

Implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) em uma indústria do ramo metalmeccânico¹

Implementation of Reliability Centered Maintenance (RCM) in a metalworking industry

Eduardo Zotti²
Júlio Cezar Paim Valandro³
Rafael Crespo Izquierdo⁴

Resumo

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma das principais técnicas utilizadas na busca de maiores níveis de confiabilidade dos equipamentos, o que reforça sua aplicação nas indústrias que requerem elevados níveis de produtividade. O presente trabalho propõe a aplicação da MCC, para identificar possíveis melhorias nos planos de manutenção da máquina Bengaleira 1. A metodologia proposta compreende as seguintes etapas: seleção do equipamento, por meio da análise dos dados de disponibilidade do sistema de gestão da empresa; definição dos modos potenciais de falhas, através da Análise dos Modos e Efeitos de Falha (AMEF); adequação dos planos de manutenção existentes; e, por fim, aplicação do indicador de disponibilidade para analisar a eficácia do método proposto. Os resultados obtidos mostram que a aplicação da MCC possibilitou gerar novas ações ao plano de manutenção existente da Bengaleira 1, uma vez que a disponibilidade aumentou, em média, 15,16%, após a implantação do método.

Palavras-chave: manutenção; confiabilidade; disponibilidade.

Abstract

Reliability Centered Maintenance (RCM) is one of the main techniques used in the search for higher levels of equipment reliability, which reinforces its application in industries that require high levels of productivity. The present work proposes the application of the RCM to identify possible improvements in the maintenance plans of the Bengaleira 1 machine. The proposed methodology comprises the following steps: equipment selection, through the analysis of the availability data of the company's management system; definition of potential failure modes through the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA); adequacy of existing maintenance plans; and, finally, application of the availability indicator to analyze the effectiveness of the proposed method. The results obtained show that the application of the RCM made it possible to generate new actions to the existing Bengaleira 1 maintenance plan, since the availability increased, on average, 15,16% after the implementation of the method.

Keywords: maintenance; reliability; availability.

¹ Trabalho de conclusão de Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Taquari (UNIVATES), Lajeado, RS, Brasil, sob orientação do Dr. Rafael Crespo Izquierdo.

² Bacharel em Engenharia Mecânica pela UNIVATES. Instrutor de aprendizagem industrial na Agraz, Encantado, RS. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3882-9058>. E-mail: duduzotti@gmail.com

³ Graduando em Engenharia Mecânica na UNIVATES. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9377-9428>. E-mail: juliovalandro@universo.univates.br

⁴ Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS. Professor da UNIVATES. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6917-2503>. E-mail: rcrespo9@hotmail.com

Artigo recebido em 20.09.2022 e aceito em 27.02.2023.



1 Introdução

Nos dias atuais, a busca pelo desenvolvimento de processos que promovam elevados índices de produtividade é essencial para que as indústrias possam se manter competitivas no mercado nacional ou internacional. Inúmeras são as abordagens utilizadas para elevar a produtividade nas indústrias, como, por exemplo, a gestão dos custos, a análise das perdas do processo, a otimização dos processos produtivos, entre outras. Nessa perspectiva, Viana (2014) ressalta que reduzir as perdas relacionadas à manutenção pode ser uma alternativa para se obter maiores níveis de eficiência, visto que existem diversas abordagens que buscam um maior aproveitamento dos equipamentos com o menor custo de manutenção.

Segundo Kardec e Nascif (2013), a gestão da manutenção necessita estar alinhada aos pilares estratégicos da empresa. Quer dizer, deve-se deixar de fazer apenas reparos, quando os equipamentos falham; antes, deve-se procurar alternativas que eliminem as paradas não programadas. Ainda, segundo os autores, existem técnicas que são empregadas para organizar as atividades de manutenção e para eliminar as perdas associadas ao desempenho das máquinas, como o Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC), a Análise de Modos e Efeitos de Falha (AMEF), a Manutenção Produtiva Total (MPT).

A confiabilidade é um conceito, que tem ganhado cada vez mais importância na área de manutenção, uma vez que se trata de um indicativo de que os equipamentos estão operando de forma adequada, sem a ocorrência de quebras ou falhas, tanto no seu funcionamento quanto nos produtos produzidos (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). A MCC é uma das principais metodologias utilizadas para se obter confiabilidade e segurança operacional dos equipamentos, tendo como objetivo estabelecer técnicas de manutenção mais adequadas por meio de uma estruturação sistemática.

Há na literatura especializada diversas aplicações da MCC na indústria. Selvik e Aven (2011) sugerem uma extensão da metodologia MCC, considerando os riscos como referência para análise. Os autores apresentam um Estudo de Caso em uma indústria *offshore* de petróleo e gás. Nascimento (2014) utilizou a MCC para elaborar e aplicar um plano de manutenção em uma indústria de bebidas. Um aspecto importante levantado pelo autor é que a MCC permitiu identificar com precisão os conjuntos e subconjuntos que têm maior impacto na confiabilidade do equipamento

estudado. Cerveira e Sellitto (2015) avaliaram que a melhor estratégia de manutenção, para um forno elétrico à indução, instalado em uma fundição de aços especiais, é a preventiva. A metodologia proposta consistiu na implementação da MCC e nas análises quantitativas de confiabilidade, mantenedibilidade e disponibilidade. Mendonça, Chun e Rocha (2017) aplicaram mapas cognitivos, baseados na lógica *Fuzzy*, para auxiliar no processo de gestão da manutenção de motores elétricos, utilizando os princípios da MCC. Cervo (2018) elaborou um plano de manutenção por meio da MCC, para bombas industriais da empresa Braskem S.A. Fernandes, Matsuoka e Costa (2018) desenvolveram um sistema de gestão da qualidade, baseada na MCC e na AMEF, para analisar as falhas comuns em edificações, visando reduzir o tempo e, conseqüentemente, os custos globais com serviços de recuperação nas edificações. Silva (2018) sugeriu um conjunto de tarefas para compor o plano de manutenção preventiva de um sistema de ar-condicionado de uma pá carregadeira, através da MCC. O autor nesse estudo também utilizou a Análise dos Modos de Falha e Criticidade (FMECA). Afzali, Keynia e Rashidinejad (2019) apresentam um novo modelo de índice de confiabilidade de importância ponderada (WI), com o intuito de priorizar os elementos do sistema de distribuição que foram aplicados na MCC. Arlindo e Piratelli (2019) avaliaram a efetividade do plano de manutenção preventiva de um equipamento, em uma empresa do ramo de transmissão de energia elétrica, por meio de uma modelagem estatística, baseada na MCC. Os autores analisaram a efetividade da atual estratégia de manutenção, aplicando indicadores de manutenção e técnicas de confiabilidade. Belinelli *et al.* (2019) apresentaram as etapas para a implantação da MCC no sistema de refrigeração de uma empresa química produtora de resinas. Os autores estruturaram quatro tipos de planos de manutenção com base nos 48 modos de falha identificados. Boeira (2022) analisou as falhas das pás carregadeiras, utilizando a MCC, gerando um *check list*, para o controle e sugestão de futuras melhorias nos planos de manutenção, se necessário. Moreira *et al.* (2019) aplicaram a MCC em um Estudo de Caso numa indústria de Rejuntes e Argamassas. O objetivo dos autores foi analisar a contribuição da MCC no planejamento da gestão estratégica da manutenção. Meneghini e Zaions (2019) apresentaram uma proposta de implementação da MCC em uma máquina de embalagem de presunto. Almeida (2021) propôs um conjunto de técnicas, para a manutenção de um sistema hidráulico, aplicando a

MCC. Após a implementação do método, foi proposto um modelo esquemático para a aplicação de tarefas de manutenções do sistema analisado. Benini e Santos (2021) aplicaram a MCC em embaladoras de vácuo utilizadas no setor alimentício. Os autores obtiveram uma redução de 55% dos custos de manutenção. Lu *et al.* (2021) apresentaram uma abordagem, considerando a distribuição de uma carga de trabalho pré-definida, para um conjunto de máquinas disponíveis no estudo da MCC. Os autores buscaram otimizar a utilização geral da máquina, minimizando o custo total, causado pela manutenção e atraso no trabalho. As técnicas de otimização foram implementadas com algoritmos meta-heurísticos. Costa (2022) analisou a influência da abordagem teórica da MCC na melhoria da confiabilidade dos ativos do departamento de manutenção de uma empresa siderúrgica. Em seu estudo, foi desenvolvido um questionário, para aferir a política de manutenção da empresa, possibilitando analisar e discutir possíveis resultados por meio da aplicação teórica do método. Envajimadar e Rastegar (2022) apresentaram uma estratégia de otimização, baseada na energia não fornecida do alimentador da distribuição elétrica, no custo de manutenção, no custo de interrupção, no custo de segurança e no fator de risco dos modos de falha, os quais foram determinados por meio de um método de tomada de decisão multicritério. Os autores sugerem a metodologia proposta no artigo para futuras implantações da MCC.

Os trabalhos, acima mencionados, evidenciam que a MCC pode ser aplicada nos equipamentos dos mais diferentes tipos de segmentos, como, por exemplo, motores elétricos, sistemas de distribuição de energia, equipamentos utilizados na construção civil, máquinas do ramo siderúrgico, alimentício, entre outros. Um dos aspectos que reforçam a importância da MCC é que, há décadas, a aplicação dessa metodologia vem mostrando benefícios significativos em relação à disponibilidade dos equipamentos e, conseqüentemente, aos custos de manutenção dentro das empresas.

Existem diversas abordagens nas quais a MCC é explorada na literatura. Muitas pesquisas buscam desenvolver planos de manutenção e identificar possíveis falhas nos processos, com o intuito de aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos. Além disso, estudos recentes vêm aplicando métodos específicos (técnicas de otimização, modelagem estatística, técnicas baseadas em confiabilidade etc.), para estabelecer a melhor estratégia de manutenção, considerada uma das principais etapas da MCC ou para fornecer informações quanto aos custos, fatores

de riscos dos modos de falha, segurança, carga de trabalho, entre outros, visando ganhos maiores na aplicação da MCC.

O presente trabalho visa implementar a MCC, para aumentar a confiabilidade de um equipamento dentro de uma indústria do ramo metalmeccânico, sugerindo melhorias para os planos de manutenção preventiva existentes; ademais, propõe um plano de inspeção. As principais contribuições deste artigo se sustentam na apresentação para o leitor de um breve detalhamento das etapas utilizadas para a alteração dos planos de manutenção preventiva e para a criação de um plano de inspeção, levando em consideração as funções e, conseqüentemente, os respectivos modos de falha dos componentes do equipamento em estudo. Os setores de engenharia e de operação da empresa estudada foram responsáveis pela identificação dos modos de falha, por meio de uma análise criteriosa de cada função do equipamento, com base nas tarefas utilizadas nos planos de manutenção já existentes. Além disso, os colaboradores da MCC estabeleceram as melhores ações e prazos para a execução das tarefas, através de um *brainstorming*, o qual foi posteriormente aplicado ao método da Árvore de Decisão e no Diagrama de Tarefas. Outra contribuição deste trabalho consiste no cadastro das informações, obtidas durante e após a implementação da MCC, junto ao setor de Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) da empresa em estudo. Essa contribuição é importante porque uma das principais dificuldades encontradas na implementação da MCC é ter um banco de dados confiável, com informações pertinentes e objetivas dos equipamentos, de seu histórico de falha e dos dados de manutenção, advindos da equipe, após a execução das tarefas. Espera-se que leitor possa se basear nessas etapas para implementar a MCC e cadastrar os dados necessários para os casos que requerem atualizações nos planos de manutenção.

As etapas abordadas na aplicação da MCC consistem na seleção das pessoas envolvidas no estudo e do equipamento, no mapeamento dos modos e efeito das falhas por meio da AMEF e, por fim, na definição das tarefas de manutenção. A análise dos resultados e a verificação da efetividade do método também é apresentada. A empresa, onde o estudo foi realizado, atua na área de fabricação de trocadores de calor aletados.

2 Revisão bibliográfica

Autores como Fogliatto e Ribeiro (2009), Kardec e Nascif (2013) e Viana (2014) explicam que a MCC começou a ser implementada de forma efetiva nos

anos 70, para solucionar problemas que envolviam os setores de aviação. Eles destacam ainda que a MCC é uma metodologia que permite determinar os requisitos de manutenção que vão garantir que os equipamentos de uma indústria operem, conforme as especificações de suas funções.

Segundo Moubray (1997), há uma série de benefícios que podem ser obtidos com a implantação da MCC, como, por exemplo, reduzir a quantidade de manutenções de rotina, agilizar as análises de falha e reduzir as revisões em caso de paradas de máquina. Para Meneghini e Zaions (2019), a metodologia da MCC caracteriza-se por: (I) preservar as funções dos itens; (II) identificar os modos de falha que podem interferir nas funções; (III) priorizar a função do equipamento; e (IV) estabelecer as tarefas aplicáveis e eficazes ao sistema. As principais etapas para a implementação da MCC são apresentadas no quadro 1.

Quadro 1 – Etapas para implantação da MCC

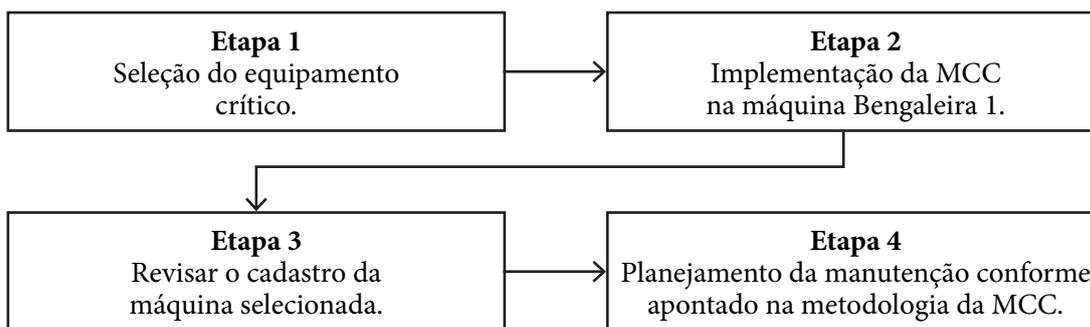
Etapas	Descrição das atividades
I.	Seleção do sistema ecoleta de informações.
II.	Análise dos modos de falhas e efeitos.
III.	Seleção das funções significantes.
IV.	Seleção de atividades aplicáveis.
V.	Avaliação da efetividade das atividades.
VI.	Seleção das tarefas aplicáveis e efetivas.
VII.	Definição da periodicidade das atividades.

Fonte: Os autores (2022), com base em Almeida (2014).

3 Metodologia

A metodologia proposta para a implementação da MCC baseia-se nas abordagens de Smith e Hinchcliffe (2004), seguindo as etapas apresentadas na figura 1.

Figura 1 – Implementação da MCC na empresa em estudo



Fonte: Os autores (2022).

3.1 Seleção do equipamento crítico

Com o auxílio do sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) utilizado na empresa em estudo, foram gerados relatórios diários para analisar os indicadores de manutenção. Os dados obtidos pelo sistema foram: o tempo da jornada de trabalho, o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), o Tempo Médio Para Reparo (TMPR) e a disponibilidade de todos os equipamentos da empresa. A seleção do equipamento crítico do processo foi realizada, tendo como base o período de um ano de trabalho em turno integral. A tabela 1 apresenta os dados dos indicadores de manutenção analisados.

Como se observa na tabela 1, as máquinas “Batedor de curvas” e “Bengaleira 1” apresentam menor disponibilidade, em relação aos demais equipamentos da empresa. A escolha do equipamento em análise, neste trabalho, foi feita, considerando-se o impacto no processo produtivo no caso

de possíveis paradas não programadas.

Analisando as informações do sistema ERP e as demandas de produção da empresa, junto ao setor de Planejamento e Controle da Produção (PCP), verificou-se que a máquina Bengaleira 1 tem maior relevância que a máquina batedor de curvas pelo fato de se tratar de uma máquina gargalo no processo motivou o estudo na máquina Bengaleira 1. A figura 2 ilustra a máquina Bengaleira 1.

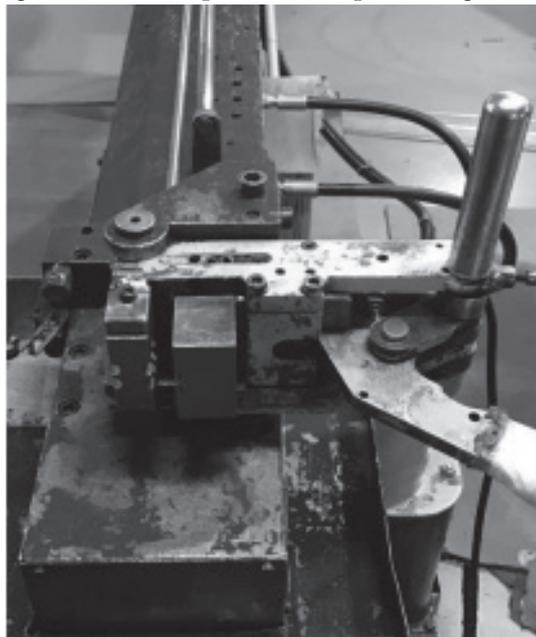
A Bengaleira 1 é uma máquina desenvolvida internamente pela empresa em estudo com a finalidade de conformar tubos de cobre que são aplicados em equipamentos de refrigeração. Seus principais componentes são: o sistema de mordente (A), que é responsável pela fixação do tubo; o sistema de giro (B) e o sistema hidráulico (C), os quais realizam a movimentação do tubo, reduzindo os esforços por parte do operador. Tais componentes são ilustrados na figura 3.

Tabela 1 – Indicadores de manutenção das máquinas

Cód. Máquina	Nome da Máquina	Qtde OS	Tempo em Manutenção (h)	Tempo de Jornada (h)	TMEF (h)	TMPR (h)	DISP
1	SOLDA MIG (2) ESAB	3	2:53:55	2610:00:00	869:02:01	0:57:58	99,89%
2	CORTA SUPORTE 1	2	2:02:11	2610:00:00	1303:58:54	1:01:05	99,92%
4	ESMERIL 1 (3)	4	13:47:48	2610:00:00	649:03:03	3:26:57	99,47%
5	ESMERIL 2 (83)	1	0:00:00	2610:00:00	2610:00:00	0:00:00	100,00%
6	FURADEIRA DE BANCADA 1 (5)	1	0:00:00	2610:00:00	2610:00:00	0:00:00	100,00%
7	FURADEIRA DE BANCADA 2 (40)	1	0:00:00	2610:00:00	2610:00:00	0:00:00	100,00%
8	FURADEIRA DE BANCADA 3 (81)	1	0:00:00	2610:00:00	2610:00:00	0:00:00	100,00%
9	FURADEIRA DE BANCADA 4 (82)	4	1:44:51	2610:00:00	652:56:12	0:26:12	99,93%
10	PRENSA EXCENTRICA 4 (49)	1	44:43:21	2610:00:00	2565:16:39	44:43:21	98,29%
11	PRENSA EXCENTRICA 22t	3	31:01:32	2610:00:00	859:39:29	10:20:30	98,81%
12	PRENSA EXCENTRICA 8 t	2	36:02:38	2610:00:00	1286:58:41	18:01:19	98,62%
14	EMBALADORA PLASTICA (8)	3	8:21:09	2610:00:00	867:12:57	2:47:03	99,68%
15	LACRADORA DE EMBALAGEM (9)	2	8:14:13	2610:00:00	1300:52:53	4:07:06	99,68%
18	RETIFICA PLANA	1	3:21:28	2610:00:00	2606:38:32	3:21:28	99,87%
19	FECHA COLETORES	8	201:12:43	2610:00:00	301:05:54	25:09:05	92,29%
20	TORNO	1	2:51:20	2610:00:00	2607:08:40	2:51:20	99,89%
21	SERRA CORTE COBRE	3	25:43:36	2610:00:00	861:25:28	8:34:32	99,01%
22	POLICORTE 3	3	11:17:32	2610:00:00	866:14:09	3:45:50	99,57%
23	SERRA MESA 1	26	1126:57:55	2610:00:00	57:02:23	43:20:41	56,82%
24	POLICORTE ORBITAL 2	16	800:01:45	2610:00:00	113:07:23	50:00:06	69,35%
25	BATEDOR DE CURVAS	8	1712:45:05	2610:00:00	112:09:21	214:05:38	34,38%
26	CORTE COBRE AUTOMATICA	34	474:34:19	2610:00:00	62:48:24	13:57:28	81,82%
27	CORTE TUBO COBRE 1/2	7	72:20:05	2610:00:00	362:31:25	10:20:00	97,23%
28	SERRA TUBO	42	288:59:19	2610:00:00	55:15:43	6:52:50	88,93%
29	MOTOR ABRE E FECHA TUBO 1	3	9:09:52	2610:00:00	866:56:42	3:03:17	99,65%
30	MOTOR ABRE E FECHA TUBO 2	1	19:46:03	2610:00:00	2590:13:57	19:46:03	99,24%
31	BENGALEIRA 1	42	1237:40:03	2610:00:00	32:40:28	29:28:05	52,58%
32	BENGALEIRA 2	18	694:09:20	2610:00:00	106:26:08	38:33:51	73,40%
33	BENGALEIRA 3	20	445:42:15	2610:00:00	108:12:53	22:17:06	82,92%
34	BENGALEIRA 4	6	894:01:57	2610:00:00	285:59:40	149:00:19	65,75%
35	BENGALEIRA 5	15	203:46:19	2610:00:00	160:24:54	13:35:05	92,19%
36	BENGALEIRA 6	3	94:06:33	2610:00:00	838:37:49	31:22:11	96,39%
38	BENGALEIRA 7	16	245:31:46	2610:00:00	147:46:45	15:20:44	90,59%
39	BENGALEIRA 8	3	1:47:05	2610:00:00	869:24:18	0:35:41	99,93%
40	BENGALEIRA 9	5	214:21:18	2610:00:00	479:07:44	42:52:15	91,79%
41	BENGALEIRA 10	3	23:50:11	2610:00:00	862:03:16	7:56:43	99,09%

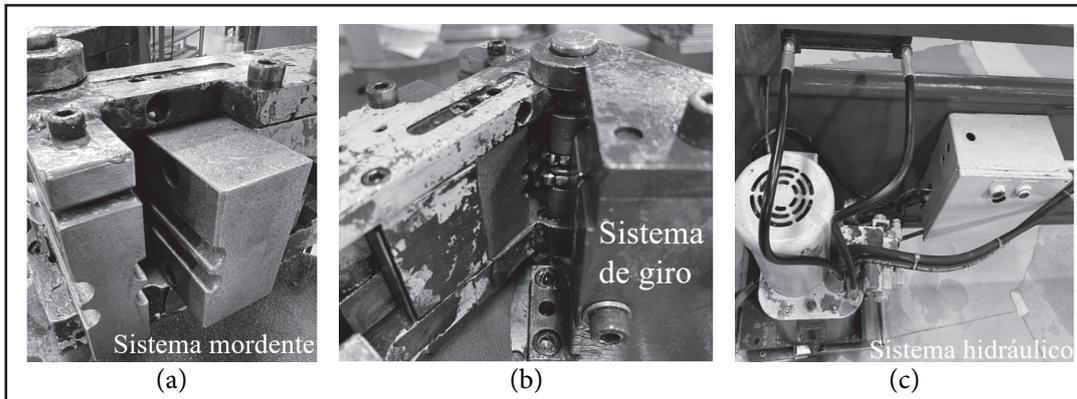
Fonte: Os autores (2022).

Figura 2 – Vista superior da máquina Bengaleira 1



Fonte: Os autores (2022).

Figura 3 – Principais componentes da máquina Bengaleira 1, sendo a: sistema de mordente; b: sistema de giro; c: sistema hidráulico



Fonte: Os autores (2022).

3.2 Implementação da MCC na máquina Bengaleira 1

A primeira etapa para a implementação da MCC consistiu na definição da equipe de trabalho e na seleção do sistema, por meio de coleta de informações. Todos os participantes foram escolhidos, em uma reunião, com a presença dos operadores, dos líderes de setor, dos manutentores, dos gestores de produção e dos funcionários da engenharia. A equipe recebeu um treinamento sobre a metodologia proposta e as responsabilidades de cada integrante.

Após a equipe definir todas as funções da Bengaleira 1, iniciou-se o levantamento dos modos potenciais de falhas e de suas respectivas causas e consequências. Tais informações foram aplicadas à tabela da AMEF, possibilitando estabelecer o risco resultante antes e depois da definição das atividades de manutenção com a metodologia da MCC. A tabela 2 apresenta a AMEF, referente à função dobrar tubos de cobre. Maiores informações sobre a implementação da AMEF para as demais funções podem ser encontradas em Zotti (2022).

Tabela 2 – Análise da AMEF na Bengaleira 1

Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha									
Empresa:		Departamento:		Bengalas		Data inicial: 12/04/2021			
Nº documento: 002		Coordenador:				Data final:			
Item: Bengaleira 1		Participantes:				Revisão: 00			
Item/Função ou Operação/Propósito	Modos potenciais de falha	Efeitos potenciais de falha	Severidade (S)	Causas/Mecanismos potenciais de falha	Ocorrência (O)	Deteção (D)	Risco (R)	Ações recomendadas	Risco resultante
Dobrar tubos de cobre	Escapa tubo	Altera medidas de conformação	10	Desgaste do miolo e mordente (conjunto)	9	3	270	Jateamento e tratamento térmico	90
Dobrar tubos de cobre	Material 0.30mm	Enruga (Eluma)	10	n/d	9	3	270	n/d	0
Dobrar tubos de cobre	Escapa tubo	Altera medidas de conformação	10	Baixa pressão de alavanca	7	3	210	Regulagem da alavanca	40
Dobrar tubos de cobre	Material 0.30mm	Rachadura (Eluma)	10	n/d	2	9	180	n/d	0
Dobrar tubos de cobre	Escapa tubo	Altera medidas de conformação	10	Parafuso solto	5	3	150	Reaperto do parafuso	60
Dobrar tubos de cobre	Clima	Movimentação do "braço"	4	Temperatura elevada do óleo	4	9	144	Revisão geral da máquina	20

Fonte: Os autores (2022).

Como pode ser visto na tabela 2, dois modos de falha foram classificados com a maior pontuação. Isso ocorre porque ambos os modos de falha apresentaram maior criticidade na análise das atividades de manutenção para eliminar as causas de suas falhas. Os demais modos de falha foram priorizados de acordo com os valores de risco calculados. Essas informações foram compiladas em uma planilha para identificação das falhas mais críticas da Bengaleira 1, possibilitando

a proposição de melhorias nas atividades e nos prazos dos planos de manutenção existentes.

As análises dos planos de manutenção foram realizadas pelas equipes de manutenção, de operação e do setor de engenharia. As principais melhorias identificadas nos planos de manutenção da Bengaleira 1 foram determinadas, aplicando-se o método da Árvore de Decisão e no Diagrama de Tarefas, conforme se observa no quadro 2.

Quadro 2 – Seleção de tarefas da máquina

Falha funcional	Modo de falha	Evidente	Acidente	Impacto Ambiental	Especificação do Produto	Custo de Reparo	Tarefa	
							Atividade	Frequência
Altera medidas de conformação	Desgaste miolo e mordente	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Cada 45 dias
Enruga tubo	n/d	Sim	Não	Não	Sim	Não	Não	n/d
Altera medidas de conformação	Baixa pressão da alavanca	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	30 dias
Rachadura (Eluma)	n/d	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	n/d
Altera medidas de conformação	Parafuso solto	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	30 dias
Movimentação do braço	Temperatura elevada do óleo	Não	Sim	Não	Não	Sim	Não	n/d

Fonte: Os autores (2022), com base em Smith (1992).

As atividades de manutenção e seus respectivos prazos de execução foram estabelecidos, através da análise das consequências de cada falha funcional como, por exemplo, a evidência para identificar uma falha, a possibilidade de acidente, o impacto ambiental, a especificação do produto, as perdas de produção e o custo de reparo. É importante ressaltar que as frequências para a realização das tarefas foram definidas por meio de informações dos fabricantes e de orientações dos funcionários mais experientes que participaram da implantação da MCC. Quanto às tarefas que não obtiveram atividades ou frequências

determinadas, destaca-se que ambos os casos são situações em que um determinado material necessita de alguma informação específica de seu fabricante, para que se possa definir o serviço e o prazo adequado.

Após a definição das tarefas de manutenção que devem ser atualizadas nos planos de manutenção, a próxima etapa foi cadastrar as informações no sistema ERP da empresa. A figura 4 apresenta, em detalhes, um exemplo de cadastro de uma tarefa de manutenção proposta no sistema ERP da empresa em estudo, gerando a primeira atualização no plano de manutenção preventiva da Bengaleira 1.

Figura 4 – Tarefa de manutenção atualizada no cadastro da máquina

Fonte: Os autores (2022).

Os procedimentos apresentados para o preenchimento da planilha da AMEF e para a atualização dos planos de manutenção foram realizados somente para uma das funções críticas da Bengaleira 1, visto que o objetivo deste artigo é apresentar o método proposto para melhorar o desempenho da Bengaleira 1, através de melhorias nos planos de manutenção. Maiores informações sobre a implementação da MCC e das atividades propostas, para complementar os planos de manutenção existentes, são abordadas em Zotti (2022).

3.3 Revisão do cadastro da máquina Bengaleira 1

Esta seção tem como finalidade mostrar o

processo de cadastro das atividades estabelecidas, por meio da MCC, nos planos de manutenção já existentes no sistema ERP da empresa. As informações que foram revisadas e atualizadas no sistema consistem na atualização das atividades de manutenção, na finalidade do equipamento, nas necessidades específicas como, por exemplo, peças e outros componentes e nas características construtivas da Bengaleira 1. O cadastro das informações de forma padronizada possibilita obter uma informação assertiva para futuras consultas no caso de manutenções corretivas e preventivas. A figura 5 apresenta o exemplo de um cadastro atualizado no sistema.

Figura 5 – Informação do cadastro da máquina atualizado

The screenshot displays a software interface for machine registration. At the top, there is a toolbar with various icons and two buttons labeled 'Opções' and 'Ações'. Below the toolbar, the form is organized into several sections:

- Header Fields:** 'Código' (31), 'Nome da Máquina*' (BENGALÉIRA 1), 'Abreviatura' (BENG01), 'Cód. Processo Produtivo*' (12), and 'Nome do Processo Produtivo' (DOBRA TUBO).
- Operational Fields:** 'Horas/Mês' (149,60), 'Ativo*' (Sim), and 'Ocupação p/Máquina p/Hora*' (Sim).
- Grouping Fields:** 'Cód. Grupo de Máquina*' (17), 'Nome do Grupo de Máquinas' (CONFORMACAO BENGALA), 'Data Inicial Custo', and 'Data Final Custo'.
- Observações Técnicas:** A text area containing the following text: 'MAQUINA PARA DOBRAR TUBOS DE COBRE Ø3/8"', 'EQUIPAMENTO CONSTRUÍDO INTERNAMENTE, NÃO TEM PROJETO.', and 'INFORMACAO ADICIONAL NO VINCULADOS 2.'

Fonte: Os autores (2022).

3.4 Planejamento da manutenção, conforme apontado na metodologia MCC

A etapa de planejamento da manutenção consistiu em inserir as frequências das atividades de manutenção, as quais foram estabelecidas no quadro 2 e cadastradas de acordo com o exemplo ilustrado na figura 4, no sistema ERP da empresa. As informações foram inseridas no sistema com base em um diagrama de tarefas para a Bengaleira 1, cujas informações são apresentadas no quadro 3.

As periodicidades estabelecidas permitiram programar as datas das ordens de serviço (OS) referentes às manutenções preventivas da Bengaleira 1. A figura 6 ilustra o exemplo de um cadastro feito para o planejamento das ordens de serviço da Bengaleira 1.

3.5 Implantação da rota de inspeção

Além das ações que foram implementadas nos planos de manutenção, como mencionadas nas seções anteriores, a Bengaleira 1 também apresentou falhas de natureza mecânica. Na tabela 2, por exemplo, é possível observar falhas que ocorrem por “baixa pressão da alavanca” e pela presença de um “parafuso solto”. Para solucionar falhas desse tipo, foram estabelecidas as tarefas de regulagens e de reaperto dos componentes. Por se tratar de atividades rotineiras e de execução simples, as quais ocorrem de maneira recorrente, foi proposta uma ordem de serviço específica para as rotas de inspeção mecânica. O quadro 4 apresenta o documento proposto para as rotas de inspeção mecânica na Bengaleira 1.

Quadro 3 – Diagrama de tarefas para Bengaleira 1

Componente	Falha funcional	Modo de falha	Tarefa	Frequência
Bengaleira 1	Altera medidas de conformação	Desgaste miolo e mordente	Jateamento e tratamento térmico	Cada 45 dias
Bengaleira 1	Enrruga tubo	n/d	n/d	n/d
Bengaleira 1	Altera medidas de conformação	Baixa pressão da alavanca	Regulagem da alavanca	30 dias
Bengaleira 1	Rachadura (Eluma)	n/d	n/d	n/d
Bengaleira 1	Altera medidas de conformação	Parafuso solto	Reaperto do parafuso	30 dias
Bengaleira 1	Movimentação do braço	Temperatura elevada do óleo	Revisão geral da máquina	n/d

Fonte: Os autores (2022), com base em Smith (1992).

Figura 6 – Planejamento das ordens de serviço

Gerar	Cód. Máquina	Máquina	Cód. tarefa man de manutenção	Descrição tarefa de manutenção	Data prevista	Hora prevista	Data última O.S.
<input checked="" type="checkbox"/>	31	BENGALEIRA 1	748	Preventiva Regulagem	01/06/2022	00:00:00	
<input type="checkbox"/>	31	BENGALEIRA 1	745	Preventiva Miolo e M	15/06/2022	00:00:00	
<input type="checkbox"/>	33	BENGALEIRA 3	747	Preventiva Miolo e M	30/06/2022	00:00:00	
<input type="checkbox"/>	182	CALANDRA DE ALETADO	524	VERIFICAR DOBRADEIRA	16/06/2022	17:04:16	13/10/2020
<input type="checkbox"/>	417	MAQUINA FRESADORA ROUTER	744	Revisão preventiva	01/06/2022	10:39:19	29/04/2022

Fonte: Os autores (2022).

Quadro 4 – Diagrama de tarefas para Bengaleira 1

INSPEÇÃO DE ROTA MECÂNICA

Área: Conformação de cobre Frequência: Mensal
 Sistema: Bengaleiras
 Data: 01/05/2022

Equipamento	TAG / COD	Fixação	Temperatura	Ruído	Vibração	Limpeza	Vedação	Condições gerais de integridade	Condutores elétricos	Iluminação	Lubrificação

Legenda: P - Equipamento Parado Ok - Situação Conforme (Sem Problemas)
 N - Situação Não Conforme (Problemática)

Executante: _____ Líder setor: _____

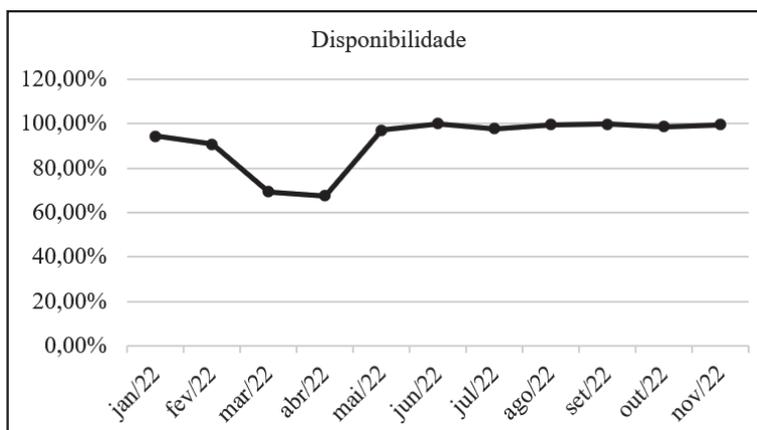
Fonte: Os autores (2022).

4 Resultados e discussões

O presente trabalho apresenta os resultados referentes à adequação dos planos de manutenção da Bengaleira 1, por meio da implantação da MCC. As principais contribuições deste trabalho consistiram na análise das falhas potenciais e, na atualização dos planos de manutenção já existentes do equipamento, no cadastro das tarefas, nas ordens de serviço de manutenção preventiva e no planejamento da

manutenção, de acordo com as ações estabelecidas com a MCC. O método proposto foi avaliado, analisando-se o indicador de disponibilidade, após a adequação dos planos de manutenção. A análise da disponibilidade foi realizada em um período que antecedeu e sucedeu a execução das ordens de serviço definidas pela MCC, totalizando um período de onze (11) meses para verificação da eficácia do método proposto. Os resultados de disponibilidade no ano de 2022 são apresentados na figura 7.

Figura 7 – Disponibilidade da Bengaleira 1 no período de análise

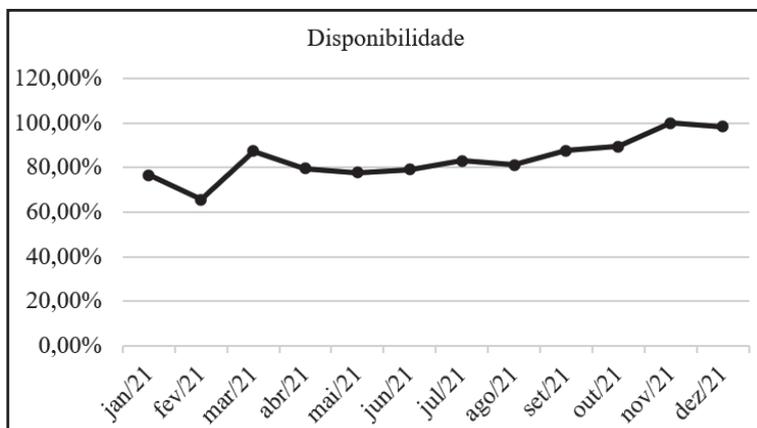


Fonte: Os autores (2022).

A disponibilidade da Bengaleira 1 apresentou uma queda significativa entre os meses de janeiro e abril de 2022. As informações obtidas, nesse período, referem-se ao desempenho do equipamento, sem considerar as adequações propostas nos planos de manutenção preventiva, as quais foram realizadas somente no mês de abril de 2022. A partir desse mês, como pode-se observar entre os meses de maio a novembro de 2022, houve um

aumento significativo de disponibilidade. Tais resultados sugerem que as melhorias propostas por meio da MCC resultaram no aumento do desempenho da Bengaleira 1, uma vez que a disponibilidade se manteve na faixa de 98% e 100% por um período superior a sete meses, fato que, por exemplo, não ocorreu em nenhum período do ano de 2021. A figura 8 apresenta os resultados de disponibilidade em 2021.

Figura 8 – Disponibilidade da Bengaleira 1 no ano de 2021



Fonte: Os autores (2022).

Os resultados, aqui apresentados, mostram que a disponibilidade da Bengaleira 1, no período de maio a novembro de 2022, aumentou 15,16% em relação à média do ano anterior. A média em 2021 foi de 83,74% e no período de maio a novembro de 2022 a média foi de 98,90%. Isso ocorre porque a disponibilidade no ano de 2021 apresentou um comportamento oscilatório e inferior aos resultados obtidos, após a implementação da MCC, como pode-se observar nas figuras 7 e 8. É importante ressaltar que os dados obtidos mostram um indicativo da efetividade dos planos de manutenção gerados, uma vez que os resultados de disponibilidade se mantiveram estáveis por um período superior ao intervalo das manutenções preventivas.

5 Conclusão

O presente trabalho apresentou uma proposta para a implantação da MCC com o intuito de propor melhorias nos planos de manutenção existentes para a máquina Bengaleira 1. O sistema ERP, utilizado na empresa em estudo, possibilitou identificar que a Bengaleira 1 apresentava menor disponibilidade física e, com uma análise junto ao PCM da empresa, auxiliou no gerenciamento das informações, para que se pudesse obter informações confiáveis, durante o desenvolvimento do estudo, além de garantir o cadastro das atividades propostas de forma sistemática e padronizada.

Quanto à implementação da MCC, conclui-se que havia atividades que poderiam ser acrescentadas nos planos de manutenção existentes na Bengaleira 1, as quais foram apresentadas na seção 3.2 e detalhadas em Zotti (2022). Os resultados obtidos com as alterações sugeridas nos planos de manutenção mostram que a disponibilidade da Bengaleira 1, no período de maio a novembro de 2022, aumentou em 15,16% em relação à média do ano de 2021.

Além das alterações sugeridas nos planos de manutenção preventiva, um roteiro de inspeção visual também foi proposto. O objetivo deste roteiro é realizar o acompanhamento e lubrificação dos equipamentos de forma rotineira. Esse tipo de inspeção, por mais simples que seja, acaba identificando um ponto que requer atenção, quando há um início de falha ou defeito.

Referências

AFZALI, P.; KEYNIA, F.; RASHIDINEJAD, M. A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. **Energy**, v. 171,

p. 701-709, 2019. DOI: 10.1016/j.energy.2019.01.040.

ALMEIDA, P. S. **Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada**. São Paulo: Érica, 2014. 256 p.

ALMEIDA, W. E. **Aplicação da metodologia manutenção centrada na confiabilidade no sistema hidráulico de um descarregador de vagões**. 2021. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2021.

ARLINDO, J. A. M.; PIRATELLI, C. L. Análise de estratégia de manutenção baseado em confiabilidade de equipamentos em uma empresa do ramo de transmissão de energia elétrica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 9., 2019, Ponta Grossa. **Anais [...]**. Ponta Grossa: APREPRO, 2019.

BELINELLI, M. M. *et al.* Implementação da mcc em um sistema de refrigeração de uma indústria de resina para MDF: um estudo de caso. **Brazilian Journal of Business**, v. 1, n. 3, p. 963-978, 2019.

BENINI, L.; SANTOS, A. Utilização da manutenção centrada em confiabilidade (MCC) em embaladora à vácuo de alimentos. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 7, n. 2, p. 1-14, 2021. DOI: 10.18540/jcecvl7iss2pp12021-01-14e.

BOEIRA, F. S. **Estudo e análise de falhas em pás carregadeiras baseado na Manutenção Centrada em Confiabilidade**. 2022. 29 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 2, p. 405-432, 2015. DOI: 10.14488/1676-1901.v15i2.1615.

CERVO, I. B. **Estudo do Método de Manutenção Centrada em Confiabilidade e sua Aplicação em Bombas Industriais**. 2018. 26 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

COSTA, T. F. A. **Estudo da manutenção centrada em confiabilidade na melhoria da confiabilidade dos ativos críticos: o caso do departamento de manutenção de uma empresa siderúrgica**. 2022. 68 f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2022.

- ENJAVIMADAR, M. H.; RASTEGAR, M. Optimal reliability-centered maintenance strategy based on the failure modes and effect analysis in power distribution systems. **Electric Power Systems Research**, v. 203, n. 9, 2022. DOI: 10.1016/j.epsr.2021.107647.
- FERNANDES, C. E. N.; MATSUOKA, J. V.; COSTA, E. S. Avaliação do sistema de gestão de qualidade utilizando o MCC: manutenção centrada na confiabilidade na análise de falhas da construção civil. **Revista GETEC**, v. 7, n. 19, p. 72-92, 2018.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção função estratégica**. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.
- LU, X.-Q. *et al.* Metaheuristics for homogeneous and heterogeneous machine utilization planning under reliability-centered maintenance. **Computers & Industrial Engineering**, v. 151, 2021. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106934.
- MENDONÇA, M.; CHUN, I. R.; ROCHA, M. E. C. Dynamic *Fuzzy* cognitive maps applied in reliability centered maintenance of electric motors. **IEEE Latin America Transactions**, v. 15, n. 5, p. 827-834, 2017.
- MENEGHINI, C.; ZAIONS, D. R. A manutenção centrada em confiabilidade aplicada a um sistema de embalagem de presunto de uma indústria alimentícia. **Brazilian Journal of Business**, v. 1, n. 2, p. 1197-1206, 2019.
- MOREIRA, T. B. *et al.* Proposta de aplicação da manutenção centrada na confiabilidade no desenvolvimento do plano estratégico da manutenção: um estudo de caso. **Brazilian Journal of Business**, v. 1, n. 3, p. 842-856, 2019.
- MOUBRAY, J. **Reliability-centered Maintenance**. 2. ed. Oxonia: Butterworth-Heinemann, 1997.
- NASCIMENTO, J. C. R. **Plano de manutenção baseado nos preceitos da MCC em um processo de produção de refrigerantes**. 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Pampa, Porto Alegre, 2014.
- SELVIK, J. T.; AVEN, T. A framework for reliability and risk centered maintenance. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 96, n. 2, p. 324-331, 2011. DOI: 10.1016/j.ress.2010.08.001.
- SILVA, L. S. **Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC): aplicação em um plano de manutenção preventiva no subsistema de uma pá carregadeira**. 2018. 98 f. Monografia (Especialização em Gerência da Manutenção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.
- SMITH, A. M. **Reliability-centered maintenance**. New York: McGraw-Hill, 1992.
- SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM – Gateway to world class maintenance**. Burlington: Elsevier, 2004. 361 p.
- VIANA, H. R. G. **PCM: planejamento e controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2014.
- ZOTTI, E. **Implementação da manutenção centrada em confiabilidade em uma indústria do ramo metalomecânico**. 2022. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade do Vale do Taquari, Lajeado, 2022.