



# ConBRepro

XI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



01 a 03  
de dezembro 2021

## Sistema de Manutenção Centrada na Confiabilidade: um estudo de caso em um moinho martelo de uma indústria de reciclagem

**José Marcelo Lopes Vanderley**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - UFPE

**Rodrigo Sampaio Lopes**

Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção - UFPE

**Resumo:** A indústria de reciclados tem grande importância para o meio ambiente sendo um segmento cada vez mais competitivo, necessitando maior adesão a técnicas e métodos de gestão para redução de custos. Neste contexto, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) apresenta-se como uma ferramenta de gestão, com objetivo de preservar as funções dos sistemas e equipamentos. O objetivo deste trabalho é estudar a aplicação da MCC em uma empresa de reciclagem de produtos plásticos do estado de Pernambuco, apresentando os principais conceitos desta metodologia e orientações para aplicação de cada etapa, iniciando-se pela identificação dos componentes, descrição de modos de falha, identificação de causas e efeitos, seleção dos componentes críticos e aplicação de atividades proativas para redução das falhas, gerando maior disponibilidade dos equipamentos. Este estudo permitiu um conhecimento mais abrangente tanto do equipamento quanto da MCC, melhor relacionamento entre os setores de operação e manutenção, tendo por consequência a redução dos custos de manutenção na empresa estudada.

**Palavras-chave:** Manutenção Centrada na Confiabilidade, Moinho de Martelo, Análise de Falhas, Gestão da Manutenção.

## Reliability Centered Maintenance System: a case study in a hammer mill in a recycling industry

**Abstract:** A indústria de reciclados tem grande importância para o meio ambiente sendo um segmento cada vez mais competitivo, necessitando maior adesão a técnicas e métodos de gestão para redução de custos. Neste contexto, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) apresenta-se como uma ferramenta de gestão, com objetivo de preservar as funções dos sistemas e equipamentos. O objetivo deste trabalho é estudar a aplicação da MCC em uma empresa de reciclagem de produtos plásticos do estado de Pernambuco, apresentando os principais conceitos desta metodologia e orientações para aplicação de cada etapa, iniciando-se pela identificação dos componentes, descrição de modos de falha, identificação de causas e efeitos, seleção dos componentes críticos e aplicação de atividades proativas para redução das falhas, gerando maior disponibilidade dos equipamentos. Este estudo permitiu um conhecimento mais abrangente tanto do equipamento quanto da MCC, melhor relacionamento entre os setores de operação e manutenção, tendo por consequência a redução dos custos de manutenção na empresa estudada.

**Keywords:** Reliability Centered Maintenance, Hammer Mill, Failure Analysis, Maintenance Management.

## 1 Introdução

O mercado de recicláveis tem grande importância para sociedade devido a escassez de matéria-prima e redução dos recursos naturais, além de ajudar a redução da contaminação do meio ambiente, por estes motivos trata-se de um segmento em constante crescimento, tornando-se um mercado cada vez mais competitivo, demandando maior eficiência de seus processos e redução de custos, a utilização de sistemas com produção mais limpa torna-se cada vez mais necessário na indústria, essas práticas são muito importantes para todo tipo de organização, principalmente para consolidação de sistemas de gestão para pequenas e médias empresas (ORTIZ et al., 2013).

Para alcançar a eficiência desejada todos os processos que envolvem o sistema produtivo devem ser melhorados, incluindo-se os processos de manutenção, que passa a ter um papel estratégico na obtenção de melhores resultados. Para Ruschel; Santos; Loures (2017) a concorrência no mercado cria nas organizações a necessidade de um planejamento adequado da manutenção, desta forma, a organização aumenta a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, e reduz as perdas durante o processo produtivo. De acordo com Rosa et. al. (2018) a manutenção tem papel fundamental para o funcionamento pleno da capacidade produtiva de uma organização. Gandhare, Akarte e Patil (2018) mencionam que a indústria exige grande investimento financeiro, e que a manutenção é um setor crítico para a disponibilidade de suas instalações. De acordo com Moreira Neto e Tavares (2015) a MCC consiste em aplicar uma metodologia estruturada para concepção de um plano de manutenção estratégico que esteja mais adequado para o equipamento ou sistema.

Dentre as ferramentas de gestão de manutenção disponíveis no mercado, pode-se destacar a MCC, sistema esse, advindo da indústria aeronáutica, e que vem sendo implementado na manutenção dos mais variados segmentos industriais. De acordo com Sellitto (2007) a utilização da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade (RCM – Centered Maintenance) tem como objetivos principais o aumento da confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Para Zaions (2003) a MCC foi inserida no contexto das organizações como ferramenta de planejamento de controle que combinada com a manutenção preventiva, visa o aumento da vida útil dos componentes dos sistemas e reduz custos com manutenção, esse método tem se tornado primordial para gestão da manutenção.

A MCC vem sendo aplicada com sucesso em diversos segmentos, alguns mais recentes como Cerveira e Sellitto (2015) utilizaram a MCC em um forno elétrico a indução em uma fundição de aços; Rosa (2016) fez uso da MCC nos equipamentos transportadores de montagem de uma linha de produção automotiva; Amaral (2017) aplicou a metodologia para a manutenção de navios; Silva (2018) em um equipamento de moer de grãos, Benini e Santos (2021) fizeram uso em uma embaladora à vácuo de alimentos.

Aziz et al. (2019) consideram que o gerenciamento da manutenção baseado em confiabilidade é uma técnica com resultados comprovados. A metodologia dessa ferramenta de gestão é estruturada a partir das necessidades reais de manutenção dos equipamentos e sistemas, considerando estratégias de manutenção adequadas à funcionalidade dos mesmos. (MOREIRA NETO; TAVARES, 2015).

Neste contexto, este trabalho tem o objetivo de analisar a implementação da manutenção centrada na confiabilidade (MCC) na manutenção de moinho de martelo em uma indústria de reciclagem de produtos plásticos, seguindo a metodologia proposta por Moubrey (1997), no qual a aplicação visa responder algumas questões, envolvendo as funções e

padrões de funcionamento do equipamento e sistemas, bem como, analisar as causas e efeitos das falhas, e a implementação de métodos de inspeção para redução das falhas, por fim, a análise dos resultados.

A estrutura do artigo está dividida da seguinte maneira: A seção 2 apresenta estudo de caso com aplicação das etapas da MCC, seguida da seção 3 onde é realizada a análise dos resultados obtidos, as considerações finais são feitas na seção 4.

## **2 Estudo de caso**

### **2.1 Aplicação do MCC**

O estudo foi realizado em uma empresa de reciclagem de caixas plásticas, incluindo caixas plásticas agrícolas do tipo hortifrúti, caixas plásticas organizadoras, caixas plásticas multiuso, bandejas plásticas, caixas plásticas de produtos eletrônicos. As caixas são enviadas pela empresa que faz a separação dos materiais recicláveis separando as caixas plásticas dos demais componentes que são enviados para outros setores específicos para reprocessamento, após a separação o plástico é lavado e encaminhado para o moinho de martelo para ser triturada em pequenas partículas, que posteriormente serão reprocessados, essa atividade além de trazer lucros, ajuda a conservação do meio ambiente.

O moinho martelo foi escolhido por tratar-se de um equipamento gargalo que restringe produção e tem alto índice de quebras, a empresa dispõe somente de um equipamento deste modelo para triturar produtos, que opera em turno de 8 horas por dia, 6 dias por semana, ficando disponível somente no domingo para realização de manutenções preventivas e preditivas, mesmo assim, falhas ocorrem durante a semana, causando paradas muitas vezes prolongadas.

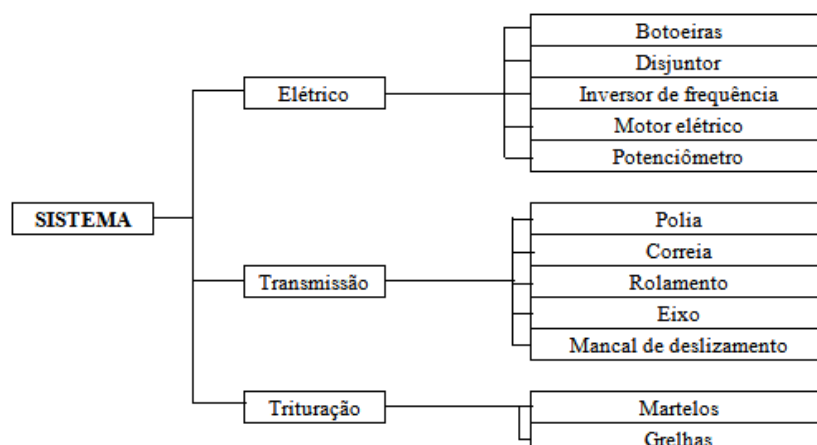
Conforme Moubrey (1997), a MCC visa responder às seguintes questões, que serão detalhadas passo a passo nesta seção:

- a) Quais são as funções e padrões de desempenho do ativo no seu contexto atual de operação;
- b) De que forma ele falha em cumprir sua função (modos de falha);
- c) O que causa cada falha funcional;
- d) O que acontece quando ocorre cada falha;
- e) De que modo cada falha é importante;
- f) O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha;
- g) O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada;

Conforme as orientações de Moubrey (1997) Para aplicação das etapas foram necessárias reuniões periódicas que contaram com a participação do líder de produção da empresa, juntamente a equipe de manutenção, também houve contatos com o fabricante do equipamento para coleta de informações específicas.

A aplicação do MCC, seguiu com levantamento dos sistemas do moinho, com base nos registros do sistema de ordens de serviço (OS) do setor de manutenção da empresa em estudo, conforme apresenta a figura 2, os sistemas foram divididos em: sistema elétrico, sistema de transmissão e sistema de trituração.

**Figura 2 - Divisão dos sistemas**



Fonte: Autores (2021)

A seguir será feita a apresentação das respostas às sete perguntas desenvolvidas por Moubray (1997).

## 2.2 Funções e padrões de desempenho do moinho

As funções indicam o modo de ação como cada componente atua no sistema, o entendimento desta função permite ao operador do equipamento identificar com maior precisão os modos de falhas. Mobley (2008), conceitua função como a descrição das ações ou exigências que um sistema tem que executar, considerando a capacidade de desempenho e as especificações dos componentes, descrevendo todos os modos de operação do equipamento.

Zaions (2003) adverte que a identificação das funções de um sistema necessita ser feita cuidadosamente, devido na maioria dos casos o equipamento possuir mais de uma função, em alguns casos, várias funções, dentre elas funções passivas, que não são fáceis de identificar, pois diferentemente das principais não aparecem de forma explícita, no entanto, podem ser significativas.

Com o apoio da equipe de manutenção e através dos dados da empresa foi executada a identificação das funções no moinho de martelo conforme apresentado no Quadro 1 a seguir.

**Quadro 1 – Funções dos componentes**

Componente	Função
Botoeiras	Ligar e Desligar o moinho manualmente
Disjuntor	Proteger instalação elétrica
Inversor de frequência	Controlar e dar partida no motor
Motor elétrico	Converter energia elétrica em mecânica para o moinho funcionar
Potenciômetro	Regular/Variar a velocidade do motor
Polia	Transmitir a tração do motor através da correia
Correia	Transmitir força e movimento
Rolamento	Minimizar a fricção entre as peças
Eixo	Guiar a rotação do moinho
Mancal de deslizamento	Apoiar e guiar os eixos do rolamento
Martelos	Processar a matéria prima
Grelhas	Separar matéria prima processada

Fonte: Autores (2021)

## 2.3 Modos de falha

O estudo dos modos de falha permitem ao operador identificar defeitos, mesmo que ocorram de forma intermitente, e comunicar ao setor de manutenção esses sintomas percebidos, a manutenção atua no sistema de forma preventiva, antes que ocorra a falha e não somente de forma corretiva que trata depois que a falha ocorre.

Moubray (1997) conceitua falhas como a alteração causada nos equipamentos, que faz com que os mesmos não trabalhem da mesma maneira a qual foram projetados.

O Quadro 2 apresenta os modos de falha para os componentes em estudo.

**Quadro 2 – Modos de falha dos componentes**

<b>Componente</b>	<b>Modo de Falha</b>
Botoeiras	Dificuldade para acionar botão
Disjuntor	Abre indevidamente
	Fuga de corrente
	Não funciona
Inversor de frequência	Aquecimento
	Sem comunicação
Motor elétrico	Aquecimento do motor
	Ruído
Potenciômetro	Velocidade de rotação incorreta
Polia	Ruído
	Trincas
Correia	Rompimento
	Distorção da correia
	Dificuldade na rotação
Rolamento	Travamento do mancal
	Aquecimento
	Trincas
Eixo	Diminuição da rotação
	Rompimento do eixo
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal
	Funcionamento inadequado
Martelos	Desgaste
Grelhas	Rachaduras

Fonte: Autores (2021)

## 2.4 O que causa cada falha funcional

Nesta etapa, são avaliados os históricos de falhas, manuais do equipamento e o conhecimento e experiência da equipe de manutenção, esse levantamento gerou o Quadro 3, associando as possíveis causas de falha ao modo de falha inicialmente listado.

**Quadro 3 – Modos de falha versus possíveis causas de falha**

<b>Componente</b>	<b>Modo de Falha</b>	<b>Possíveis causas da Falha</b>
Botoeiras	Dificuldade em acionar botão	Desgaste, sujeira, fim da vida útil
Disjuntor	Abre indevidamente	Desgaste, fim vida útil
	Fuga de corrente	Desgaste, fiação solta, fios desencapados
	Não funciona	Desgaste, fios soltos, fios danificados.
Inversor de frequência	Aquecimento	Fim da vida útil, oscilações de força elétrica
	Sem comunicação	Fim da vida útil, queima, problemas na memória
Motor elétrico	Aquecimento do motor	Transmissão com sobrecarga e/ou falta de manutenção
	Ruído	Transmissão com sobrecarga e/ou falta de manutenção
Potenciômetro	Velocidade, rotação incorreta	Desgaste, fios danificados.
Polia	Ruído	sobrecarga na transmissão, falta de lubrificação
	Trincas	sobrecarga na transmissão, falta de lubrificação
Correia	Rompimento	Fim da vida útil, sobrecarga na transmissão, tensionamento incorreto
	Distorção da correia	sobrecarga na transmissão, tensionamento incorreto
	Dificuldade na rotação	Fim da vida útil, tensionamento incorreto, sobrecarga na transmissão, desgaste.

Continua

Rolamento	Travamento do mancal	Falta de lubrificação, sujeira, fim da vida útil
	Aquecimento	Falta de lubrificação, sujeira, fim da vida útil
	Trincas	Falta de lubrificação, sujeira, fim da vida útil
Eixo	Diminuição da rotação	sobrecarga na transmissão, falta de lubrificação
	Rompimento do eixo	sobrecarga na transmissão, falta de lubrificação
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	sobrecarga na transmissão, falta de lubrificação
	Funcionamento inadequado	sobrecarga na transmissão, falta de lubrificação
Martelos	Desgaste	Quebra dos martelos, ou martelos soltos, matéria-prima contaminada com materiais inadequados
Grelhas	Rachaduras	Fim da vida útil, materiais inadequados dentro do moinho

Fonte: Autores (2021)

O conhecimento profundo através das possíveis causas das falhas apresenta-se de grande importância para a empresa de reciclados, essas informações trazem conhecimento técnico para toda equipe envolvida permitindo identificação mais rápida e antecipada das falhas.

## 2.5 O que acontece quando ocorre a falha (Efeito)

De acordo com Moubrey (1997), os efeitos refletem o que acontece na concepção de um modo de falha. Reconhecer esses efeitos auxilia a análise da equipe de manutenção e permite ao operador identificar o que está ocorrendo com o equipamento.

No Quadro 4 foram definidos, com o apoio da equipe de manutenção, os efeitos para cada modo de falha.

Quadro 4 – Efeitos versus modos de falha

Componente	Modo de Falha	Efeito da Falha
Botoeiras	Dificuldade para acionar botão	Ligar/desligar no momento incorreto
Disjuntor	Abre indevidamente	Desligamento imediato do moinho
	Fuga de corrente	Risco de choque elétrico nos operadores
	Não funciona	Equipamento não liga
Inversor de frequência	Aquecimento	Queima do inversor
	Sem comunicação	Equipamento parado
Motor elétrico	Aquecimento do motor	Queima do motor
	Ruído	Lentidão fora do normal
Potenciômetro	Velocidade de rotação incorreta	Velocidade inadequada e/ou oscilando
Polia	Ruído	Peso ou travamento no sistema de transmissão
	Trincas	Peso ou travamento no sistema de transmissão.
Correia	Rompimento	Correia partida, equipamento sem moer
	Distorção da correia	Barulho, peso na transmissão
	Dificuldade na rotação	Correia partida, equipamento sem moer
Rolamento	Travamento do mancal	Perda de velocidade do equipamento
	Aquecimento	Perda de velocidade do equipamento
	Trincas	Perda de velocidade do equipamento
Eixo	Diminuição da rotação	Perda de velocidade do equipamento
	Rompimento do eixo	Moinho para de moer
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	Perda de velocidade do equipamento
	Funcionamento inadequado	Perda de velocidade do equipamento
Martelos	Desgaste	Material não processado, falhas de processamento
Grelhas	Rachaduras	Material não é processado corretamente

Fonte: Autores (2021)

O conhecimento da correlação entre os modos e os efeitos das falhas, permite aos operadores identificação imediata da falha, levando ao setor de manutenção solicitações mais precisas com relação ao modo de falha.

## 2.6 Importância da falha

A análise da importância das falhas segue a indicação do método FMEA, para Dias et al. (2011) A técnica do FMEA analisa os modos de falhas, suas causas e efeitos, possibilitando a síntese do conhecimento, e baseia-se nos registros, tecnologias e na experiência dos envolvidos. Com base em informações coletadas com a equipe de manutenção e os registros de falhas de cada componente, foi definido o Quadro 5, com a indicação de pontuação de 1 (um) a 10 (dez) para frequência, gravidade e detectabilidade de cada modo de falha.

- Gravidade do problema: Classificação que deve considerar questões importantes para a empresa e clientes, como padrões de segurança, meio ambiente, perda de negócios etc. Escala: 1 indica um baixo impacto e 10 indica alto impacto.

- Frequência de ocorrência: Classificação que indica a probabilidade de a falha ocorrer durante a vida útil que se espera daquele produto. Escala: 1 indica nada provável de ocorrer e 10 muito provável, inevitável.

- Detectabilidade da falha: Classificação que mostra a probabilidade de o problema ser detectado e resolvido antes de ocorrer. Escala: 1 é muito provável e 10 não é nada provável.

O Quadro 5 apresenta as análises das falhas indicando as pontuações atribuídas pela equipe da empresa para cada um dos termos: frequência, gravidade e detectabilidade.

**Quadro 5 – Análises das falhas**

Componente	Modo de Falha	Frequência	Gravidade	Detectabilidade
Botoeiras	Dificuldade para acionar botão	3	3	9
Disjuntor	Abre indevidamente	2	2	8
	Fuga de corrente	3	6	2
	Não funciona	2	8	10
Inversor de frequência	Aquecimento	1	9	7
	Sem comunicação	1	9	8
Motor elétrico	Aquecimento do motor	8	10	8
	Ruído	7	10	7
Potenciômetro	Velocidade de rotação incorreta	2	3	9
Polia	Ruído	3	2	7
	Trincas	3	3	5
Correia	Rompimento	9	4	9
	Distorção da correia	5	4	9
	Dificuldade na rotação	8	3	8
Rolamento	Travamento do mancal	9	5	4
	Aquecimento	9	6	6
	Trincas	4	5	6
Eixo	Diminuição da rotação	6	6	8
	Rompimento do eixo	7	8	10
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	3	8	10
	Funcionamento inadequado	3	7	9
Martelos	Desgaste	2	10	7
Grelhas	Rachaduras	2	7	7

**Fonte: Autores (2021)**

Após o levantamento, foi aplicado o cálculo de RPN (Risk Priority Number), que é obtido através da multiplicação das notas atribuídas no quadro 5.  $RPN = \text{frequência} \times \text{gravidade} \times \text{detectabilidade}$ . O RPN permitirá a avaliação dos componentes com maior criticidade e definição de ações de contenção, para aumentar a confiabilidade dos sistemas.

A seguir o resultado do RPN, para priorização dos métodos de manutenção foram escolhidos os modos de falha com pontuação acima de 200 RPN, conforme destaques no Quadro 6.

**Quadro 6 – Pontuação RPN para os modos de falha**

Componente	Modo de Falha	RPN
Botoeiras	Dificuldade para acionar botão	81
Disjuntor	Abre indevidamente	32
	Fuga de corrente	36
	Não funciona	160
Inversor de frequência	Aquecimento	63
	Sem comunicação	72
Motor elétrico	Aquecimento do motor	<b>640</b>
	Ruído	<b>490</b>
Potenciômetro	Velocidade de rotação incorreta	54
Polia	Ruído	42
	Trincas	45
Correia	Rompimento	<b>324</b>
	Distorção da correia	180
Rolamento	Dificuldade na rotação	192
	Travamento do mancal	180
	Aquecimento	<b>324</b>
	Trincas	120
Eixo	Diminuição da rotação	<b>288</b>
	Rompimento do eixo	<b>560</b>
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	<b>240</b>
	Funcionamento inadequado	189
Martelos	Desgaste	140
Grelhas	Rachaduras	98

Fonte: Autores (2021)

Sendo possível destacar os componentes com maior RPN: Motor com modos de falha ruído e aquecimento, Correia com modo de falha rompimento, Rolamento com aquecimento, Eixo ao apresentar diminuição de rotação e rompimento, e o travamento do mancal de deslizamento.

## 2.7 O que pode ser feito para prever ou prevenir cada falha

Considerando a importância do diagrama de decisão, de posse das informações dos componentes, e as características dos modos de falha, é possível categorizar cada modo de falha dentro de quatro grupos.

A seguir os quatro grupos definidos por Siqueira (2009):

- ESA: Segurança/Ambiental Evidente;
- OSA: Segurança/Ambiental Oculta;
- EEO: Operacional/Econômico Evidente, e;
- OEO: Operacional/Econômico Oculta.

O Quadro 7 apresenta a categorização dos modos de falhas com base nos quatro grupos.

**Quadro 7 – Categorias das funções significantes**

Componente	Modo de Falha	Evidente	Segurança /Ambiental	Operacional /Econômico	Categoria
Motor elétrico	Aquecimento do motor	x	-	x	EEO
	Ruído	x	x	-	ESA
Correia	Rompimento	x	-	x	EEO
Rolamento	Aquecimento	-	-	x	OEO
Eixo	Diminuição da rotação	-	-	x	OEO
	Rompimento do eixo	x	-	x	EEO
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	x	-	x	EEO

Fonte: Autores (2021)

## 2.8 O que deve ser feito se não for encontrada uma tarefa proativa apropriada



Na etapa de aplicabilidade do MCC, são definidas as ações de inspeção para tomada de decisão, com o intuito de prevenir e corrigir os modos de falha, e diminuição das consequências e impactos das paradas causadas por esses modos de falha, para o MCC é necessário que a manutenção atenda a pelo menos um dos critérios abaixo:

- Prevenir modos de falha;
- Reduzir a taxa de deterioração;
- Detectar a evolução de falhas;
- Descobrir falhas ocultas;
- Suprir necessidades e consumíveis do processo;
- Reparar o item após a falha.

As atividades de manutenção da MCC são apresentadas de forma sequencial, considerando as primeiras como obrigatórias e de menor custo, seguidas de atividades mais dispendiosas. (SIQUEIRA, 2009).

Assim as atividades de manutenção são: Serviço Operacional - SO: Deve reduzir a taxa de deterioração funcional e ser especificada no projeto; Inspeção Preditiva - IP: Deve ser possível a identificação da evolução de falhas e defeitos em operação; Inspeção Funcional - IF: Deve ser possível identificar ou prever uma deterioração funcional oculta por teste, antes da falha múltipla; Restauração Preventiva - RP: Item deve mostrar degradação a uma idade identificável, uma proporção alta deve sobreviver àquela idade, e deve ser possível restaurá-lo a um padrão especificado; Substituição Preventiva - SP: O item deve mostrar degradação a uma idade identificável, uma proporção alta deve sobreviver àquela idade, e ser inviável sua Restauração; Reparo Funcional - RF: Nenhum item anterior consegue prevenir a falha, que não oferece risco à segurança; Mudança de Projeto - MP: Nenhum item anterior, isoladamente ou em conjunto, consegue identificar/corrigir a falha e Manutenção Combinada - MC: Nenhum item anterior isoladamente consegue identificar/corrigir a falha. Definida a severidade dos modos de falha, o setor de manutenção inicia o planejamento e tipo de manutenção aplicáveis a cada componente.

O Quadro 8 apresenta o planejamento de atividades de manutenção e inspeção para cada componente, indicando os tipos de atividades, e a frequência mais adequada.

**Quadro 8 – Planejamento de atividades de manutenção**

Componente	Modo de Falha	Categoria	Atividades								Tipo de inspeção	Frequência	
			SO	IP	IF	RP	SP	RF	MP	MC			
Motor elétrico	Aquecimento do motor	EEO	x			x	x					Inspeção visual, análise vibração e tensão da corrente.	Diária
	Ruído	ESA	x	x	x							Inspeção termográfica	Diária
Correia	Rompimento	EEO	x			x	x					Inspeção visual e análise de vibração	Semanal
Rolamento	Aquecimento	OEO	x	x	x							Inspeção visual, temperatura, e lubrificação	Semanal
Eixo	Diminuição da rotação	OEO	x			x						Inspeção visual	Semanal
	Rompimento do eixo	EEO				x						Inspeção visual	Semanal
Mancal de deslizamento	Travamento do mancal	EEO				x						Inspeção visual e lubrificação	Semanal

Fonte: Autores (2021)

Para determinar a periodicidade de inspeção foi necessário fazer o levantamento do histórico de falhas, para os itens em que não foi possível identificar a periodicidade, foi utilizado o conhecimento dos mantenedores. De acordo com Zaions (2003), o fato de não dispor de registros históricos de falhas que permitam definir a periodicidade de atividades de manutenção, autoriza como única saída a determinação dessas atividades através do conhecimento empírico dos mantenedores e técnicos especialistas, e que pode ser reavaliado a qualquer momento que a equipe julgar necessário.

A empresa já possuía sistema de acompanhamento das falhas, no entanto, não havia conhecimento profundo das falhas nem planejamento ou estratégias para redução das mesmas, através do conhecimento empírico de técnicos de manutenção e operadores foi possível avaliar as possíveis causas das falhas e determinar as atividades de manutenção, métodos de inspeção e frequência.

### 3 Análise dos resultados

Este trabalho apresentou o passo a passo para aplicação da MCC em um moinho de martelo para processamento de caixas plásticas, a avaliação ocorreu no período de seis meses e a coleta de resultados durante quatro meses, e segue sendo acompanhada para fins de verificação.

Com relação às horas paradas antes da implementação do método, o tempo médio de parada mensal por falhas era de 55 horas, após a implantação do sistema de gestão o tempo médio mensal de paradas passou a ser de 21 horas, uma redução significativa de mais de 60% do tempo indisponível do equipamento.

Os cálculos dos custos com manutenção antes e depois da MCC, foram executados considerando o custo global por horas paradas, esse custo é composto por custo de mão obra parada + custo mão de obra mecânica + custo por hora sem processamento de matéria-prima. Para o custo da hora parada foi considerado o valor de \$60,50, os demais itens consideraram o custo médio unitário, com base nessas informações foi montada a tabela 1 para comparação destes custos.

**Tabela 1 – comparativo custos com falhas antes de depois do MCC**

<b>Componente</b>	<b>Custo médio mensal antes do MCC</b>	<b>Custo médio mensal depois do MCC</b>
Máquina parada	3.327,50	1.270,50
Motor elétrico	750,00	210,00
Correia	500,50	71,50
Rolamento	186,00	62,00
<b>TOTAL</b>	<b>4.764,00</b>	<b>1.614,00</b>

Fonte: Autores (2021)

A tabela 1 apresenta uma redução de mais três mil reais dos custos de manutenção após a implementação do MCC no moinho martelo, em termos percentuais os valores reduziram em torno de 66% os custos, foram considerados para essa redução o número de paradas nos três principais componentes em que ocorriam falhas no moinho de martelo, somada a redução de perdas diretamente associada à falta de disponibilidade do equipamento no item máquina parada, esses valores refletem também, menos paradas e trocas de peças de reposição, possibilitando assim a utilização dessas peças em uso pleno por maior tempo, aumentando a vida útil das peças de reposição.

### 4. Considerações finais

A Manutenção Centrada na Confiabilidade mostrou-se um método bastante eficiente e focado na confiabilidade dos sistemas, melhorando a produtividade e reduzindo os custos

e tempo por parada em mais de sessenta por cento, tornando-se assim uma ferramenta fundamental e estratégica para organizações industriais.

Vale salientar que a competitividade exige cada vez maior redução de custos, e para alcançar uma boa margem de lucro, que nesse segmento é bastante estreita, essa organização necessita de maior eficiência através do aumento de disponibilidade de seus equipamentos e redução de custos em todos os processos.

O estudo foi bastante relevante para essa indústria, uma vez que trouxe significativa redução de custos e aumento da disponibilidade do equipamento e por consequência aumento de produção, fatores estes decisivos para competitividade no setor.

Apesar do baixo custo, muitas horas são dedicadas para implementação, o apoio e participação de todos os envolvidos do processo produtivo e do setor de manutenção foram fundamentais, analisar cada falha, ouvir a opinião e experiência de todos os atores do processo trouxe grande diferencial e velocidade de implementação.

É importante destacar que o processo requer tempo e dedicação, que não podem ser puladas etapas, nem tão pouco sair aplicando o método em qualquer equipamento, é necessário avaliar quais equipamentos são mais críticos seguindo as orientações da literatura, os processos podem ser revisados e melhorados a qualquer tempo e de acordo com a necessidade da organização. Dado o resultado do processo, a organização estuda a replicação da metodologia em outros equipamentos críticos.

## Referências

AMARAL, B. F. (2017) **Manutenção centrada em confiabilidade: estudo de caso da implementação da ferramenta MCC pela Transpetro**. Trabalho de Conclusão de Curso, Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Marinha do Brasil, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

AZIZ, A., AHMED, S., KHAN, F., STACK, C., LIND, A. **Operational risk assessment model for marine vessels**. Reliability Engineering & System Safety, v. 185, p. 348-361, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.01.002>.

BENINI, L., SANTOS, A., **Utilização da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em embaladora à vácuo de alimentos**, The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCEC, Vol. 07 N. 02. journal homepage: <https://periodicos.ufv.br/ojs/jcec> ISSN: 2527-1075, 2021.

CERVEIRA, D. S. & SELLITTO, M. A. (2015). **Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução**. Revista Produção Online, (2), 405-432. doi: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v15i2.1615>.

DIAS, A. et al. **Metodologia para análise de risco: Mitigação de perda de SF6 em disjuntores**. Florianópolis, Nova Letra Gráfica & Editora, 2011.

GANDHARE, B. S.; AKARTE, M. M.; PATIL, P. P. **Maintenance performance measurement—a case of the sugar industry**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 24, n. 1, p. 79-100, 2018. <https://doi.org/10.1108/JQME-07-2016-0031>

MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF, **Maintenance Engineering Handbook**. 7ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MOREIRA NETO, L. S.; TAVARES, D. M. L.. **Aplicabilidade da mcc em uma empresa de mineração**. In ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 35, 2015, Fortaleza. Anais[...]Fortaleza, 2015. [CE.]

- MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: second edition. 2<sup>a</sup>. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.
- ORTIZ A, Izquierdo H, Monroy CR (2013) **Gestão ambiental em pymes industriais**. *Interciencia* 38: 179-185.
- ROSA, S. C. F.; LEITÃO, J. O. M.; SILVA, A. L. E.; THIER, F. **Análise da Gestão da Manutenção em uma empresa de transformação de polímeros**. VIII CONBREPRO, Ponta Grossa, dez. 2018.
- ROSA, R. N. (2016) **Aplicação da manutenção centrada em confiabilidade em um processo da indústria automobilística**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
- RUSCHEL, E.; SANTOS, E. A. P.; LOURES, E. F. R.. **Industrial maintenance decision-making: A systematic literature review**. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 45, p. 180-194, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2017.09.003>.
- SELLITTO, Miguel Afonso. **Análise estratégica da manutenção de uma linha de fabricação metal-mecânica baseada em cálculos de confiabilidade de equipamentos**. *Revista GEPROS*, n. 2, p. 97, 2007.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação**. 1<sup>a</sup> (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Quality mark, 2009.
- SILVA, E. B. (2018). **Manutenção centrada em confiabilidade visando a competitividade em uma indústria moedora de grãos na região dos campos gerais**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal Tecnológica do Paraná, Ponta Grossa, PR, Brasil.
- ZATIONS, D. R. **Consolidação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel**. 2003. 219 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003.