

## **Proposta de aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade para uma Recuperadora de Minério Tipo Ponte em uma mineradora**

### **Application proposal of the Reliability-Centered Maintenance methodology for a Bridge-Type Bucket Wheel reclaimer in a mining**

DOI:10.34117/bjdv7n12-297

Recebimento dos originais: 12/11/2021

Aceitação para publicação: 09/12/2021

#### **Pedro dos Santos Ribeiro Neto**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras  
UHE - Vila Permanente, Tucuruí - PA, 68464-000  
E-mail: pedro.ribeiro\_@hotmail.com

#### **Magson Araújo da Silva**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras  
UHE - Vila Permanente, Tucuruí - PA, 68464-000  
E-mail: magson51@gmail.com

#### **Me. Maciel da Costa Furtado**

Universidade Federal do Pará - UFPA, Rodovia BR 422 km 13 – Canteiro de Obras  
UHE - Vila Permanente, Tucuruí - PA, 68464-000  
E-mail: macielcosta@ufpa.br

#### **RESUMO**

Esse trabalho propõe atividades baseadas na metodologia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) para uma máquina Recuperadora de Minério do Tipo Ponte, a qual opera em uma grande mineradora multinacional. Foram levantados o histórico de produção e de falhas do ativo em um período de 10 meses, em que se percebe a baixa confiabilidade da máquina em cumprir suas funções principais, pois não foram cumpridas as metas de produção orçadas para o período e, também, porque ocorreram diversos eventos de parada não programada para manutenção corretiva. Assim, com envolvimento de profissionais de diversos setores (engenharia, operação, manutenção e inspeção mecânica), foi realizado um estudo detalhado de falhas com a ferramenta FMEA (Failure Modes and Effects Analysis). Por conseguinte, foram priorizados os modos de falhas mais críticos para, no final, se propor soluções que mitiguem ou amenizem os problemas encontrados, atuando sempre nas causas fundamentais das falhas.

**Palavras-chave:** Manutenção, confiabilidade, falhas, recuperadora de minério.

#### **ABSTRACT**

The search for process quality is a fundamental point for industries in the current market scenario. This guarantees the final product excellence, avoid waste and economic losses. In this sense, in the context of maintenance and operation of a company's physical assets, the machines and equipment reliability must be guaranteed in order to achieve the process quality. Therefore, this monograph proposes activities based on the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology for a Bridge-type bucket wheel reclaimer machine,

which operates in a large multinational mining company. The history of production and failures of the asset is surveyed over a period of 10 months, in which one perceives the low reliability of the machine in fulfilling its main functions, as the production targets budgeted for the period were not met, and also because there were several unscheduled stop events for corrective maintenance. Therefore, with the involvement of professionals from different sectors (engineering, operation, maintenance and mechanical inspection), a detailed failure analysis is carried out with the FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) tool. Therefore, priority was given to the most critical failure modes in order to propose solutions that mitigate or soften the problems found, always acting on the failures fundamental causes.

**Keywords:** Maintenance, Reliability, Failures, Bucket wheel reclaimer

## 1 INTRODUÇÃO

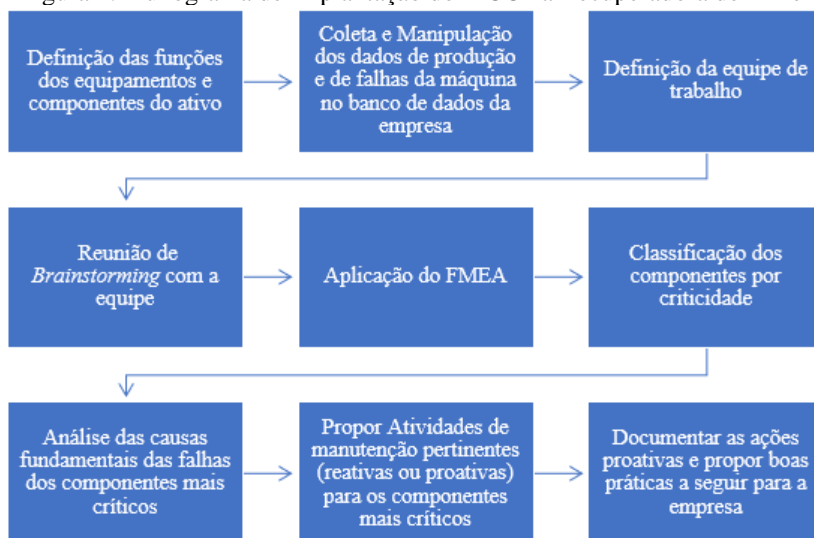
A Recuperadora de Minério (RC) estudada é uma máquina que opera em regime pesado de operação, está projetada para operar durante 24h por dia por todos os dias do ano, exceto nos períodos de paradas programadas para manutenção. No entanto, constantes relatos de profissionais que trabalham diretamente com o equipamento (como das áreas de engenharia, inspeção, manutenção e operação) expõem vários desvios de programação ocorridos na máquina, que afetam seu funcionamento, isto também é evidenciado através dos dados de falhas do ativo, o que explica a sua baixa confiabilidade.

Diante deste cenário, um estudo detalhado das falhas foi proposto, junto com a aplicação de uma metodologia centrada na confiabilidade, buscando soluções que melhorem as condições da máquina, para que ela opere com confiança e garantia de cumprir o que se espera dela em termos de produção e funcionamento.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho terá foco na melhoria da confiabilidade de operação da máquina, a qual está em funcionamento em uma indústria mineradora de ferro multinacional, localizada em Carajás, no estado do Pará. Sendo assim, a metodologia do MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade) foi selecionada para cumprir os objetivos propostos. Como propõem Dhillon (2006) e também Kardec e Nascif (2009), foram definidas as etapas para implantação do MCC em um fluxograma mostrado na Figura (1):

Figura 1. Fluxograma de Implantação do MCC na Recuperadora de Minério



Fonte: Autoria Própria (2020)

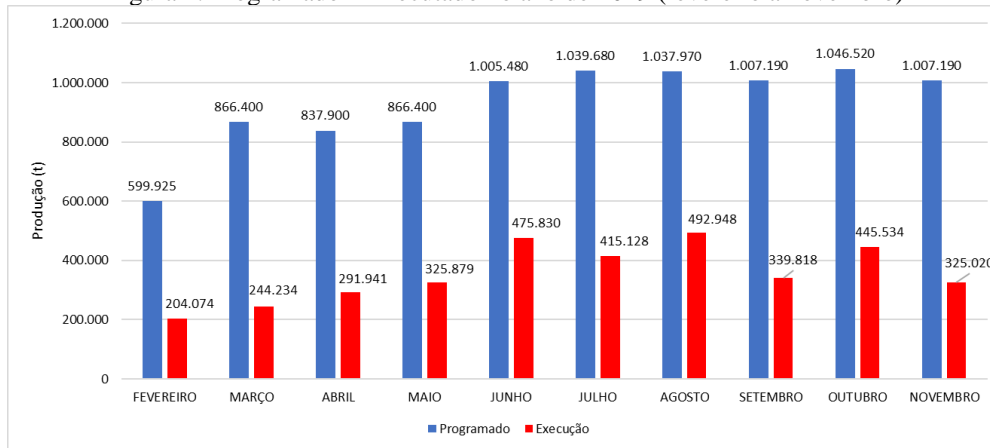
A abordagem realizada seguiu os passos acima para implantação eficaz do programa MCC, sempre buscando responder as 7 questões fundamentais previstas na norma SAE JA1011 (1999). Foi fundamental definir as funções e padrões de desempenho dos componentes estudados, com isso pôde-se apontar as falhas funcionais de cada um. Após, com advento dos dados fornecidos pela empresa e com braisntormings e entrevistas com a equipe de trabalho definida, buscou-se a aplicação da ferramenta FMEA, para análise dos modos e efeitos das falhas. Por conseguinte, foram separados os componentes mais críticos para se buscar as causas raízes das quebras e propor ações, sejam proativas ou reativas, para então criar planos de manutenção que garantam a confiabilidade do ativo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 DADOS SOBRE A RC

Primeiramente, como define Kardec e Nascif (2009), os dados de produção do ativo precisam ser levantados, para assim analisar sua performance, se está cumprindo com o que foi projetado e alcançando as metas de produção da empresa, como se vê na Figura (2):

Figura 2. Programado x Executado no ano de 2019 (fevereiro a novembro)



Fonte: Autoria Própria (2020)

Analisando os dados de produção, conforme mostra a Figura (2), pode-se enxergar, evidentemente, que a máquina não cumpriu a meta orçada em nenhum mês analisado.

Nos relatórios disponibilizados pela empresa, foram observados um total de 180 paradas para manutenção corretiva da máquina, com uma soma de 988,51 horas parada, restando no período total 6283,49 horas em que a recuperadora operou de fato.

Com esses dados, calcula-se a Confiabilidade da máquina em função do tempo, como mostram Kardec e Nascif (2009) e Filho (2000):

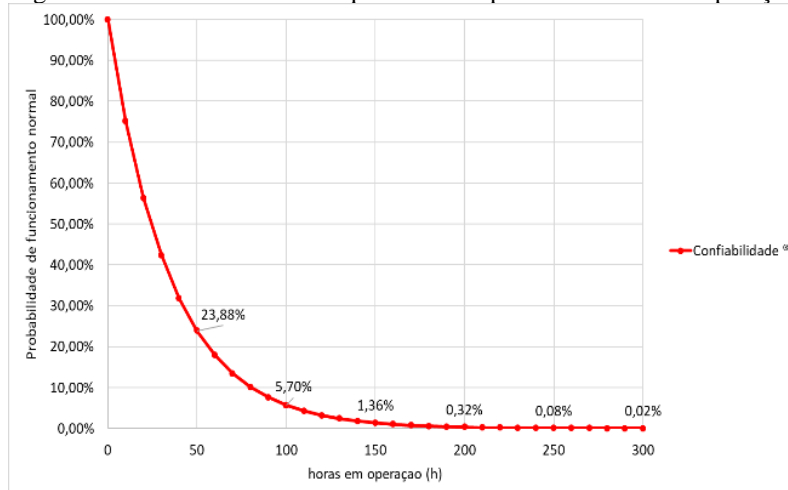
$$R(t) = e^{-\lambda \cdot t} \quad (1)$$

Em que  $\lambda$  é a taxa de falhas, definida matematicamente por Kardec e Nascif (2009) como:

$$\lambda = \frac{\text{número de falhas}}{\text{horas de operação}} \quad (2)$$

Considerando um regime de funcionamento de 300h sem parar e a taxa de falhas calculada anteriormente, tem-se a seguinte distribuição de confiabilidade, calculada pela equação exposta em:

Figura 3. Confiabilidade da máquina em um período de 300h de operação



Fonte: Autoria Própria (2020)

Observa-se uma queda acentuada de confiabilidade logo nas primeiras horas de operação. É possível enxergar que após aproximadamente dois dias operando (50h), a confiabilidade da máquina está abaixo de 25%, tendo mais de 75% de chances de apresentar alguma falha mecânica que pare a máquina. As chances de quebra são ainda mais críticas após 150h de operação - equivalente a, aproximadamente, 6 dias – apresentando menos do que 2% de probabilidade de a RC estar operando nas condições normais de funcionamento

### 3.2 EQUIPE DE TRABALHO E ANÁLISE DAS FALHAS

Com os dados de falhas da máquina coletados, foi necessário definir a equipe de envolvidos no trabalho, baseando-se em Moubray (1997), composta pelos autores do trabalho, um supervisor de manutenção, técnicos de inspeção, técnicos de planejamento e um engenheiro mecânico.

Foi realizada então a reunião de brainstorming, com o propósito de delimitar como seria implantado o programa MCC. A partir dos pontos de atenção levantados na reunião de brainstorming inicial, surgiram as ideias para delimitação da implantação do programa MCC: Foco para diminuir a quantidade de eventos de falhas, delineando a aplicação do MCC nos componentes mais críticos, mostrando suas causas raízes e propor tratativas

Após isso, aplicou-se o FMEA. Na Figura 5, temos o cabeçalho utilizado na implantação da ferramenta, considerando as propostas de vários autores (AIAG, 2008; Fogliatto e Ribeiro, 2009; Engeteles, 2017), que gerou uma tabela rica de informações.

Figura 4. Cabeçalho da Tabela FMEA aplicada

FMEA - ANÁLISE DOS MODOS E EFEITOS DE FALHA								
FMEA Nº 001		Revisão: 00		Data de Emissão: 31/01/2020		Responsáveis: Magson da Silva, Pedro Ribeiro Neto		
EQUIPAMENTO:		RECUPERADORA DE MINÉRIO DE RODA DE CAÇAMBA TIPO PONTE - RC-3011KN-01						
Ponto da Falha			Análise da Falha		Avaliação de Risco			
ITEM	Sistema	Subsistema	Modos de Falha	Efeitos de Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN

Fonte: Autoria Própria (2020)

Os sistemas foram então separados por criticidade. O critério para classificação da criticidade é baseado nos estudos de Pereira (2011), em que é calculada a média dos valores do índice RPN e usa-se esse valor como uma linha de corte para priorizar os itens. Assim, a linha de corte é de:

$$\text{Linha de corte para criticidade} = \frac{\text{soma de todos os RPN's}}{\text{Quantidade de modos de falha}} = 186 \quad (3)$$

Para se analisar as causas fundamentais dos principais modos de falhas priorizados, foi utilizada a metodologia dos “5 Por quês”. Essa análise, como explica Costa e Mendes (2018), busca as causas raízes das falhas com aplicação de até 5 por quês.

### 3.3. AÇÕES PROPOSTAS

Na Tabela (1), apresenta-se o resultado final do trabalho, como os componentes mais críticos retirados da tabela FMEA, e as respectivas ações para melhorar a confiabilidade do equipamento.

Tabela 1. Ações Propostas para Atuar nas Causas Fundamentais dos Modos de Falhas

<b>Roda de Caçamba</b>	Roda de Apoio	TEMPERATURA EXCEDENTE	VAZAMENTO OU ENTUPIMENTO DA TUBULAÇÃO	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADO	PREDITIVA: ADOÇÃO DE ROTA DE INSPEÇÃO (CHECK LIST)
		DESGASTE FACIAL (TRAVAMENTO)	MÁ VEDAÇÃO DOS CHUTES	CHUTE CIRCULAR	MELHORAR VEDAÇÃO
		FALHA NO ROLAMENTO	VAZAMENTO OU ENTUPIMENTO DA TUBULAÇÃO	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADO	PREDITIVA: ADOÇÃO DE ROTA DE INSPEÇÃO
	Roda de Encosto	DESGASTE FACIL (TRAVAMENTO)	MÁ VEDAÇÃO DO CHUTE	CHUTE CIRCULAR	MELHORAR VEDAÇÃO
		FALHA NO ROLAMENTO	VAZAMENTO OU ENTUPIMENTO DA TUBULAÇÃO	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADO	PREDITIVA: ADOÇÃO DE ROTA DE INSPEÇÃO
	Estrutura Radial Interna	FISSURAS / AVARIAS	DETERIORAÇÃO NATURAL DEVIDO AO TEMPO DE USO	ESTRUTURA RADIAL INTERNA	RECONDICIONAMENTO ESTRUTURAL COM CHAPAS CALANDRADAS
	Balancim da Roda de Apoio	TRAVAMENTO	ITEM NÃO INSPECIONÁVEL	BALANCIM	ADOÇÃO DE PREVENTIVA SISTEMÁTICA
		QUEBRA DO ELEMENTO DE FIXAÇÃO DO EIXO	ITEM NÃO INSPECIONÁVEL	BALANCIM	ADOÇÃO DE PREVENTIVA SISTEMÁTICA
		DESLOCAMENTO DO EIXO	ITEM NÃO INSPECIONÁVEL	BALANCIM	ADOÇÃO DE PREVENTIVA SISTEMÁTICA
<b>Chutes Circulares</b>	Estrutura	AVARIAS	ERRO NO PROCESSO DE BRITAGEM	BRITAGEM (PROCESSO EXTERNO, ANTERIOR AO DA RECUPERADORA)	INFORMAR À ÁREA DE BRITAGENS SOBRE FALHAS NO PROCESSO
<b>Lubrificação Centralizada</b>	Tubulação	VAZAMENTO	DETERIORAÇÃO NATURAL DEVIDO AO TEMPO DE USO	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADO	PREDITIVA: ADOÇÃO DE ROTA DE INSPEÇÃO
		ENTUPIMENTO	FALTA DE TREINAMENTO DA EQUIPE	FALHA HUMANA (EQUIPE DE LUBRIFICAÇÃO)	REALIZAR TREINAMENTO DA EQUIPE
	Reservatório de Lubrificante	CONTAMINAÇÃO	FALTA DE TREINAMENTO DA EQUIPE	FALHA HUMANA (EQUIPE DE LUBRIFICAÇÃO)	REALIZAR TREINAMENTO DA EQUIPE
		AUSÊNCIA DE LUBRIFICANTE	FALHA NA CHAVE DE NÍVEL MÍNIMO E MÁXIMO DO RESERVATÓRIO	SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO CENTRALIZADA	PREDITIVA: ADOÇÃO DE ROTA DE INSPEÇÃO

Nos casos de redesenho, a necessidade é para corrigir falhas do projeto. A má vedação dos chutes, por exemplo, tem ocasionado fuga do minério que se acumulam nas rodas de apoio e de encosto, causando desgaste facial devido o material corroer a estrutura das rodas. Na estrutura radial interna, o mesmo problema de vazamento de minério ocorre, ocasionando as avarias na estrutura devido ao tempo, assim um condicionamento da estrutura com chapas calandradas já está sendo realizado pelos responsáveis da área de manutenção. Na situação das avarias dos chutes circulares, sabe-se que parte do material que está chegando a RC, vindo da área de Britagem, tem granulometria maior do que para qual a Recuperadora foi projetada para operar (<90mm), o que pode estar gerando danos nos chutes circulares da RC. Nesse sentido, a ação a se

fazer é expor esse problema para a área de Britagem da empresa poder verificar porque o material não está sendo processado corretamente. Por fim, os problemas ocorridos devido ao manuseio incorreto do lubrificante podem ser resolvidos com a diligência de treinamento para a equipe de lubrificação responsável.

#### **4 CONCLUSÕES**

Em busca de melhores índices de confiabilidade para a Recuperadora de Minério, foi proposta a adoção da metodologia MCC. Sendo assim, A equipe de profissionais envolvida no levantamento dos dados, conseguiu transmitir as informações iniciais necessárias para o desenvolvimento do estudo em questão. Através dessas informações, acrescida de dados obtidos em sistemas da empresa e com o uso de ferramentas de gestão, foi desenvolvido o FMEA, em busca dos modos e efeitos de falha, assim como a probabilidade de risco (RPN) para cada subsistema. Ademais, com uso da metodologia dos 5 porquês foi possível encontrar as causas raízes das falhas com maior criticidade.

Desse modo, foram elaboradas ações viáveis para solucionar essas falhas. Ações proativas foram propostas para os sistemas que estão gerando mais problemas na máquina (de acordo com a análise dos 5 Porquês), que são o Sistema de Lubrificação Centralizado e os Balancins.

Em suma, tornou-se possível a elaboração de atividades de manutenção de maneira que seja possível prever eventuais falhas e, além disso, recomendar procedimentos preventivos. Com adoção destas medidas, a probabilidade de ocorrência de manutenção corretiva não programada será menor, pois a Recuperadora de Minério poderá operar com maior confiabilidade e garantia de cumprir suas funções primárias.



## REFERÊNCIAS

Automotive Industry Action Group (AIAG). Potential Failure Mode and Effects Analysis (FMEA) - Reference Manual. 4ª Ed., 2008

Costa, Taiane Barbosa da Silva; MENDES, Meirivone Alves. Análise da causa raiz: utilização do diagrama de Ishikawa e Método dos 5 Porquês para identificação das causas da baixa produtividade em uma cacauicultura. Anais do X SIMPROD, 2018.

Dhillon, B. S. Maintainability, maintenance and reliability for Engineers. 1ª. ed. New York: CRC Press, 2006

Engeteles. FMEA: que é e como fazer. 2017a. Disponível em: <<https://engeteles.com.br/fmea-o-que-e-comofazer/>>. Acesso em: 18/01/2020

Filho, Gil Branco. Dicionário de termos técnicos de manutenção e confiabilidade. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2000.

Fogliatto, Flávio S.; Ribeiro, José Luis D. Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2011

Kardec, A., Nascif, J. Manutenção - Função Estratégica. 3ª ed., Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2009.

Moubray, J. Reliability-centered maintenance: second edition. 2ª. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

Pereira, Mário J. Engenharia de Manutenção - Teoria e Prática. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2011.

Society Of Automotive Engineers (SAE). JA1011: Evaluation criteria for reliability-centered maintenance (RCM) processes. 1999.