

Benefícios da Manutenção Centrada em Confiabilidade Aplicada ao Sistema de Acionamento de um Moinho SAG

Guilherme S. Oliveira*. Carminda C.M.M. Carvalho*. Ubiratan H. Bezerra*

*Universidade Federal do Pará (UFPA), Belém - Brazil (e-mail: guilhermeolv15@gmail.com, carminda@ufpa.br, bira@ufpa.br)

Abstract: This paper aims to present the benefits of the reliability centered maintenance methodology for determining optimal maintenance tasks applied to an electrical drive item of a mining industry SAG mill. The importance of maintenance for equipment will be presented as well as how the use of modern techniques helps large corporations achieve greater profitability and competitiveness in the current market.

Resumo: Este artigo tem como objetivo apresentar os benefícios da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade para determinação de tarefas otimizadas de manutenção aplicadas a um item do acionamento elétrico de um moinho SAG de uma indústria mineradora. Será apresentada a importância da manutenção para os equipamentos e quanto a utilização de técnicas modernas auxilia as grandes corporações a atingir maior lucratividade e competitividade no mercado atual.

Keywords: Maintenance engineering; Reliability centered maintenance (RCM); Liquid rheostat; Mining.

Palavras-chaves: Engenharia de manutenção; Manutenção centrada em confiabilidade (MCC); Reostato líquido; mineração.

1. INTRODUÇÃO

A disponibilidade de máquinas e equipamentos é essencial para garantir o atingimento de metas dentro das grandes organizações, e em um ambiente econômico competitivo como o atual é extremamente importante que a manutenção seja vista não somente como uma despesa obrigatória, mas que seja enfatizada como uma ferramenta estratégica de sucesso do negócio.

A manutenção pode ser definida como o meio de assegurar que os ativos físicos continuem a fazer o que seus usuários querem que ele faça. Aquilo que os usuários querem dependerá exclusivamente de onde e como o equipamento está sendo utilizado, ou seja, seu contexto operacional (Moubray. 1997).

As atividades de manutenção (inspeção e manutenções preventivas e corretivas) podem identificar e corrigir defeitos nos equipamentos. Desta forma, a manutenção tem os seguintes benefícios: diminuição da duração e da frequência das falhas, prolongamento da vida útil e redução nos custos de reparo e de interrupção de processos produtivos. É necessário garantir uma boa estratégia pois o aumento da frequência de manutenção pode resultar em custos adicionais com materiais, mão de obra e até paralisações do processo operacional (Guia et al. 2018).

O aumento do custo da manutenção tem sido um dos principais responsáveis pelo crescente estudo de metodologias que venham a definir uma estratégia de manutenção eficiente para estender a vida útil dos

equipamentos sem prejudicar a performance operacional. A manutenção centrada em confiabilidade tem sido amplamente utilizada para atender essas necessidades.

Manutenção centrada em confiabilidade é a atribuição de estratégia de manutenção ideal para cada componente em um sistema, tendo em conta a importância/prioridade do mesmo, bem como modos de falha e seus respectivos efeitos sobre a confiabilidade do sistema (Siqueira. 2014).

A aplicabilidade e importância da manutenção centrada em confiabilidade em sistemas elétricos é evidenciada nos trabalhos de Freitag et al. (2018) e Ferreira et al. (2018), onde a metodologia é utilizada em transformadores e sistemas elétricos de potência e apresenta ganhos significativos para os casos estudados.

Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo definir os critérios necessários ao processo de manutenção centrada em confiabilidade, identificando seus preceitos, técnicas, procedimentos e resultados aplicados aos componentes elétricos de um moinho em uma indústria mineradora de bauxita localizada a 70km do município de Paragominas no estado do Pará.

A indústria alvo do estudo beneficia bauxita através dos processos de britagem, moagem e classificação. O minério beneficiado é misturado com água, formando uma polpa que é bombeada através de um mineroduto de 244km para o seu destino final que é uma refinaria. O sistema estudado será o moinho SAG (*Semi-Autogenous*), que é responsável por reduzir a granulometria do minério através do impacto gerado

pela queda do material misturado com água e uma carga de esferas maciças de aço durante a rotação do moinho. Entre os anos de 2017 e 2019 este sistema apresentou um total de 22 falhas devido a problemas no acionamento, impactando em aproximadamente 24 horas de parada da produção.

2. MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), do inglês *Reliability Centered Maintenance* (RCM) é focada no planejamento de atividades de manutenção levando em consideração aspectos de confiabilidade. O objetivo do método é garantir que o componente, conjunto ou sistema permaneça sempre em condições de desempenhar suas funções requeridas em um contexto operacional definido. As atividades de manutenção são otimizadas através de análises de consequências das falhas funcionais sob a ótica de segurança, meio ambiente, qualidade e custos (Freitag et al. 2018).

O processo de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade pode ser sintetizado em sete itens a respeito do sistema sob análise. Os tópicos a seguir apresentarão detalhadamente cada um deles.

2.1 Funções e padrões de desempenho de um ativo no seu contexto operacional

O primeiro passo para definir o que deve ser feito a fim de garantir que um ativo permaneça na melhor condição operacional é determinar qual a função do mesmo, e se ele é capaz de executar o que é desejado.

As funções resumizam o motivo pelo qual os ativos foram adquiridos e incluem parâmetros de desempenho como velocidade, quantidade, capacidade de transporte ou armazenagem, qualidade do produto e serviços ao cliente, segurança, conforto e até mesmo aparência do item.

Os usuários são quem usualmente definem melhor as funções que cada ativo desempenha e como cada um contribui para o bem estar físico e financeiro da organização. Portanto é essencial a presença de uma equipe de operação no desenvolvimento da manutenção centrada em confiabilidade.

2.2 Forma que o ativo falha em cumprir suas funções

A ocorrência que faz um ativo parar de realizar suas funções dentro dos padrões de desempenho estabelecidos é definida como falha. Isto implica que a manutenção alcança suas metas quando adota uma abordagem adequada para o gerenciamento das falhas. Porém, antes de determinar a abordagem é necessário estabelecer quais as falhas que podem acontecer.

2.3 Causa da falha funcional

Uma vez definidas as falhas funcionais é necessário identificar todos os eventos que são prováveis de causar a perda da função do ativo. Estes eventos são chamados de

modos de falha. A lista dos modos de falha deve incluir todos os eventos causados por deterioração ou desgaste normal, além de possíveis interferências humanas e de projeto.

2.4 Efeito da falha

O quarto tópico da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade implica em listar os efeitos de cada falha, os quais descrevem o que acontece quando cada modo de falha ocorre. Estas descrições devem incluir todas as informações necessárias para permitir a avaliação de consequências da falha, tais como a evidência de que a falha ocorreu, de que modo ela ameaça a segurança de pessoas e do meio ambiente, como ela afeta a produção e os custos da organização e o que deve ser feito para reparar a falha.

2.5 Consequência da falha

Durante a análise dos modos e efeitos das falha é possível identificar como cada uma delas afeta a organização em quesitos de produção, processo, custo, segurança e meio ambiente. A determinação das consequências tem como objetivo evidenciar a urgência na escolha da melhor estratégia de manutenção a ser adotada a fim de evitá-las.

2.6 Tarefas de manutenção para prevenção da falha

Após identificar as falhas funcionais, modos de falha, efeitos e consequências das falhas é necessário fazer uma avaliação de qual a estratégia de manutenção deve ser adotada para cada modo de falha, a fim de elimina-lo ou reduzir suas consequências. Nesta fase trata-se o que deve ser feito, compondo um plano de manutenção. Deve-se evitar a ideia de que todas as falhas devem ser evitadas, ou seja, busca-se o gerenciamento das falhas e não apenas a prevenção indiscriminada de todas elas.

2.7 Ações a serem tomadas caso uma tarefa de manutenção não seja aplicável

Caso não seja possível aplicar nenhuma tarefa proativa de manutenção deve-se adotar um dos três procedimentos citados a seguir.

- Busca da falha: implica na verificação periódica de funções ocultas a fim de determinar se elas falharam.
- Reprojeto: implica em fazer alguma mudança na característica implícita do sistema com o objetivo de eliminar o modo de falha ou torna-lo rastreável.
- Nenhuma manutenção programada: implica em não fazer esforço para antecipar ou prevenir os modos de falha.

Ao definir os sete itens anteriores será possível mapear os possíveis pontos de falha do ativo, a importância dele para a organização e o que deverá ser feito para garantir a condição operacional.

3. METODOLOGIA

Esta sessão apresenta o método desenvolvido para aplicação da manutenção centrada em confiabilidade a um equipamento elétrico que faz parte do acionamento do moinho SAG. O moinho é apresentado na Fig 1.



Fig. 1 Moinho SAG.

O acionamento elétrico é composto de 3 itens, um motor elétrico trifásico de 6500 HP, 13800 Volts, um inversor de frequência responsável pela variação da velocidade entre 80 e 110% da rotação nominal e um reostato líquido de partida.

O equipamento alvo do estudo será o reostato líquido, que tem como função dar a partida e acelerar o motor principal até 80% da velocidade síncrona, que é quando o inversor de frequência assume a operação. Além disso ele deve estar pronto para manter o moinho operando a uma velocidade fixa no caso da ocorrência de uma falha do inversor. O reostato fornece ao rotor do motor uma resistência variável através de um sistema de eletrodos móveis e fixos imersos em um eletrólito composto de solução alcalina. O equipamento é apresentado na Fig 2.



Fig. 2 Reostato líquido de partida.

Após a definição do equipamento elétrico a ser estudado e a sua função, foi estabelecido através de reuniões entre engenharia, manutenção e operação, de que forma este deixa de executar sua função, ou seja, qual a falha funcional. A

Tabela 1 apresenta o resumo das funções e falhas funcionais do reostato líquido.

Tabela 1. Função e falha funcional

Equipamento	Função	Falha funcional
Reostato Líquido	Partir e acelerar o motor principal até 80% da rotação nominal	Não partir o motor principal
	Manter a operação do motor a rotação fixa de 80% na falha do inversor de frequência	Não manter a operação do motor na falha do inversor de frequência

Para identificar os modos de falha e efeitos foram envolvidos os mais experientes executantes e engenheiros de manutenção, além da realização de um levantamento na base de dados de falha do equipamento. A Tabela 2 apresenta os modos de falha e efeitos para o reostato líquido.

Tabela 2. Modos e efeitos das falhas

Equipamento	Modo de falha	Efeito
Reostato líquido	Eletrodos erro de posição	Atuação do intertravamento
	Anel coletor de corrente desbalanceado	Atuação do intertravamento
	Eletrólito nível baixo	Atuação do intertravamento
	Contator falha de comutação	Falha na partida ou operação do moinho SAG
	TC de corrente danificado	Leitura de corrente errada ou ausência de medição
	Motor de acionamento do eletrodo em falha	Não movimentação dos eletrodos
	Inversor proteção atuada	Falha na movimentação dos eletrodos
	Relés auxiliares queimados	Falha na partida ou operação do moinho SAG
	Fonte 24 Volts queimada	Desligamento dos componentes ligados em 24Volts
	Redutor de acionamento dos eletrodos travado	Falha na movimentação dos eletrodos
	Redutor do potenciometro travado	Erro na indicação de posição dos eletrodos
	Potenciometro leitura incorreta	Erro na posição dos eletrodos
	Cuba isolamento danificada	Fuga para a terra

A fim de analisar os impactos dos efeitos de cada falha funcional, foi feita a categorização com base no plano diretor de manutenção da empresa. Este estabelece que os efeitos devem ser categorizados levando em consideração consequências em saúde, segurança e meio ambiente, impacto operacional e efeitos adversos na qualidade do produto. Além disso, é determinado se o efeito é evidente ou oculto. A Fig. 3 apresenta o algoritmo de perguntas da metodologia de categorização dos efeitos das falhas funcionais utilizado dentro de uma das plataformas de manutenção disponibilizadas pela empresa.

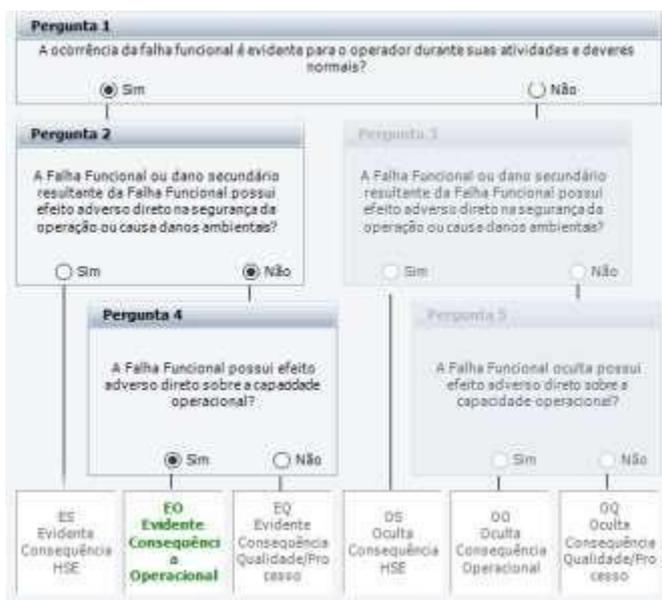


Fig. 3 Categorização do efeito da falha.

Uma vez que as análises de função, falha funcional, modos de falha, efeitos das falhas e categorização dos efeitos estão concluídas, é necessário identificar qual a estratégia de manutenção que minimiza o impacto das falhas. A escolha foi feita com base nas tarefas de manutenção que melhor otimizavam o tempo de atividade e implicavam em menor custo.

A estratégia foi estabelecida com base na resposta a quatro perguntas:

- Uma tarefa de serviço programada é aplicável e efetiva?
- Uma tarefa preditiva é aplicável e efetiva?
- Uma tarefa de reparo/troca programada é aplicável e efetiva?
- Uma ação de reprojeto é aplicável e efetiva?

Caso a resposta para esses quatro questionamentos seja não, então uma tarefa de manutenção não é aplicável para a prevenção do modo de falha, portanto o equipamento deverá funcionar até falhar.

Após definir a estratégia de manutenção foi feito um estudo com o objetivo de estabelecer o intervalo ótimo entre as atividades. Esse intervalo foi inicialmente calculado com

base na experiência dos executantes, no custo de manutenção corretiva por intervenção (MC) e no custo de cada ação de manutenção preventiva (MP). No geral, quando a quantidade de preventivas aumenta, os custos de MP aumentam e os de MC diminuem, e quanto mais espaçadas forem as preventivas, haverá menos custos de MP e mais custos de MC. O objetivo é encontrar o melhor custo benefício para o negócio.

O resultado final da aplicação da manutenção centrada em confiabilidade foi o desenvolvimento de um plano de manutenção para todos os componentes elétricos do moinho SAG considerando o menor custo e impacto no processo produtivo, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Tarefas de manutenção e periodicidade

Modo de falha	Tarefa de manutenção	Periodicidade
Eletrodos erro de posição	Substituir os contatos fixos e móveis	Anual
Anel coletor corrente desbalanceada	Analisar em laboratório a condutividade da solução	Semestral
Eletrólito nível baixo	Completar o nível de água	Semestral
Contator falha de comutação	Checar integridade dos terminais e aperto das conexões	Semestral
TC de corrente danificado	-	-
Motor de acionamento do eletrodo em falha	Medir a isolamento do motor	Semestral
Inversor proteção atuada	-	-
Relés auxiliares queimados	-	-
Fonte 24 Volts queimada	-	-
Redutor de acionamento dos eletrodos travado	Substituir redutor	Bianual
Redutor do potenciometro travado	Substituir redutor e potenciometro por sistema de encoder	-
Potenciometro leitura incorreta	Substituir redutor e potenciometro por sistema de encoder	-
Cuba com isolamento danificada	Inspecionar estrutura e verificar se há indícios de vazamento	Bimensal

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A definição de atividades orientadas a mitigar os modos de falha resultou em sete tarefas de manutenção e no desenvolvimento de um projeto de melhoria para o equipamento. Foi identificado durante a análise que alguns modos de falha, devido a sua natureza estocástica, não tem como ser eliminados ou contidos com tarefas de manutenção, sejam elas de teste, substituição periódica ou preditiva. Portanto, para esses itens considera-se a atuação somente na condição corretiva.

Durante as reuniões de aplicação da manutenção centrada em confiabilidade foi identificado pela equipe a oportunidade de melhorar o sistema de indicação de posição dos eletrodos que anteriormente era por potenciômetro utilizando-se a tecnologia de encoder, que é mais confiável e possui menos componentes mecânicos. Através dessa solução foi possível eliminar dois modos de falha.

A Tabela 4 apresenta a comparação entre o plano de manutenção anteriormente utilizado e o desenvolvido utilizando-se a manutenção centrada em confiabilidade, considerando-se também a execução de uma manutenção preventiva. O anterior era executado bimestralmente, o novo possui somente inspeção bimestral (não precisa parar o equipamento) e a preventiva é realizada em intervalos semestrais.

Tabela 4. Comparação manutenção tradicional x RCM

Manutenção	Número de tarefas	Número de homens x hora	Horas paradas equipamento
Atual	6	6	3
Anterior	47	12	6

Aplicando os conceitos e análises proporcionados pela manutenção centrada em confiabilidade eliminou-se quarenta e uma tarefas que não agregam valor, além disso reduziu-se pela metade a quantidade de mão de obra necessária para realização das atividades e o número de horas paradas do moinho SAG. Cada hora deste sistema parado impacta em aproximadamente 1000 toneladas de minério beneficiado, a um custo de cerca de R\$ 111.441,00. Fazendo uma projeção, em um período de 2 anos será economizado um valor em torno de R\$ 445.764,00.

5. CONCLUSÕES

Este artigo apresentou o uso da técnica de Manutenção Centrada em Confiabilidade para otimizar as tarefas de manutenção de um equipamento elétrico parte do circuito de acionamento de um moinho SAG. Evidenciou-se a importância do equipamento para o processo produtivo da indústria onde ele se encontra e o quanto é possível economizar utilizando somente mecanismos de análise puramente qualitativa.

Espera-se, com a utilização desta metodologia, que ganhos significativos possam ser obtidos no gerenciamento da manutenção dos equipamentos elétricos. Pode-se citar além de ganhos financeiros a motivação dos executantes em saber que todas as ações executadas durante a manutenção possuem uma justificativa e estão orientadas a mitigar alguma possível falha.

Com o objetivo de complementar e aumentar os ganhos da manutenção centrada em confiabilidade deve-se futuramente aplicar no equipamento estudado a metodologia de análise de dados de vida. Esta será capaz de estabelecer baseada em dados históricos de falha dos componentes elétricos as curvas de confiabilidade, melhorando a assertividade na definição do intervalo ótimo de troca de componentes elétricos que possuem comportamento de falha aleatório.

REFERÊNCIAS

- Moubray, J. (1997). *Reliability Centered Maintenances*, 2 ed. McGraw Hill, New York.
- D. L. da Guia, A. B. Rodrigues e M d. G. da Silva (2018). A robust maintenance management of transformers considering uncertainties in fault data. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, Niterói, 2018, pp 1-6.
- J. P. Siqueira. (2014). *Manutenção Centrada na Confiabilidade*, 1 ed., QualityMark, Rio de Janeiro.
- S. C. Freitag, M. Sperandio, T. B. Marchesan e R. Carraro (2018). Power Transformer risk management: Predictive methodology based on reliability centered maintenance. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, Niterói, 2018, pp. 1-6.
- M. I. J. Ferreira, A. M. L. da Silva and E. Tavares, Maintenance scheduling of distribution networks based on reliability indices. *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE)*, Niteroi, 2018, pp. 1-6.