

MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC) NA REDUÇÃO DE CUSTOS¹

Daniel Renato Cervinski²
Marcelo Kenzi Makiyama³
Maria Regina Thomaz⁴

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo aplicar a análise de manutenção centrada na confiabilidade (MCC) de forma qualitativa baseada em condição, analisando histórico de falhas, causas e modos dessas falhas, e os custos envolvidos para realizar as manutenções. O estudo desenvolvido visa reduzir os custos, e horas de execução dos planos de manutenção, priorizando as tarefas mais relevantes e definir a periodicidade das manutenções, realizadas atualmente nos ativos de geração de energia, em uma usina hidrelétrica. Atualmente a equipe de manutenção realiza 141 planos de manutenção preventiva, utilizando para isso 1257,2 horas HH (homem/hora). Após a aplicação da análise MCC o número de horas utilizadas com as tarefas teve uma redução de 28,83%, esse tempo pode ser aplicado em outras tarefas mais relevantes, tornando a manutenção mais eficiente, garantindo maior disponibilidade dos equipamentos.

Palavras-chave: Manutenção por Confiabilidade. Causa de Falha. Modo de Falha. Redução de Custos.

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento do mercado e desenvolvimento de novas tecnologias, tem aumentado os custos na área de manutenção. Atualmente novos métodos e ferramentas estão sendo implementados para maior controle, gestão e planejamento das ações necessárias, para melhorar o desempenho dos equipamentos durante a sua vida útil. O cenário atual, altamente competitivo, exige que as empresas visualizem a manutenção como uma forma de aumentar a produtividade, que está diretamente relacionada à redução dos custos e pode proporcionar aumento de faturamento, melhorias na confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos (MENDES, 2011). A melhoria das atividades de manutenção também pode proporcionar melhorias na segurança, nas relações com o meio ambiente e no atendimento aos requisitos normativos da empresa (BLOOM, 2006; RAUSAND, 1998).

O objetivo da maioria das práticas de manutenções preventivas existentes é preservar a condição do equipamento. A prática MCC fornece uma análise da condição crítica do

¹ Artigo Científico apresentado com requisito para obtenção do título de Engenheiro Eletricista pela UCEFF.

² UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de Engenharia Elétrica. E-mail: daniel.cervinski@statkraft.com.

³ UCEFF Faculdades. Esp. Marcelo Kenzi Makiyama. E-mail:marcelokem@uceff.edu.br.

⁴ UCEFF Faculdades. Ma em Tecnologia e Gestão da Inovação. E-mail maria@uceff.edu.br.

equipamento, para definir a prioridade para ser feita a intervenção, e quais tarefas devem ser realizadas, visando manter a função principal do equipamento no sistema. Com a aplicação dessa técnica é possível identificar os modos e causas de falhas e possíveis mitigações.

Segundo Moubray (2003), “Não basta executar certo as tarefas de manutenção, é preciso executar certo as tarefas certas.” É uma metodologia qualitativa da Engenharia da confiabilidade, onde seu principal objetivo é preservar as funções do ativo, mantendo a disponibilidade e confiabilidade. Desta forma visando responder a seguinte pergunta: **como é possível reduzir os custos aplicando a técnica da manutenção centrada em confiabilidade?**

Nesse artigo serão apresentadas algumas das etapas de um processo de implantação da análise MCC, serão avaliados alguns equipamentos do sistema de geração de uma usina hidrelétrica, para definir a melhor estratégia de manutenção, principais tarefas para manter sua condição operacional e avaliar os impactos em casos de falhas. Serão utilizadas ferramentas conhecidas como Ishikawa, para identificar os modos e causas de falhas, e a Fmeca, para analisar os custos das falhas e manutenções preventivas realizadas. O resultado obtido, será implementado como melhoria no plano de manutenção do equipamento analisado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 MANUTENÇÃO

Para Seleme (2015, p.19), a manutenção é a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. Ou seja, manter significa fazer tudo o que for preciso para assegurar que um equipamento continue a desempenhar as funções para as quais foi projetado, num nível de desempenho exigido (XENOS, 2014, p.19).

Para Xenos (2014, p. 173) “A manutenção inclui desde simples inspeções, medições, testes e ajustes, até complexas reformas, trocas de peças, modificações e melhorias nos equipamentos”. O mesmo autor complementa que “Essa diversificação é diretamente proporcional à variedade de modelos e tipos de equipamentos com os quais as equipes de manutenção têm que lidar. Geralmente quanto maior essa variedade, mais complexo se torna o trabalho da manutenção”.

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2002, p. 635), diversas vantagens justificam a realização da manutenção nas instalações e equipamentos como:

Melhoria na confiabilidade: redução do tempo perdido com reparos das instalações; menos interrupção das atividades normais de produção, menor variação da vazão de saída e níveis de serviço mais confiáveis; em resumo, o equipamento raramente quebra ou se desajusta.

Melhoria na segurança: instalações bem mantidas têm maior probabilidade de se comportar de forma previsível e padronizada, assim como de apresentar menos riscos de falhas e acidentes de trabalho.

Aumento na qualidade: equipamentos mantidos inadequadamente têm uma maior probabilidade de desempenho abaixo do padrão e podem causar problemas de qualidade.

Redução dos custos de operação: elementos de tecnologia de processo são eficientes quando recebem manutenção regularmente.

Maior tempo de vida útil: cuidado regular, limpeza ou lubrificação prolongam a vida efetiva das instalações, reduzindo problemas de operação.

Valorização: instalações bem mantidas são geralmente mais fáceis de vender no mercado.

2.1.2 Tipos de manutenção

Segundo Castilhos (2002) os tipos mais comuns de manutenção se resumem a: Manutenção preventiva: é todo o serviço de manutenção realizado em equipamentos que não estejam sob falha, portanto, que esteja em condições operacionais normais ou sem defeitos. Sendo assim, é destinada a reduzir a probabilidade de falha ou degradação de um equipamento, em vez de corrigi-los depois que ocorrem falhas.

Manutenção sistemática: é aquela que é realizada a intervalos regulares. Ou seja, em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos. Manutenção por condição: é aquela realizada quando ocorre desvio de algum parâmetro que está sendo controlado. Reparo de um defeito ou intervenção antes que ocorra uma falha. Portanto, é efetuada após a ocorrência de alguma pane e destinada a recolocar o equipamento em condições de executar sua função.

Manutenção Preditiva: são tarefas que visam acompanhar o equipamento, por monitoramento, por medição ou controle estatístico, tentando prever ou predizer a ocorrência de uma falha.

Assim, visa garantir a qualidade do serviço desejado, aplicando técnicas de análise, supervisão centralizada ou de amostragem, utilizando-se de métodos modernos de medições e de processamento de sinais, para diagnosticar com precisão as condições dos equipamentos durante a operação, reduzindo a necessidade de manutenções corretivas.

Manutenção corretiva: atividade de manutenção de reparo de equipamento após a ocorrência de falha. Pode ser planejada ou de emergência quando a falha não é esperada.

2.1.3 Manutenção centrada em confiabilidade (MCC)

A MCC teve sua origem no final dos anos 50, a indústria de aviação comercial americana estava preocupada com a falta de uma metodologia para otimizar sua manutenção preventiva, conforme afirma Moss (1985). Netherton (2001) comenta que, naquela época, ocorriam no mundo, mais de 60 acidentes por milhão de decolagem, sendo dois terços desses acidentes causados por falha de equipamento.

Moubray (2000), observa que, em 1960, a Federal Aviation Agency (FAA) constituiu uma força tarefa, denominada Maintenance Steering Group (MSG), com a participação das companhias aéreas americanas, para estudar os planos de manutenção até então utilizados. O primeiro resultado foi alcançado em 1965, e posteriormente apresentado em 1967, o documento elaborado recebeu a denominação de MSG-1, cujo conteúdo foi utilizado na manutenção do Boeing 747.

Em 1969, uma outra versão foi elaborada, com a denominação de MSG-2, e aplicada no desenvolvimento dos programas de manutenção dos aviões. A partir dos documentos MSG-1 e MSG-2, Nowlan e Heap (1978) desenvolveram um outro estudo mais detalhado, encomendado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos, para a determinação de normas e procedimentos de manutenção, com base numa ampla análise estatística. Os autores denominaram o documento de Reliability Centered Maintenance (RCM), que foi traduzido para Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

A MCC é : “um processo usado para determinar as necessidades de manutenção de qualquer ativo físico no seu contexto operacional”, diz Moubray (1992, p.7), mas o que Hauge e Johnston (2001, p.36) detalham como um “ processo lógico estruturado para determinar a tática ótima para a manutenção de uma certa parte de um equipamento". E ainda simplificada como "um processo de análise e decisão que busca otimizar tarefas de manutenção". (Johnston 2002, p.367 apud Raposo 2004, p.26).

Conforme Zaions (2003, p.43) a implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade assegura o aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos itens físicos, além de aumentar a segurança operacional e ambiental, a produtividade e a redução de custos de uma organização. Assim, pode melhorar a disponibilidade e segurança do sistema, tendo como principal objetivo reduzir os custos da manutenção.

Para Kaggstad (2013, p.34), RCM Reliability Centered Maintenance (Manutenção Centrada na Confiabilidade) é: “Uma consideração sistemática de funções de uma unidade (sistema, equipamento) e os modos nos quais essas funções podem falhar. Uma consideração com base na prioridade de segurança e de economia, com a finalidade de identificar possíveis medidas eficazes para a manutenção preventiva”.

O objetivo da utilização da MCC é desenvolver um programa de manutenção eficiente que aumente a confiabilidade. É baseado inteiramente na funcionalidade do sistema ou do equipamento. Isto pode nos fornecer o uso ótimo dos recursos da manutenção e uma base documentada para a melhoria contínua do programa de manutenção, criar uma rotina de manutenção estratégica que preserve funções de sistemas e equipamentos de forma efetiva e com custos aceitáveis (WILMETH; USREY, 2000).

Segundo Rausand (1998, apud MENDES, 2011), a MCC possibilita a redução de custos de manutenção por meio da priorização das funções mais importantes do sistema, agregando atividades de manutenção estreitamente necessárias para a continuidade destas funções e evitando ou removendo ações de manutenção desnecessárias.

A literatura aponta a MCC como uma ferramenta de manutenção, que visa racionalizar e sistematizar a determinação das tarefas adequadas a serem adotadas no plano de manutenção, bem como garantir a confiabilidade e a segurança operacional dos equipamentos e instalações ao menor custo. Nesses termos, para Branco Filho (2000, p.41), a MCC “com sua ênfase em otimização, documentação, rastreabilidade e continuidade está sintonizada com as mudanças gerenciais que vêm se processando ultimamente na indústria em geral”.

Uma análise de MCC consiste principalmente em responder às seguintes sete perguntas, que podem ser colocadas com relação às usinas ou sistemas:

1. O que é a função do sistema com dados operacionais associados na operação atual?
2. Como o sistema pode falhar ao executar sua função?
3. O que é a causa de cada falha funcional individual?
4. O que acontece quando cada falha individual ocorre?
5. Qual é a consequência de cada falha individual?

6. O que pode ser feito para evitar cada falha individual?
7. O que deve ser feito se a falha não puder ser impedida?

2.1.4 Aplicações da mcc no setor elétrico

No setor elétrico mundial, existem referências de aplicações da MCC no segmento da geração nuclear, na França, pela Electricité De France (EDF), além da utilização em algumas usinas nucleares no mundo, como cita Moubray (2003), outros exemplos de aplicação são encontrados, na Florida Power and Light (FP&L) e na EDF, em um bay de uma subestação de 400 kV.

Azevedo (1998) observa que existe um número crescente de projetos de aplicação da MCC, por exemplo, em 18 centrais nucleares da EDF, e em centrais térmicas a óleo combustível e carvão, na Companhia Portuguesa de Produção de Eletricidade (CPPE). O autor cita trabalhos desenvolvidos no setor automobilístico na Renault; e, no setor de petróleo na Exxon Chemical, para as plataformas off-shore do Mar do Norte e do Golfo de Guiné.

No setor elétrico brasileiro, são conhecidas aplicações da MCC na área de subestações, em Furnas Centrais Elétricas (VIZZONI, 1998); na área de geração hidráulica e transmissão, na Companhia Paranaense de Energia (Copel), como apresentam Souza e Márquez (1998); e na área de geração hidrelétrica na Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), conforme Sarmiento (2001).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, estão descritas as etapas desenvolvidas para realização da análise MCC, para implementação dos resultados nos planos de manutenção, conforme figura 1, serão feitas cinco etapas.

Figura 1: Etapas da análise MCC

Fonte: Arquivo interno da usina (2020).

3.1 PREPARAÇÃO, ELABORAÇÃO DO DIAGRAMA DE BLOCOS

Para analisar todos os equipamentos e definir a análise, foi elaborado o diagrama de blocos para representar de forma geral todos os equipamentos do sistema de geração, desde a barragem até a linha de transmissão, foi utilizado para posicionar visualmente a hierarquia de equipamentos para análise MCC, e assim garantir que todos os equipamentos e sistemas passarão pela priorização, os mesmos foram classificados e analisados conforme Figura 2.

Figura 2: Classificação dos sistemas

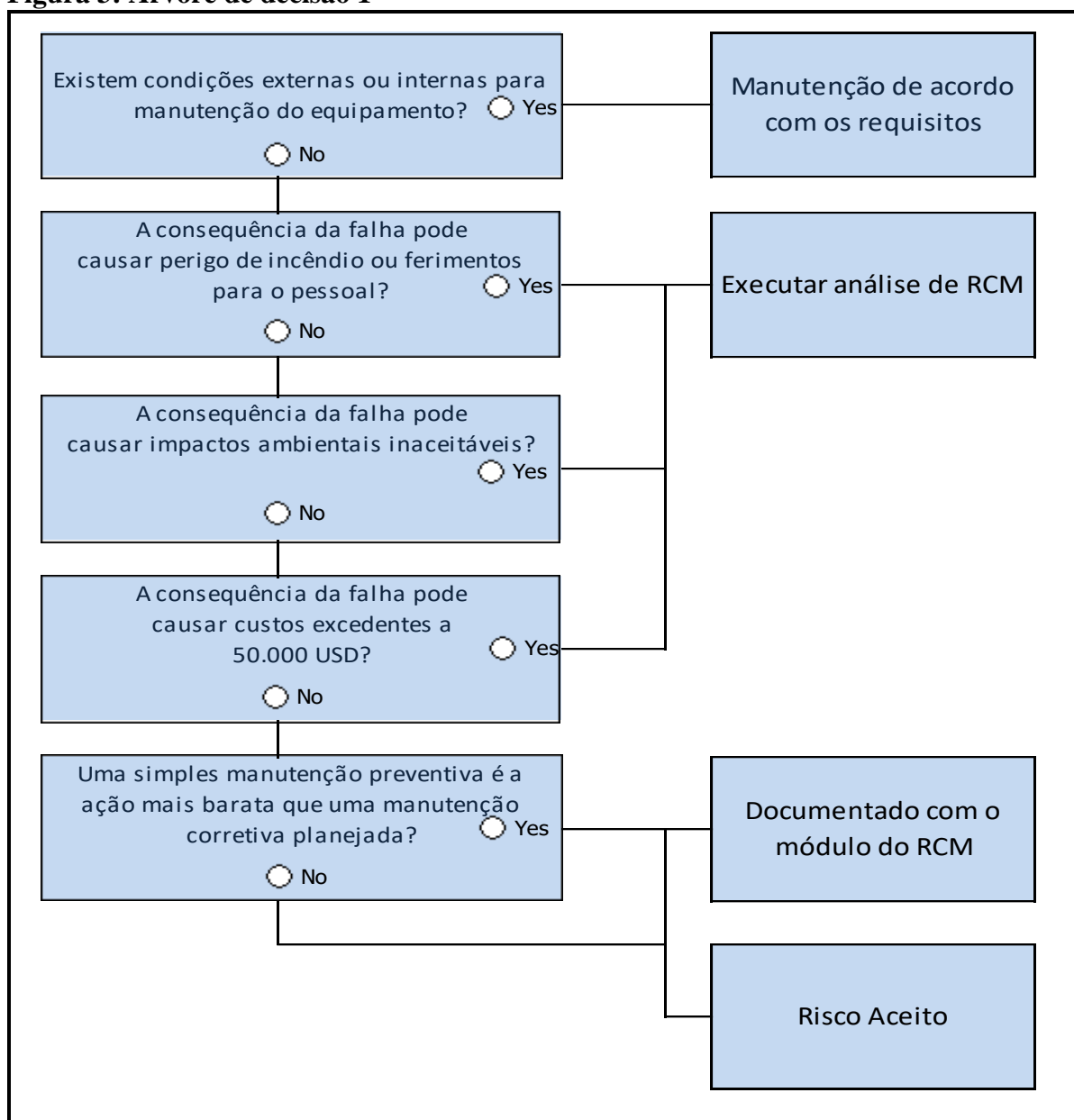
Fonte: Arquivos técnicos da usina (2020).

3.2 PRIORIZAÇÃO, ÁRVORE DE DECISÃO

Aplicada para definir quais os ativos representativos da planta, sistema ou equipamento precisa ser analisado pelo RCM, se a manutenção realizada de acordo com os requisitos legais já é suficiente para manter as funções do equipamento, e em caso que a manutenção preventiva é mais barata que a manutenção corretiva planejada, será apenas documentado, e também se a falha do equipamento não traz nenhum risco ao processo de

geração, esse risco é aceito e não será feita nenhuma ação de manutenção. Objetivos dessa etapa foi garantir que os sistemas relevantes serão devidamente analisados, evitar perdas de esforços com sistemas irrelevantes, assegurar que requisitos legais/regulatórios serão atendidos. A Figura 3 mostra a árvore de decisão 1 utilizada.

Figura 3: Arvore de decisão 1



Fonte: Arquivos técnicos da usina (2020).

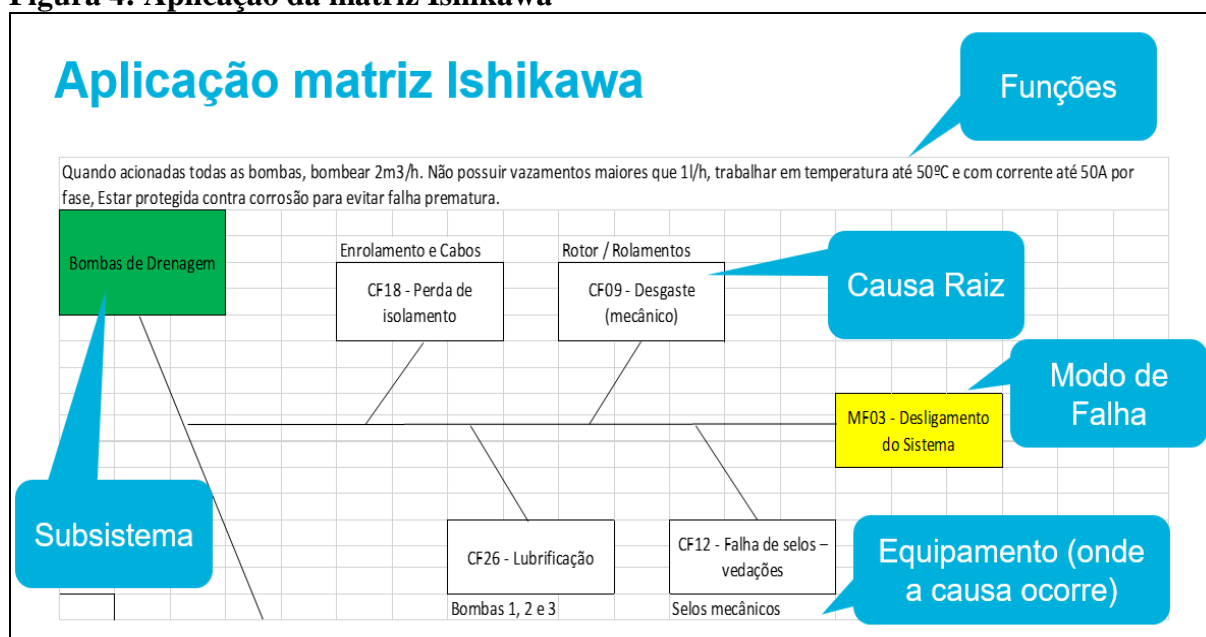
3.3 ANÁLISE DAS CAUSAS E MODOS DE FALHAS

Nessa etapa de análise, foram identificados os subsistemas, as funções principais e secundárias dos equipamentos, módulos de falha evidentes e falhas ocultas, causas dos modos

de falha, através dos históricos de manutenções e de paradas emergências, desenhos do fornecedor, manuais e recomendações da manutenção, histórico de falha ou de não conformidade, concessões e autorizações, avaliação de risco ambiental e descrição do sistema e do processo, para isso foram utilizadas essas ferramentas chamadas de matriz ISHIKAWA e FMECA.

Na Figura 4, tem-se um exemplo da aplicação da matriz Ishikawa, para análise de um subsistema, onde o modo de falha é o desligamento do sistema.

Figura 4: Aplicação da matriz Ishikawa



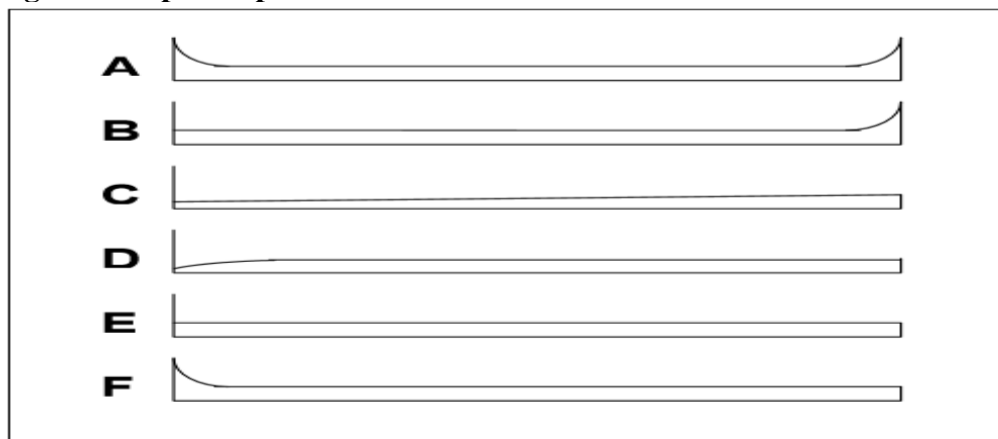
Fonte: Arquivos técnicos da usina (2020).

Visando uma abordagem quantitativa, a definição do tipo de manutenção a ser adotada para cada equipamento depende da densidade de probabilidade característica das falhas deste equipamento. Através da análise de dados de falhas pode-se determinar qual o comportamento das falhas deste equipamento ao longo do tempo e, desta forma, escolher o tipo de manutenção mais adequada (LAFRAIA, 2001; SELLITTO, 2005; MENDES, 2011).

A probabilidade condicional de falhas no tempo depende do tipo de equipamento que está sendo analisado. Algumas destas probabilidades, apresentadas na Figura 5, são: A) a curva da banheira, onde há uma elevada taxa de falha no momento em que o equipamento começa a operar, seguida de uma estabilização onde ocorrem falhas aleatórias e finalizada pelo aumento considerável das falhas devido à fadiga e ao desgaste; B) taxa de falhas constante, com crescimento acentuado no final do período devido à falhas relacionadas à idade, normalmente explica o comportamento de equipamentos mecânicos; C) taxa de falhas

levemente crescente com o tempo; D) taxa de falha baixa no início da vida do equipamento, seguida de taxa de falha constante; E) taxa de falha constante durante toda a vida do equipamento, normalmente explica o comportamento de equipamentos eletrônicos; F) taxa de falha elevada no início da vida do equipamento, com decréscimo acentuado e estabilização das falhas (LAFRAIA, 2001; SELBITTO, 2005; MENDES, 2011).

Figura 5: Tipos de probabilidades condicionais de falhas



Fonte: Monbray (1997).

3.4 AVALIAÇÃO ANÁLISE DE CUSTOS DAS FALHAS

Foram feitas avaliações e comparações entre o custo de manutenção preventiva realizada atualmente e os custos e riscos para o processo de geração, integridade, meio ambiente e reputação, caso ocorrer a falha de um equipamento. Avaliando o resultado obtido, pode-se verificar qual a melhor estratégia de manutenção.

3.5 MELHORIAS NOS PLANOS DE MANUTENÇÃO

Para melhorar a eficiência dos planos de manutenção, visando a redução dos custos e a priorização de equipamentos com maior relevância para a geração de energia, foi realizada revisão e atualização dos planos de manutenção, implementadas as atividades consideradas relevantes para evitar as falhas e desligamentos dos equipamentos, e retiradas as tarefas preventivas que não tem importância para a função do sistema.

4 RESULTADO E ANÁLISE DOS DADOS

O estudo foi desenvolvido em uma usina hidrelétrica localizada no município de Nonoai-RS, a usina possui uma capacidade instalada de geração de 74 MW, composta por duas turbinas Francis de eixo vertical. A análise da manutenção centrada em confiabilidade foi desenvolvida pela equipe técnica de manutenção da planta juntamente com o setor de engenharia e PCM (Planejamento e Controle de Manutenção) da empresa.

4.1 PROCESSO DE IMPLANTAÇÃO DA MCC

Para aplicação da MCC foram feitas reuniões e treinamentos para alinhamento do processo e definição de cada etapa, primeiramente foi desenvolvido o diagrama de blocos, representado nele todos os equipamentos e sistemas do processo de geração de energia elétrica, desde o reservatório até a ponto de conexão com o sistema de transmissão SIN (Sistema Interligado Nacional). No total foram contabilizados 114 equipamentos, dentre eles equipamentos principais e sistemas auxiliares, sendo também levantados os dados das principais características de cada equipamento. Foi aplicada a árvore de decisão 1, conforme resultados apresentados no quadro 1, onde foram respondidas algumas perguntas que definiram se o sistema ou equipamento precisa ser analisado pelo RCM. Foram analisados todos os equipamentos e sistemas auxiliares contidos no diagrama de blocos geral da planta. A análise MCC dos equipamentos da linha principal de geração, não entraram nessa análise, serão analisados pela equipe de engenharia.

Após essa análise tem se o resultado de todos equipamentos ou sistemas classificados para execução da análise MCC, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Resultado da avaliação da árvore de decisão 1

EQUIPAMENTO OU SISTEMA	QUANTIDADE
Executar Análise MCC	42
Documentar Preventiva	7
Manutenção de acordo com os requisitos legais	4
Risco aceitável	6
Analisado pela engenharia	55

Fonte: Dados do estudo (2020).

Então foram estudadas as principais causas de falhas e os modos de falhas dos sistemas, para verificar os fatores que provocam maior índice de manutenção. Analisados históricos de manutenções, anomalias, e de paradas de emergências dos equipamentos.

Segundo Erik Kaggstad (2013, p.14), as falhas são classificadas como:

Falha funcional: Cada sistema é construído para executar uma ou mais função. A ausência de tal função é chamada falha funcional.

As falhas funcionais podem ser divididas em duas categorias: Falha óbvia: uma falha funcional que pode ser observada ou que seja visível através de instrumentos/alarmes. Falha oculta: Uma falha funcional oculta é oculta do pessoal operacional e de manutenção durante a atividade cotidiana e não pode ser descoberta sem executar um teste funcional ou uma inspeção mais próxima do equipamento em questão. Foram analisadas e definidas as seguintes causas de falhas para a análise da MCC.

Quadro 2 – Causas de falhas

Causa de Falha	Descrição
CF01	Capacidade inapropriada
CF02	Material inapropriado
CF03	Projeto inapropriado
CF04	Desgaste (mecânico)
CF05	Desbalanço
CF06	Desalinhamento
CF07	Falha de selos – vedações
CF08	Perda de relação de transformação
CF09	Perda de propriedade isolante do papel e/ou óleo
CF10	Curto circuito entre espiras do enrolamento
CF11	Envelhecimento (tempo de vida)
CF12	Perda de viscosidade
CF13	Perda de isolamento
CF14	Falha nos sistemas de aterramento
CF15	Curto circuito
CF16	Falso contato
CF17	Erro de documentação
CF18	Erro de planejamento, gerenciamento
CF19	Moluscos
CF20	Falha desconhecida
CF21	Lubrificação

Fonte: Arquivos técnicos da usina (2020).

Para Erik Kaggstad (2013, p.16) as falhas que podem ocorrer em um sistema ou equipamento e que conduzem ao sistema ou equipamento que não executa sua função

pretendida são chamados modos de falha. O modo de falha apontará qual parte específica do equipamento ocorreu a falha e conterá uma descrição do mecanismo da falha. Por exemplo: “Rachadura no flange da tubulação em consequência de fadiga” ou no “escape no flange da tubulação em consequência de vedação rompida”.

Os seguintes tipos de modo de falha são relevantes: Falhas que conduzem às consequências importantes; Falhas que já são tópicos de manutenção preventiva; Falhas que ocorreram. No Quadro 3, tem-se os principais modos de falhas.

Quadro 3 – Modos de falhas

Modo de Falha	Descrição
MF01	Não parte
MF02	Não para
MF03	Ruptura (Abrupta ou por fadiga)
MF04	Carga Limitada
MF05	Vazamento (gás, ar, óleo, água)
MF06	Vibração (equipamento rotativo)
MF07	Ruído anormal
MF08	Sobreaquecimento (cabos, conexões, mancais, rolamentos, óleo)
MF09	Afrouxamento
MF10	Travamento
MF11	Desvio de controle operativo
MF12	Leitura anormal de instrumento
MF13	Deficiência estrutural
MF14	Deficiente transferência de calor
MF15	Obstrução
MF16	Frequência incorreta de saída
MF17	Tensão incorreta de saída
MF18	Perda de redundância
MF19	Não abertura (válvula, interruptor, seccionador)
MF20	Não fechamento (válvula, interruptor, seccionador)
MF21	Alarme falso
MF22	Erro de planejamento, gerenciamento

Fonte: Arquivos técnicos da usina (2020).

Para cada sistema ou equipamento classificado anteriormente, foi realizado o preenchimento da matriz Ishikawa, todas as possíveis causas e modos de falhas foram analisados. As causas e modos de falhas definidos no Ishikawa, foram avaliados na FMECA, a frequência que essas falhas ocorreram, e os riscos envolvidos em cada causa de falha, para a área de segurança, ambiental e social, integridade, reputação e financeiro. Na sequência foi analisado o resultado da matriz de risco, caso ele seja maior que 2, conforme mostra a Figura

6, matriz de risco, é analisado a viabilidade econômica para implantar estoque para reduzir o risco, caso já tenha sobressalente no estoque, ele é listado na planilha, e avaliado se o risco se torna menor.

Figura 6: Matriz de risco

Matriz de Risco Potencial							
(Falha composta)							
Frequência	Probabilidade						
Once a year or more	>70%	Muito Alto	2	2	3	3	3
Once every 1-3 years	30-70%	Alto	1	2	3	3	3
Once every 3-10 years	10-30%	Médio	1	2	2	3	3
Once every 10-30 years	1-10%	Baixo	1	1	2	2	2
Once every >30 years	<1%	Muito Baixo	1	1	1	1	2
		Consequência	Very Low	Low	Medium	High	Very High
		Segurança	Lesão/doença sem afastamento, efeito insignificante na saúde	Lesão/doença com afastamento de curta duração ou incapacidade temporária curta	Lesão/doença com incapacidade temporária estendida	Lesão leva a incapacidade permanente	Fatalidade
		Ambiental e Social	Dano negativo insignificante ambiental, social ou ecológico	Efeito negativo moderado ambientalmente, socialmente. Medidas de mitigação não são necessários	Efeito negativo moderado ambientalmente, social ou impacto crítico nos recursos. Ações de controle e mitigação são necessários.	Sério dano negativo ambiental, impacto crítico nos recursos ou impacto social. Ações de controle contínuo	Impacto ambiental irreversível em áreas de conservação, habitats críticos, espécies em extinção. E/ou impacto social em comunidades indígenas.
		Integridade	Pequenos ajustes devido ao não cumprimento de leis, regulações ou padrões internacionais.	Ajustes maiores por não cumprir leis, regulações ou padrões internacionais	Multas ou denúncias para a polícia devido ao não cumprimento de leis, regulações ou padrões internacionais	Multas e processos, ou perda de licença/permissão, por não estar de acordo com leis, regulações e padrões internacionais.	Multas e processos contra a alta gerência, ou perda crítica da licença/permissão por não cumprir as leis, regulações ou padrões internacionais.
		Reputação	Questionamento da confiança pelo acionista principal	Redução da confiança por parte do acionista principal. Reestabelecimento da boa relação imediatamente	Redução da confiança por parte do acionista principal. Reestabelecimento da boa relação através de esforços moderados	Perda significativa de confiança por parte do acionista principal. Reestabelecimento do bom relacionamento, através do tempo.	Perda crítica de confiança do acionista principal. Impossibilidade de reestabelecer o bom relacionamento no futuro.
		Financeiro	Abaixo de \$ 20.000	Abaixo de \$ 50.000	Abaixo de \$ 100.000	Abaixo de \$ 200.000	Abaixo de \$ 500.000

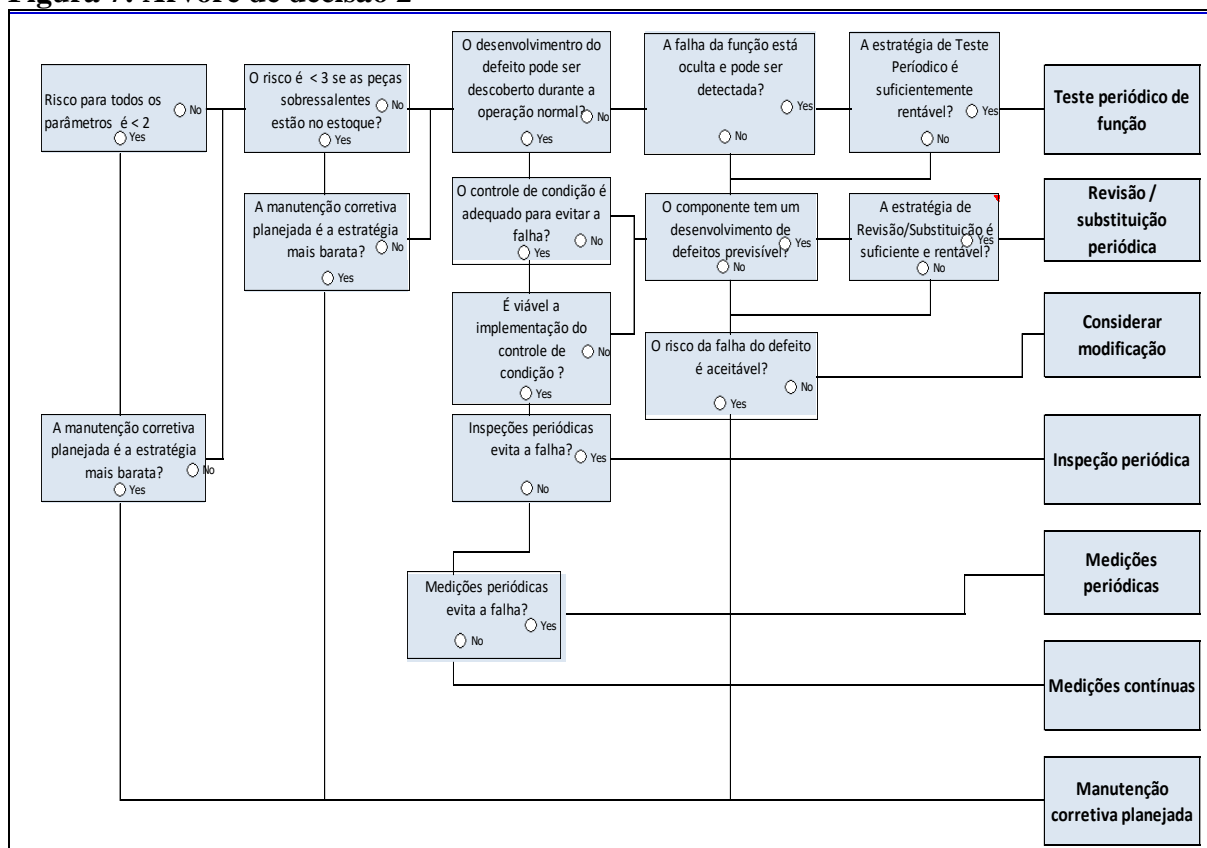
Fonte: Arquivos técnicos da usina (2020).

Foi analisado também o custo de manutenção para reparo da falha, nessa etapa foram calculados todos os custos, horas da equipe técnica e de engenharia, horas de indisponibilidade, lucro cessante, materiais de consumo e estoque, serviços contratados (mão de obra adicional), quantidades de diárias para hospedagem caso necessário.

Esse valor obtido foi comparado com o valor de custo da manutenção preventiva executada atualmente, para evitar a falha durante todo o período entre as falhas.

Com base nesse levantamento de dados, foi utilizado a árvore de decisão 2, conforme Figura 7, mostrada abaixo, para definir qual tipo de manutenção é mais adequada para evitar essa falha com o menor custo.

Figura 7: Arvore de decisão 2



Fonte: Arquivos técnicos da usina (2020).

4.1 EFICIENCIA NA MANUTENÇÃO, REDUÇÃO DE CUSTO E HORAS TRABALHADAS

Com a análise MCC, todas as possíveis falhas e modos de falhas foram mapeados, possibilitando assim realizar as tarefas corretas para evitar ou minimizar a ocorrência delas. Com isso os planos de manutenção se tornaram mais eficazes, aumentando assim a disponibilidade do sistema analisado.

John Moubray (2003, p.308) afirma que isso reduz em muito a probabilidade de falhas múltiplas, que tem sérias consequências. É talvez a característica mais simples e forte da MCC. Utilizando-a corretamente, reduz-se significativamente os riscos do negócio. Sempre que a MCC foi corretamente aplicada em um sistema de manutenção existente bem

desenvolvido, levou a uma redução de 40 a 70% da carga de trabalho de manutenção de rotina.

Os dados dos resultados encontrados, estão apresentados abaixo. Conforme esperado houve uma redução de ocupação HH (homem/hora) trabalhadas para execução dos planos de manutenção preventivas, sendo de 28,83 % no total de horas. Diante dessa situação pode-se afirmar que é possível reduzir os custos com a manutenção, conforme indagado anteriormente, além da redução das horas utilizadas pela equipe, temos uma eficiência maior nos planos de manutenção, sabendo quais são as funções principais dos equipamentos que precisam de atenção maior e tratar assertivamente as causas das falhas, aumentando a disponibilidade e com isso o faturamento.

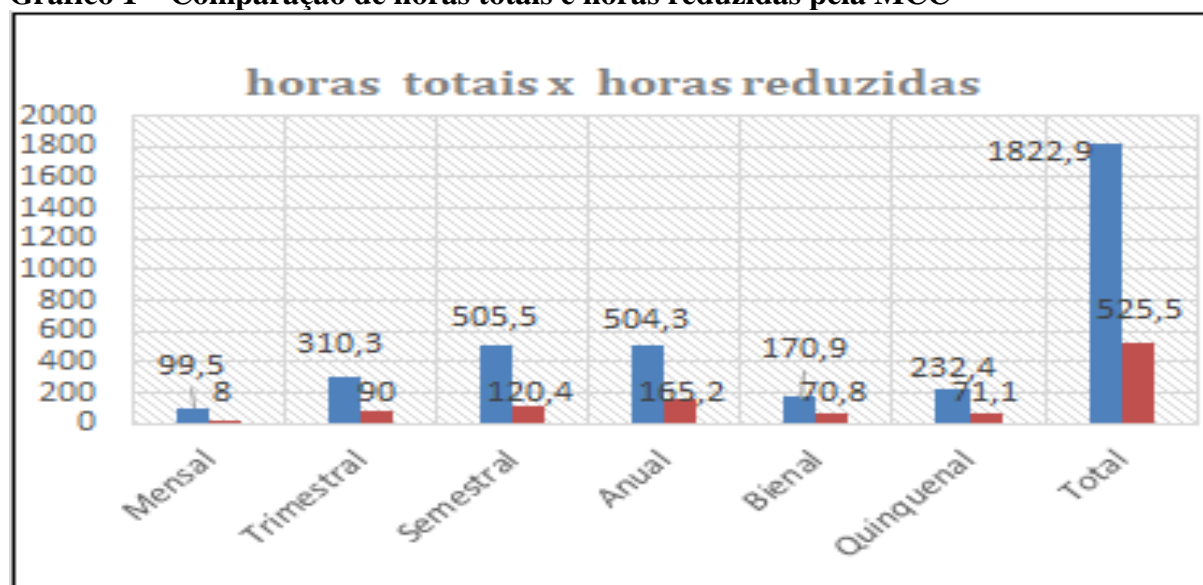
Com mais tempo disponível é possível fazer uma gestão melhor de manutenção, podendo realizar melhorias contínuas no processo, desenvolver estudos, análises de falhas e causa raiz, aumentando a vida útil do equipamento. O Quadro 4, mostra a distribuição de HH no período de 5 anos.

Quadro 4 – Horas de manutenção

Planos de Manutenção Preventiva							
Periodicidade	Mensal	Trimestral	Semestral	Anual	Bienal	Quinquenal	Total
Horas Manut. Preventiva	99,5	310,3	505,5	504,3	170,9	232,4	1822,9
Redução HH com MCC	8	90	120,4	165,2	70,8	71,1	525,5
Porcentagem	8,04	29,00	23,82	32,76	41,43	30,59	28,83

Fonte: Dados do estudo (2020).

Gráfico 1 – Comparação de horas totais e horas reduzidas pela MCC



Fonte: Dados do estudo (2020).

No Gráfico 1, tem-se uma comparação quantitativa entre as horas totais utilizadas nas manutenções preventivas, com as horas reduzidas após a análise MCC, pode-se observar uma redução de 525,5 horas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema desse artigo é a Manutenção Centrada em Confiabilidade, abordada a partir de análises de condições. Seu objetivo principal é contribuir na revisão de planos de manutenção, reduzir os custos com a otimização das tarefas de manutenção voltadas para manter a função principal do equipamento ou sistema, conhecer os principais modos e causas de falhas, analisar custos de manutenção e consequências das falhas. Para realizar uma boa análise MCC é exigido um alto conhecimento do funcionamento dos processos e condições dos sistemas, possuir a maior quantidade de dados possível, históricos de falhas, manutenções realizadas e manuais de fabricantes.

A aplicação dessa técnica de manutenção é pouca praticada nas pequenas indústrias, por ser ainda pouco conhecida, é mais aplicada por grandes empresas que possuem uma gestão de manutenção bem estruturada e planejada. Se for aplicada corretamente traz grandes benefícios, é baseada em condição e evita intervenções desnecessárias em equipamentos que estão em bom funcionamento. Muitas vezes ocorrem danos durante as manutenções preventivas ou inspeções causados pela equipe, que seriam evitados se houvesse uma análise de condição para dizer que o equipamento não necessita de intervenções,

Assim sendo, os resultados obtidos através da abordagem utilizada neste artigo podem auxiliar as empresas na tomada de decisão quanto à necessidade, à quantidade e ao tipo de investimentos em manutenção que melhor atenderiam ao cenário de produção e demanda projetados.

REFERÊNCIAS

BLOOM, N. B. **Reliability Centered Maintenance: implementation made simple**. New York, McGraw-Hill, 2006.

BRANCO FILHO, G. RCM - manutenção centrada em confiabilidade. In: VI Curso de gerência de manutenção, set. 2000. **Notas de Aula**. Rio de Janeiro. Impresso. 43p.

CASTILHOS, João S. **Manutenção**. Caxias do Sul: 2ed. 2002.

KAGGESTAD, Erik. **Manual do RCM**. Documento corporativo interno. 2003.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

MENDES, A. A. **Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa**, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/URGS_0d28591ac1ed5763ad2b909e42c31546 acessado em novembro de 2020.

MOUBRAY, John. **RCMII - Reliability Centered Maintenance**. Edição Brasileira – 2003. RAPOSO, José L. O. **Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada a Sistemas Elétricos: uma proposta para uso de análise de risco no diagrama de decisão**. 2004. 149 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2004. Disponível em: Google Acadêmico acessado em abril de 2020.

RAUSAND, M. **Reliability Centered Maintenance. Reliability Engineering and System Safety**, v. 60, n. 2, p. 121-132, 1998.

SELEME, R. **Manutenção Industrial: mantendo a fábrica em funcionamento**. Curitiba: InterSaber, 2015.

SELLITTO, M. A. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Revista Produção, v. 15, n. 1, p. 44-59, 2005

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva**. 2ª edição. Nova Lima: Falconi, 2014.

WILMETH, G. W., USREY, M. W. **Reliability centered maintenance: a case study**, Engineering Management Journal, v. 12, n. 4, p. 25-31, 2000.