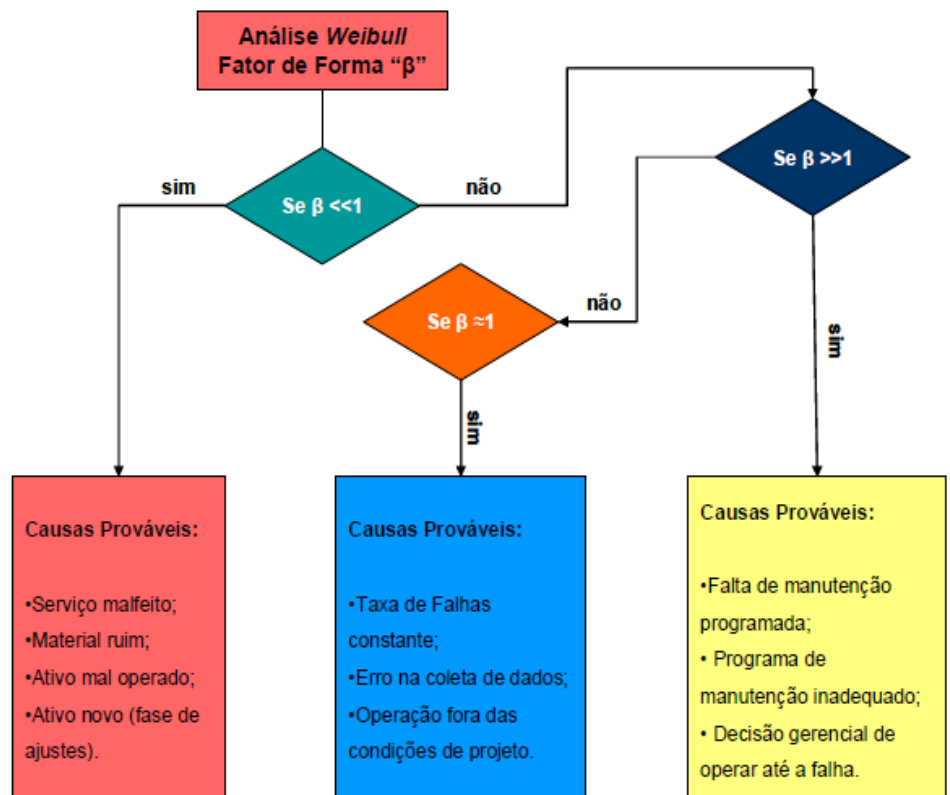


Figura 1: Fluxograma de Decisão – Análise Weibull para o Fator de Forma β - Fonte: Pinto (2003)

Assim sendo, se $\beta = 1$, a taxa de falha é constante, teremos falhas aleatórias, ou seja, independem do tempo de utilização do equipamento. Em uma segunda situação o $\beta < 1$, a função da taxa de falhas é decrescente, isso caracterizará falhas de início de funcionamento ou mortalidade infantil. Já quando $\beta > 1$, a função da taxa de falha é crescente, indica falhas de final de vida útil.

3 - Estudo de caso

O presente estudo analisa o comportamento dos dados de vida de virador de vagões durante o primeiro ano de operação. Os dados foram fornecidos pela empresa, coletados no sistema ERP e tratados estatisticamente por ferramentas do software Weibull++7. Em média o sistema opera 8,66 horas por dia, ou seja, ele será demandando aproximadamente 8 horas por dia e neste período é desejável que não ocorram falhas.

A análise se inicia pelo gráfico que expressa o comportamento da taxa de falhas, observa-se na Figura 02, o Fator de Forma é $\beta < 1$, com a função da taxa de falhas é decrescente,

caracterizando que o equipamento apresenta uma curva de mortalidade infantil, uma vez que as falhas ocorrem em um pequeno intervalo de tempo, mas nota-se também uma tendência a longo do tempo de vida útil.

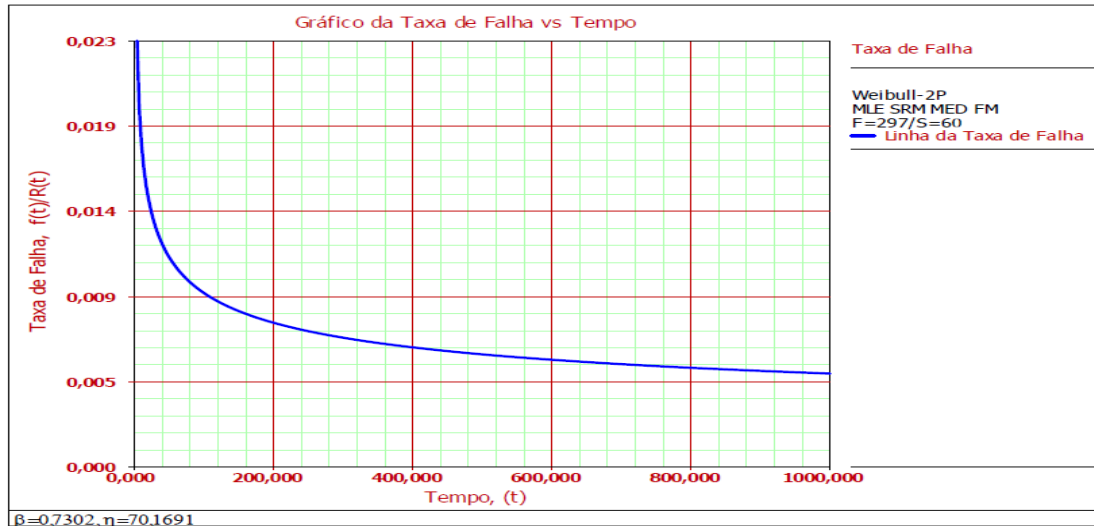


Figura 2: Taxa de falhas do sistema de descarga – Virador de Vagões

Do ponto de vista da confiabilidade ao longo do tempo o resultado apresenta a curva expressa na figura 03, a interpolação se aproxima bastante dos pontos reais, sendo assim representa a realidade de falhas do ativo, outro ponto importante também a ser observado, é a grande quantidade de falhas concentradas nas primeiras horas de operação do sistema de descarga - Virador de Vagões.

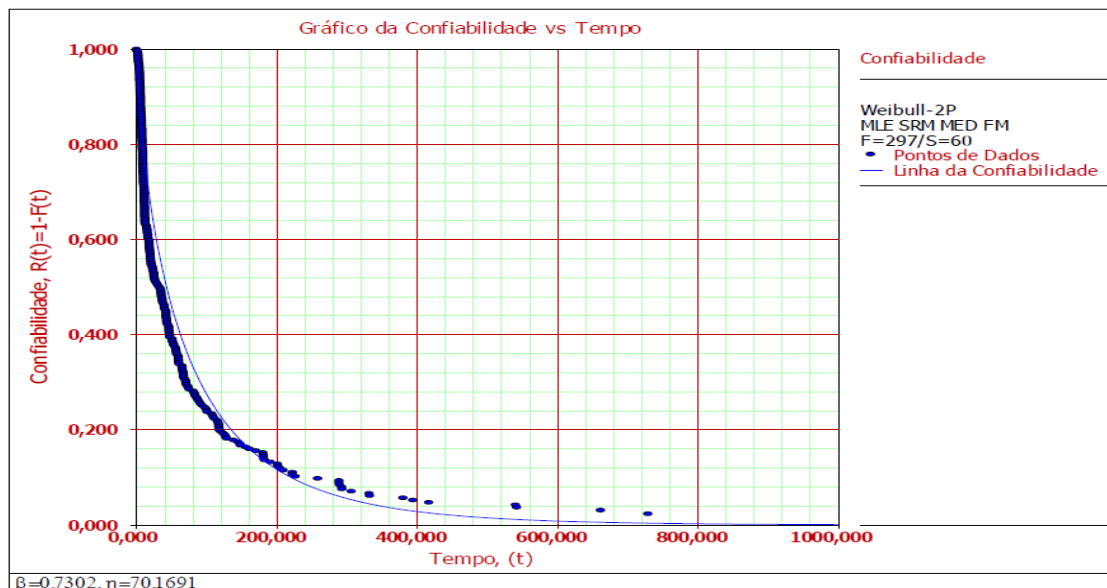


Figura 3: confiabilidade do Sistema de Descarga Virador de Vagões

Uma ferramenta de priorização e atuação para a Engenharia de Confiabilidade é o Perfil de Perdas, nele é possível por gráficos estratificar e visualizar onde estão concentradas as maiores perdas em determinado processo, identificando quais são as maiores oportunidades de redução de perdas. Os sistemas que apresentaram a maioria das falhas foram o “Giro”, “Empurrador”, “Alimentador”, “Controle” e “Sala Elétrica” (Figura 4).

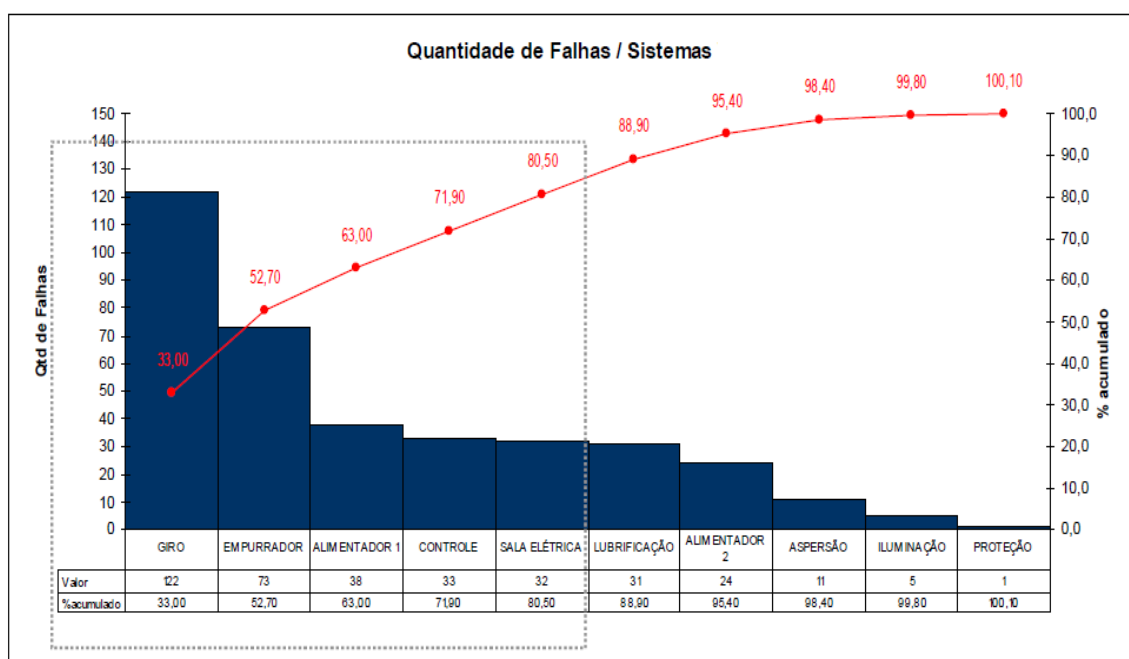


Figura 4: Gráfico de Pareto para quantidade de falhas do sistema de descarga – Virador de Vagões

Observa-se que os sistemas o “Giro” e o “Empurrador”, se apresentaram como os mais críticos, apresentando o maior numero de falhas no período de avaliação, apresentando também as menores confiabilidades (Tabela 01).

Tabela 1: Confiabilidade do Sistema de Descarga – Virador de Vagões

CONFIABILIDADE DO SISTEMA DE DESCARGA - VIRADOR DE VAGÕES			
SISTEMA	8 HORAS	16 HORAS	24 HORAS
ALIMENTADOR 1	83,83%	73,20%	64,70%
ALIMETADOR 2	88,76%	81,31%	75,26%
ASPERSÃO	93,95%	90,06%	86,78%
CONTROLE	94,63%	88,17%	81,54%

EMPURRADOR	78,87%	65,04%	54,39%
GIRO	73,38%	55,68%	42,74%
ILUMINAÇÃO	86,73%	82,82%	80,09%
LUBRIFICAÇÃO	87,18%	78,89%	72,14%
SALA ELÉTRICA	89,71%	81,88%	75,16%
VIRADOR DE VAGÕES	81,84%	71,19%	63,33%

A análise gráfica dos sistemas Figura 05 demonstra que para todos os sistemas, com exceção do sistema de controle, apresentam o $\beta < 1$, caracterizando a função da taxa de falhas é decrescente, ou seja, falhas de início de funcionamento ou mortalidade infantil. Contudo, o sistema de giro apresenta um $\beta \approx 1$, que caracteriza uma tendência para a “vida útil”, ou seja, uma taxa de falhas constante ao longo do tempo.

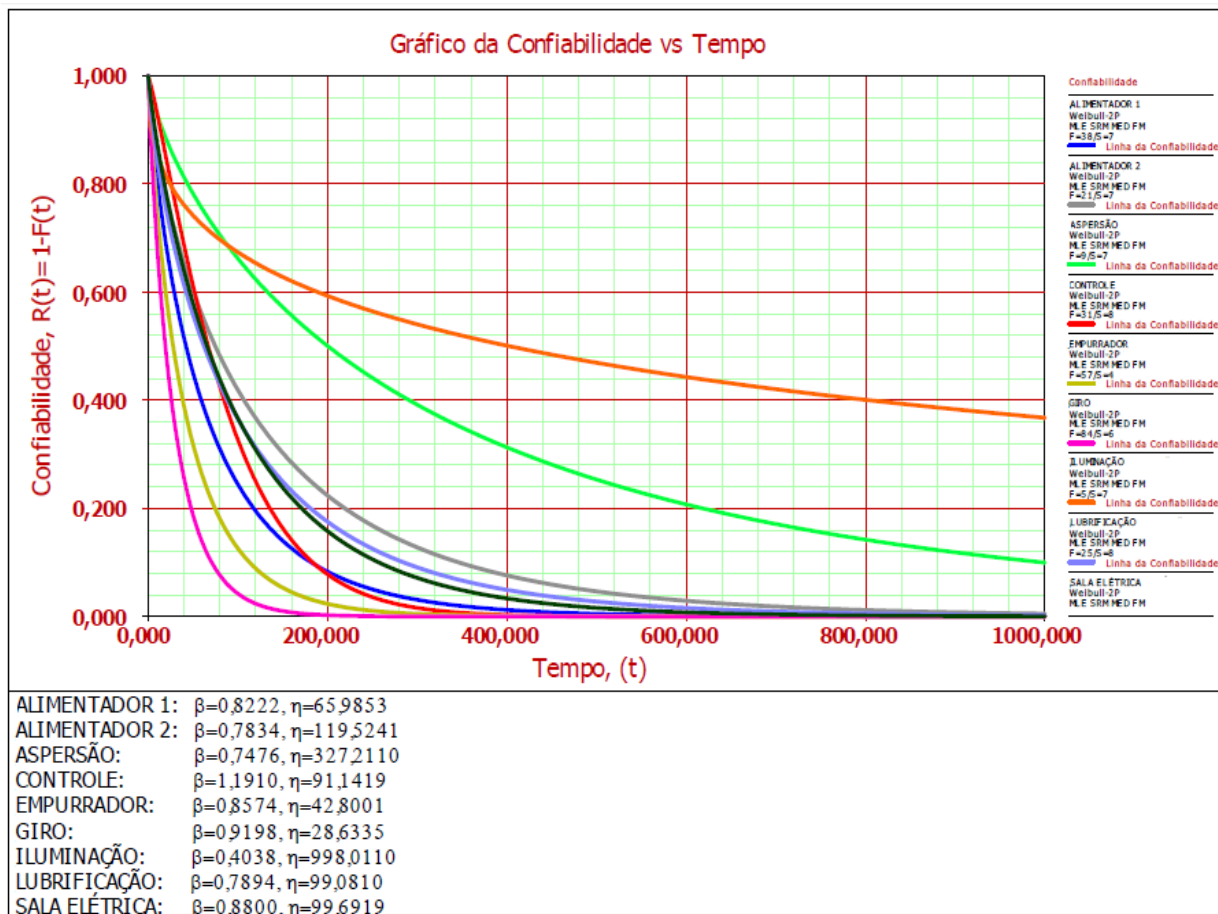


Figura 5: Confiabilidade dos Sistemas que compõem o Virador de Vagões

Como os sistemas encontram-se no ciclo inicial de operação, pode-se inferir que as taxas de falha se devem ao processo de ajuste dos sistemas para as condições operacionais, as quais deverão responder durante seu ciclo de vida.

4 - Análise e discussão dos resultados

4.1 - Análise do sistema giro

O Sistema de Giro do Virador de Vagões apresentou menor confiabilidade no período analisado, tendo um resultado 73,38% para 8 horas, observar-se a curva da taxa de falhas com o fator de forma $\beta \approx 1$, que caracteriza uma tendência para a “vida útil”, ou seja, uma taxa de falhas constante ao longo do tempo. A criticidade do sistema de giro aumenta com o passar do tempo, devido a forte redução da confiabilidade do sistema, 55,68% para 16 horas e 42,74% para 24 horas (Tabela 1).

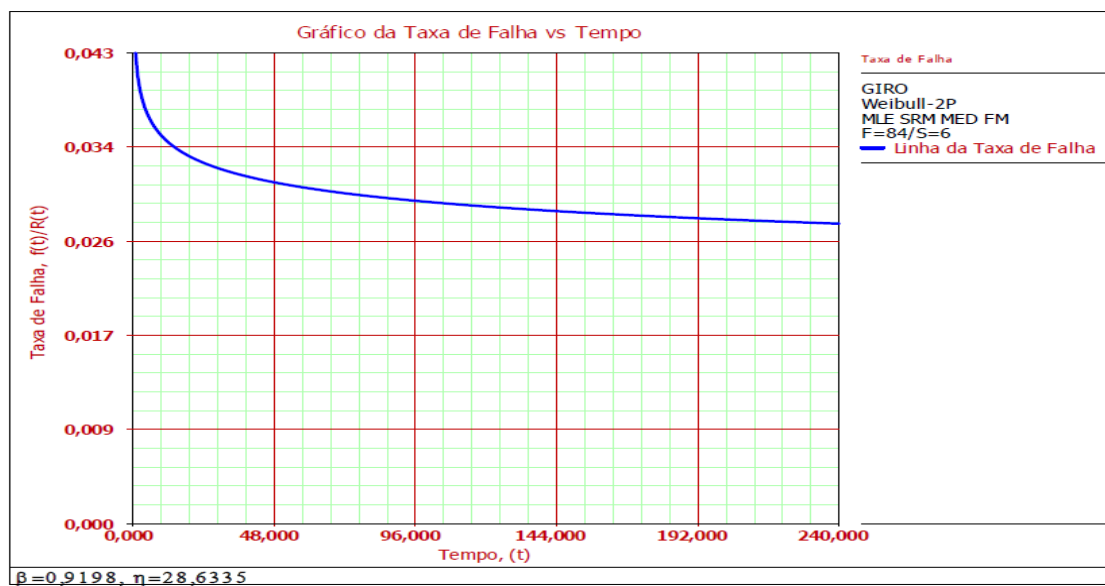


Figura 6: Taxa de falhas do Sistema de Giro

Para um melhor acompanhamento da confiabilidade do sistema de giro ao longo do período, dividiu-se a análise em períodos trimestrais, conforme curvas apresentadas na Figura 07.

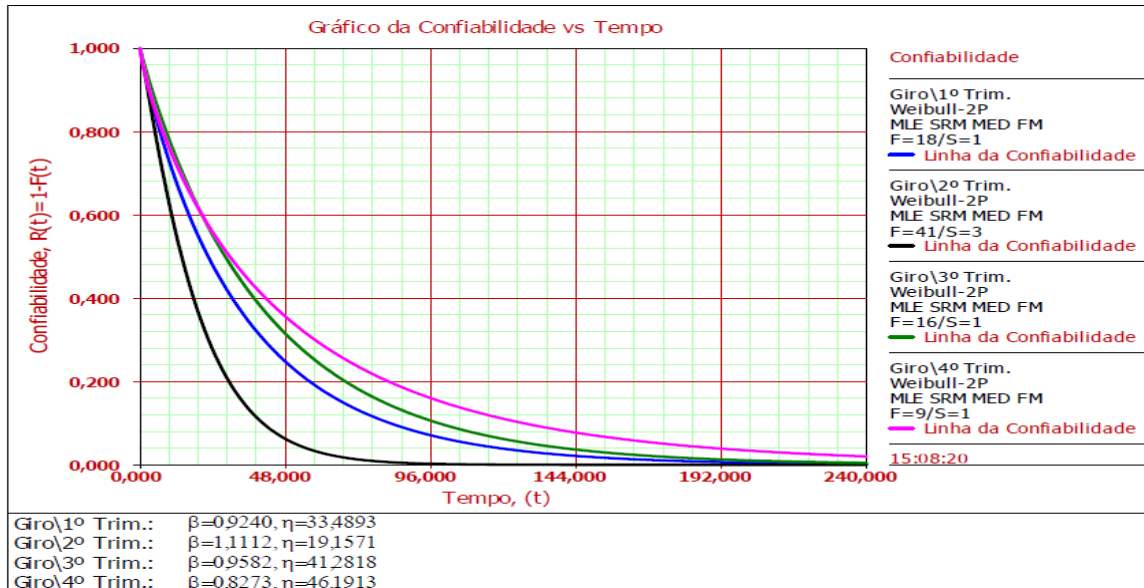


Figura 7: Confiabilidade do Sistema de Giro – Análise Trimestral

Na Figura 07 observa-se aumento, ao longo do ano, da confiabilidade geral do sistema de giro. Contudo, observa-se uma forte queda da confiabilidade no segundo trimestre, com um número elevado de falhas. A subdivisão do sistema de giro em conjuntos proporcionou uma visão mais detalhada de onde ocorrem efetivamente as falhas e quais são os “Itens” que possuem maior frequência de falhas.

Assim pode-se construir uma árvore de falhas para definir os “modos de falhas” mais frequentes no ativo, conforme descrito na figura 08.

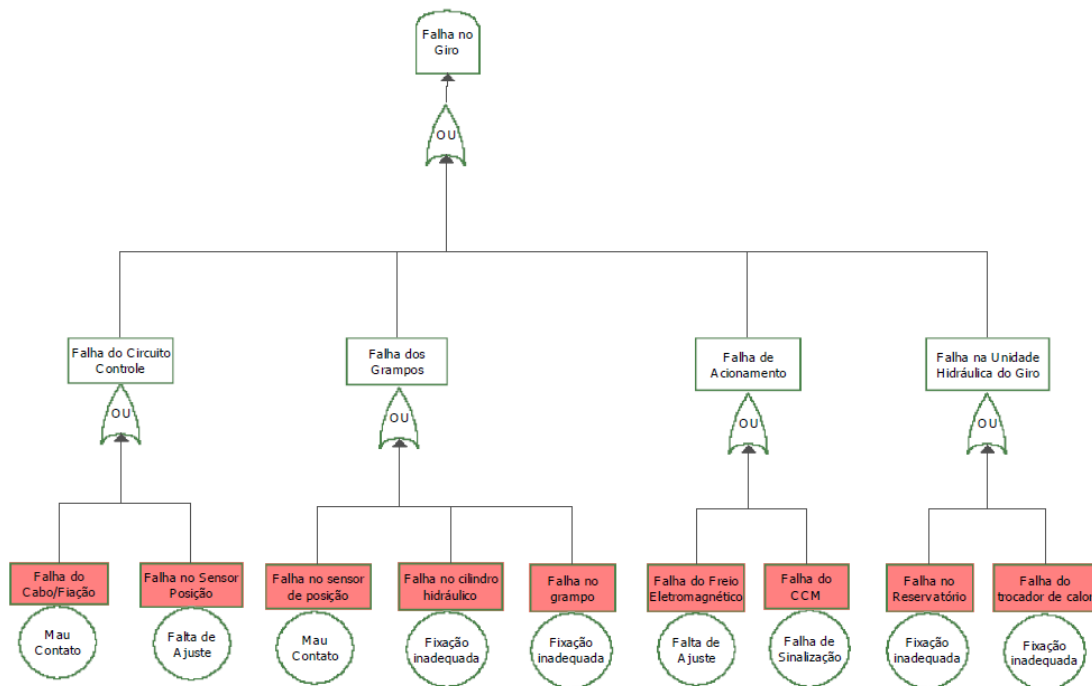


Figura 8: Árvore de falhas do Sistema de Giro

Para a elaboração da árvore de falhas do giro levou-se em consideração os conjuntos que mais apresentaram falhas. Este mesmo critério foi mantido para os “Itens” e “Modos de Falhas”.

Os “Modos de Falhas” para o sistema de Giro mais comuns ao longo do ano foram o de “Fixação inadequada” e “Falta de ajuste”. Sendo assim foram sugeridas ações para a correção destes modos de falhas. As principais ações propostas e implantadas para a melhoria de desempenho do sistema de giro são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Ações para a melhoria de desempenho do sistema de giro

Dispositivo	Ações de Melhoria
Dispositivo de Acionamento	Elaborar plano de trabalho para o ajuste correto e padronizado dos freios eletro-hidráulicos
Grampos	Trocar parafusos de fixação do bloco “manifold” de classe de resistência 10.9 para classe 12.9
	Instalar dispositivo de fixação do bloco “manifold” para evitar vibração excessiva
Circuito de Controle	Reparametrizar pressão de trabalho dos cilindros de fixação dos grampos com o intuito de reduzir movimentos bruscos no acionamento do grampo
	Reduzida a frequência das Manutenções Preventivas nas válvulas solenóide dos grampos: Limpeza, conferência de reaperto dos cabos, fixação dos plugue

Unidade Hidráulica do Giro	Desenvolver novo sistema de fixação do trilho do anel de giro
	Ajustar o pino de controle da válvula
	Melhorar sistema de lubrificação centralizada

A implantação das ações para correção dos modos de falhas, identificados na análise por árvore de falhas, promoveram melhorias da confiabilidade do sistema de giro, evidenciada na Figura 7, para o terceiro e quarto trimestre.

4.2 - Análise do sistema empurrador

O Sistema Empurrador do Virador de Vagões apresentou confiabilidade no período analisado de 78,87% para 8 horas, observar-se a curva da taxa de falhas com o fator de forma $\beta < 1$, que caracteriza a falha prematura, ou seja, uma taxa de falhas característica da mortalidade infantil. A criticidade do sistema do empurrador aumenta com o passar do tempo, devido ao aumento da taxa de falha e a redução da confiabilidade do sistema, 65,04% para 16 horas e 54,39% para 24 horas (Tabela 1).

Analisando a taxa de falhas do sistema empurrador, observa-se que novamente a curva de comportamento (Figura 9) caracteriza uma tendência constante de falhas para um período mais longo. No intervalo de 0 a 48 horas o Empurrador apresenta grande quantidade de falhas em um intervalo pequeno de tempo, o que caracteriza “mortalidade Infantil”.

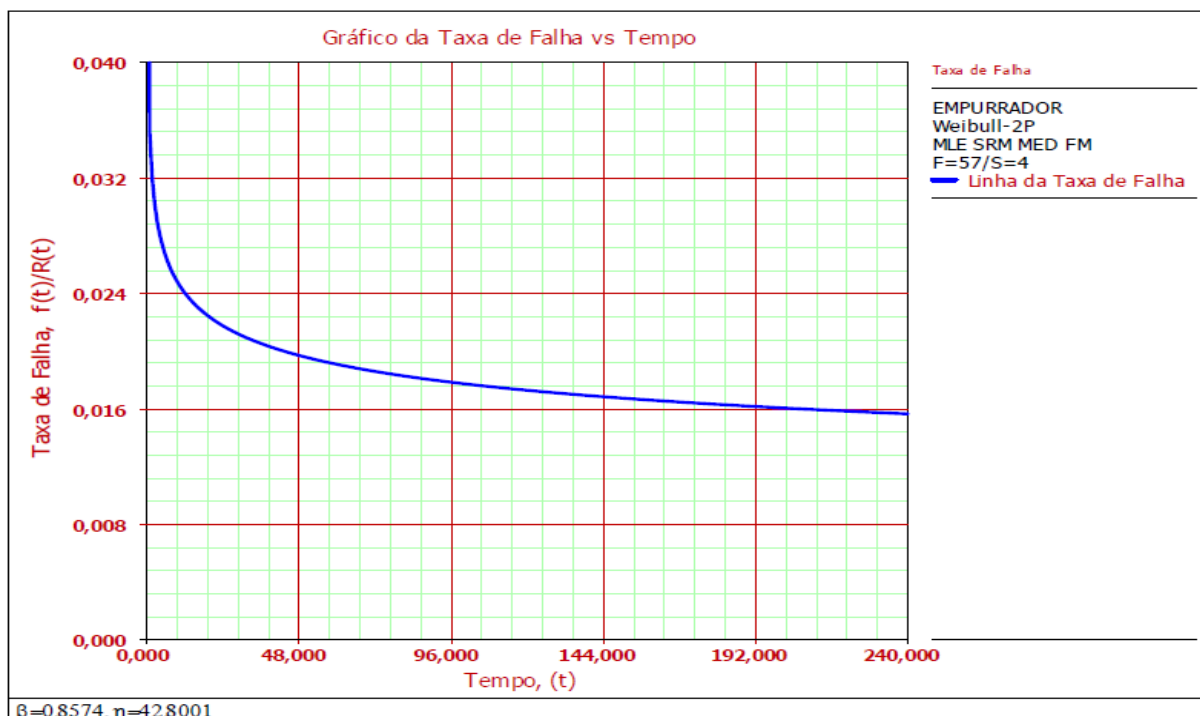


Figura 9: Taxa de falhas do Sistema Empurrador

Para um melhor acompanhamento da confiabilidade ao longo do período, dividiu-se a análise em períodos trimestrais, conforme curvas desenhadas na Figura 10 que indica um aumento ao longo do ano da confiabilidade geral do sistema do Empurrador.

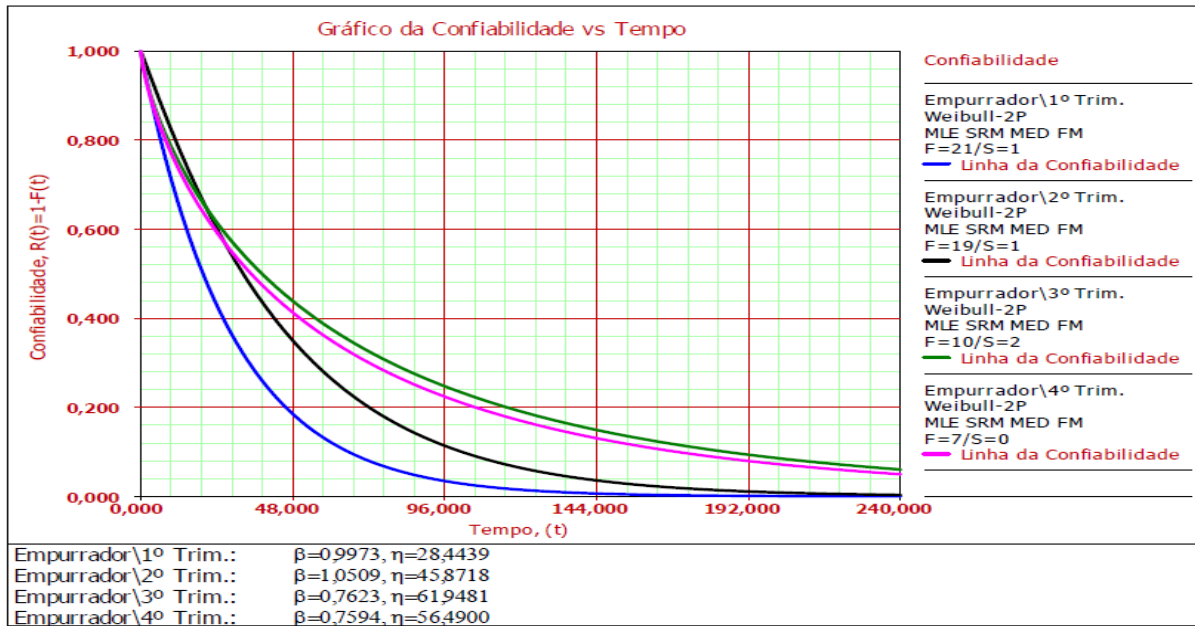


Figura 10: Confiabilidade do Sistema Empurrador – Análise Trimestral

Outro ponto de vista interessante é a comparação das confiabilidades apresentadas trimestralmente, assim pode-se ter uma visão do comportamento do sistema ao longo do ano, conforme curvas da Figura 10. Pode-se verificar que a confiabilidade do Empurrador melhorou no segundo, terceiro e no 4º trimestre em relação ao 1º trimestre do ano de operação. A árvore de falhas desenvolvida para o Empurrador indica que os “modos de falhas” mais comuns são similares as falhas do Sistema de Giro, “Fixação inadequada” e “Falta de ajuste”.

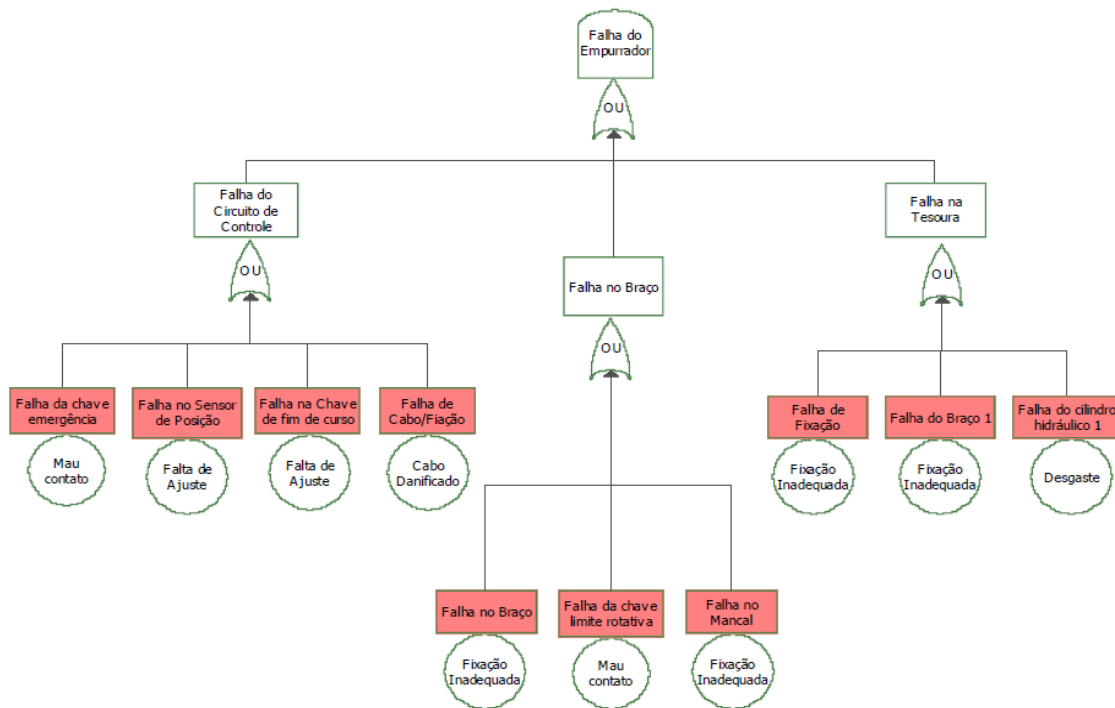


Figura 11: Arvore de falhas do Sistema Empurrador

Os “Modos de Falhas” para o sistema do Empurrador mais comuns ao longo do ano foram o de “Fixação inadequada” e “Falta de ajuste”. Sendo assim foram sugeridas ações para a correção destes modos de falhas. As principais ações propostas e implantadas para a melhoria de desempenho do sistema do empurrador são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3: Ações para a melhoria de desempenho do sistema empurrador

Dispositivo	Ações de Melhoria
Conjunto do Braço principal	Aumentar comprimento dos mangotes do conjunto do Braço principal para melhor movimentação do dispositivo durante a operação, evitando assim a torção do mangote
	Ajustar a pressão de trabalho do Braço para minimizar impacto nos movimentos do dispositivo
	Melhorar fixação do olhal da haste do cilindro hidráulico do Braço Principal.
Circuito de Controle	Elaborar procedimento de soldagem para ser utilizado em caso de emergência se houver rompimento do olhal do cilindro
Tesoura	Melhorar fixação da bomba da unidade hidráulica para quebras ou rompimento da base.

A implantação das ações para correção dos modos de falhas, identificados na análise por árvore de falhas, promoveram melhorias da confiabilidade do sistema de giro, evidenciada na Figura 7, para o segundo, terceiro e quarto trimestre.

5 - Conclusões

Como todo processo que se inicia, foram encontradas várias oportunidades de Melhorias. Através dos resultados das análises de Perfil de Perdas e Análise dos dados de Vida considerando as falhas de cada sistema do ativo para um determinado período, ficou evidente que os sistemas que apresentaram a maioria das falhas foram o “Giro”, “Empurrador”, “Alimentador”, “Controle” e “Sala Elétrica”, sendo que os sistemas mais críticos foram o “Giro” e o “Empurrador”, com as maiores taxas de falhas e menores confiabilidades. Com o auxílio da análise dos dados de vida do ativo foi possível identificar melhor os modos de falhas e assim elaborar ações para eliminá-los ou minimizá-los, promovendo o aumento do tempo médio entre falhas. As ações propostas de melhorias para o Virador de Vagões foram em sua grande maioria para reparametrização e ajustes, conforme modos de falhas mais comuns encontrados nos sistemas que apresentaram falhas do ativo, que foram “fixação inadequada” e “falta de ajuste”. Como os sistemas encontram-se no ciclo inicial de operação, pode-se concluir que as taxas de falha se devem ao processo de ajuste dos sistemas para as condições operacionais, as quais deverão responder durante todo o seu ciclo de vida.