

# ESTUDO SOBRE A INTERAÇÃO DOS PILARES MANUTENÇÃO AUTÔNOMA E MANUTENÇÃO PLANEJADA DA METODOLOGIA TPM EM INDÚSTRIA DO SEGMENTO SUCROALCOOLEIRO.

## STUDY ON THE INTERACTION OF THE PILLARS OF AUTONOMOUS MAINTENANCE AND PLANNED MAINTENANCE OF THE TPM METHODOLOGY IN THE SUGAR-ALCOHOLIC SEGMENT INDUSTRY.

ROGÉRIO RAMIRO DE OLIVEIRA, Alessandro Rodrigues Faria, Ariani Martins Caponi Lima, Rogério Rodrigues dos Santos

<sup>1</sup>Academica de Engenharia /FACEG Email: rogerio-rsantoshotmail.com

<sup>2</sup>Academica de Engenharia /FACEG <sup>3</sup>Orientador(a) e Professor(a) do Curso de Engenharia Mecânica/FACEG Email: rogerio-rsantoshotmail.com

**Resumo:** Métodos de melhoria contínua como o TPM (Total Production Management) são cada vez mais utilizados em ambientes industriais com objetivo de buscar de melhor eficiência operacional e consequente melhor competitividade no mercado. Nesse sentido, o presente trabalho apresenta um estudo da interação dos pilares Manutenção Autônoma (MA) e Manutenção Planejada (MP), analisa resultados relacionados às falhas de equipamentos e avalia a possível redução de falhas com base em resultados apresentados.

Da metodologia aplicada, trata-se de um estudo de caso em empresa do segmento sucroalcooleiro, considerando para os resultados a base de dados do sistema de gerenciamento de manutenção e realizando a comparação dos dados de falhas entre períodos pré e pós implantação para cada equipamento, área e resultados consolidados.

No referencial teórico são apresentados conceitos gerais da metodologia TPM e aprofundamento nos pilares MA e MP, com destaques para a importante interação entre eles na estruturação das cinco medidas para quebra zero e respectivos pontos chave para sucesso. Exemplos da construção da estrutura de organização dos pilares, fluxos de processos e medidas adotadas para pontos chave são apresentadas no desenvolvimento.

O detalhamento apresentado nos resultados permite sugerir no caso estudado que mesmo em equipamentos de funções e sistemas mecânicos completamente distintos, a capacitação obtida pelos operadores e mantenedores na manutenção das condições básicas dos equipamentos pode produzir resultados relevantes relacionados à redução de falhas.

**Palavras-chaves:** Eficiência Energética. Turbinas a Vapor. Sustentabilidade. Engenharia Mecânica.

**Abstract:** Continuous improvement methods such as TPM (Total Production Management) are very used in industries to reach better operational efficiency and market competitiveness. Following this way of thinking, this study brings an approach of the interaction of the Autonomous Maintenance (MA) and Planned Maintenance (PM) pillars of TPM methodology, analyzing the results related to equipment failures and evaluating a possible reduction.

A case study in a sugarcane industry is presented here, considering for the results the maintenance management system database and comparing failures data between before and after implementation periods for each equipment, area and total results.

In a literature review general concepts of the TPM methodology are presented, also a deepening study in MA and MP pillars showing the important interaction between them. Examples of the pillars organization structures, process flows and measures adopted for key points are presented in the development.

The detailed data presented in the results allow to suggest in this case studied that even with completely different functions and mechanical systems, the knowledge obtained by operators and maintenance people by caring on the basic conditions of equipments may produce relevant results reducing failures.

**Keywords:** Autonomous Maintenance, Planned Maintenance, TPM, Total Production Management, Total Productive Maintenance, breakdown reduction, loss reduction.

### INTRODUÇÃO

O TPM (Total Production Management ou Gerenciamento Total da Produção) é um método de eliminação de perdas muito presente em nosso contexto atual devido ao mercado competitivo. Há três principais motivos para o TPM ter se espalhado rapidamente ao mundo, sendo elas, o TPM garante drásticos resultados, traz melhorias de condições ao local de trabalho e aumenta o nível de conhecimento e habilidade com operadores e mantenedores (SUZUKI, 1994, p. 2).

### FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

A apresentação de pesquisas em forma de estudo de caso surge da necessidade de entender fenômenos complexos, permitindo que os investigadores foquem um caso e retenham uma perspectiva abrangente do assunto e do caso real estudado (YIN, 2015, p. 4).

O sucesso de um estudo de caso depende da perseverança, criatividade e raciocínio crítico do pesquisador para construir descrições, interpretações e explicações que possibilitem a extração de conclusões e recomendações. Nesse contexto, o pesquisador deve apresentar evidências dos dados que representam os resultados alcançados (MARTINS, 2008, p. 3).

Ao encontro das informações apresentadas sobre o estudo de caso, a seguir é apresentada de forma detalhada a metodologia aplicada nesse trabalho.

Esse trabalho é apresentado foi realizado em uma empresa do segmento sucroalcooleiro em Goianésia-GO, tendo como principal evidência para análises de resultados os dados de ordens de serviço do sistema de gerenciamento de manutenção SAP-PM utilizado pela organização em questão. Esses dados foram exportados para a aplicação Microsoft Excel e trabalhados para a apresentação em forma de gráficos. Importante salientar que o trabalho não pode ser caracterizado um experimento, pois não há controle das muitas outras variáveis que poderiam ter interferido nos resultados.

Para os equipamentos e áreas onde ocorreram atuações integradas do pilar de Manutenção Autônoma e do Pilar de Manutenção Planejada, são apresentados resultados de dados de números de falhas, custo de reparo das falhas e horas homem trabalhadas em falhas comparando-se o ano de 2019 em relação a 2020, respectivamente referente ao período antes e após implementação desses pilares. Ao final dos resultados, são apresentados dados consolidados os para equipamentos e áreas envolvidas no estudo.

A seguir, apresenta-se o desenvolvimento da implementação e após os resultados obtidos.

## DESENVOLVIMENTO

O processo de implementação dos pilares de Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada é detalhado a seguir, iniciando com a criação da estrutura para desenvolvimento do trabalho.

### A criação da estrutura de promoção dos pilares MA e MP

Após treinamento inicial com lideranças foram definidas as pessoas que conduziriam os trabalhos do pilar de Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada. Para o pilar de Manutenção Autônoma foram definidos seis colaboradores, sendo um deles o líder do pilar que atuava como gestor de produção e outros três que atuavam com

liderança nos times dos operadores dos equipamentos em que seria implementada a manutenção autônoma. Para o pilar de Manutenção Planejada foram definidos também seis colaboradores, sendo um deles o líder do pilar que atuava como gestor de manutenção e outros com coordenação de equipes de manutenção e PCM (Planejamento e Controle de Manutenção). Como facilitador do programa foi definido um colaborador que atuava como coordenador de PCM. Segue na Figura 1 exemplo da estrutura de promoção criada para a manutenção autônoma na empresa estudada.

Definida a estrutura dos pilares, foi realizada a definição dos equipamentos que iniciariam o processo de implementação da manutenção autônoma em 2020, sendo esses:

- Filtro Lodo 01: Área de Filtração de Lodo, diversas perdas de processo e falhas no ano de 2019 foram os principais motivos da escolha.
- Esteira 05: Área de Preparo de Cana, equipamento crítico para o processo foi o principal motivo da escolha.
- Peneira 01: Área de Tratamento de Caldo, na preparação da entressafra anterior o diagnóstico de desgastes acentuados não detectados previamente por operação e manutenção foi o principal motivo da escolha.

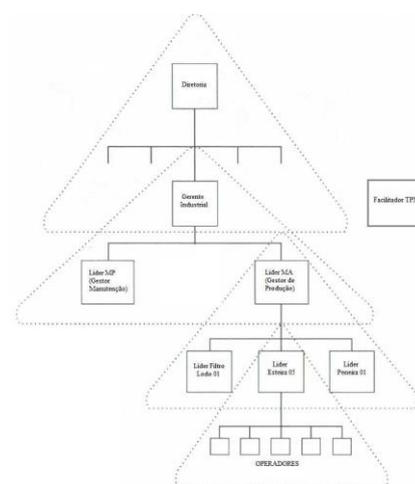


Figura 1 – Exemplo de estrutura de promoção para a manutenção autônoma.

Fonte: Adaptado de JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE, 1995, p. 5.

## A implementação do pilar Manutenção Autônoma

Como visto no referencial teórico, o pilar de manutenção autônoma é um dos mais importantes fundamentos da metodologia TPM. A continuidade e a profundidade das atividades de limpeza e inspeção são chave para o sucesso (SUZUKI, 1994, p. 87). Para obter continuidade foi direcionado aos supervisores de produção que designassem um momento específico para limpeza, inspeção, lubrificação e aperto diariamente nos equipamentos. Na manutenção, foi feita a definição de responsáveis técnicos para cada especialidade em cada equipamento do projeto e inseridas as atividades nas programações semanais organizadas pelo PCM. No aspecto da profundidade dos trabalhos, a presença das lideranças no pilar de Manutenção Autônoma colaborou para o direcionamento e entendimento da importância em nível operacional.

Quando da realização das atividades de limpeza, inspeção, lubrificação e aperto diariamente, as anomalias encontradas eram identificadas com etiquetas em cores e formatos distintos de acordo com a responsabilidade de atuação da operação ou manutenção (Vide figura 2 com exemplo de etiquetas de anomalias). Ao corrigir os problemas encontrados, as etiquetas eram retiradas pelos operadores como uma forma de validar o serviço que foi feito e criar um momento de troca de conhecimentos entre operação e manutenção.

Com a identificação das anomalias e restauração das condições básicas dos equipamentos em andamento dois pontos importantes foram observados pela equipe de condução do projeto:

1 – Mesmo ainda sem treinamento técnico direcionado aos operadores, o momento criado para interação entre produção e manutenção auxiliava em dúvidas sobre funções de partes do equipamento e a melhor forma de operar. Ou seja, já estava em andamento a capacitação do operador somente pelo próprio contato diário com os mantenedores.

2 – No início, alguns mantenedores entenderam como não necessárias algumas pequenas intervenções, mas ao longo do trabalho foi entendido pela equipe de manutenção a quantidade de anomalias que estavam sendo negligenciadas. Ou seja, já estava em andamento também a capacitação do pessoal de manutenção pelo simples contato diário com operadores observando a quantidade de anomalias presentes nos equipamentos.

Ao fixar etiquetas nos locais das anomalias, as inconveniências ficam expostas de forma que todos possam ver que existem problemas e que devem ser tratados. Uma abordagem importante no encontro diário entre operadores e mantenedores é discutir ações para resolver as etiquetas pendentes. Para supervisão, é importante acompanhar os prazos de execução. Lembrando, conforme recomendação da metodologia, oitenta por cento das etiquetas devem ser atendidas dentro de prazo (TAJIRI e GOTOH, 1999, p. 95). Vide a Figura 3 com o fluxo simplificado para tratativas de etiquetas de anomalias no caso estudado.

Figura 2 – Exemplo de etiquetas de anomalias.

Adaptado de TAJIRI e GOTOH, 1999, p. 94.

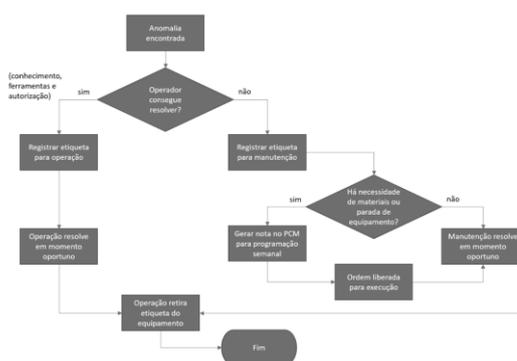


Figura 3 – Fluxo simplificado de etiquetas de anomalias.

Fonte: O Autor, 2021.

Durante a abordagem diária dos operadores nos equipamentos diversas anormalidades foram encontradas como exemplos abaixo citados separados por grupo:

- Elementos de fixação: Falta de aperto em parafusos e porcas, falta de parafusos e porcas, parafusos com excesso de comprimento, parafusos curtos, falta de padronização de parafusos e porcas (elementos de fixação que exerciam a mesma função tinham especificações diferentes causando dúvidas de qual o elemento correto e causando perdas de tempo quando da necessidade de desmontagem do conjunto), falta de arruelas, improvisação de elementos de fixação em mangueiras hidráulicas e pneumáticas (uso excessivo de abraçadeiras de nylon em partes com movimentos), improvisação em sistemas de fixação de esticadores de correias.

- Lubrificação: Vazamentos de óleo, aplicação de graxa em excesso, falta de aplicação de graxa, bicos graxeiros danificados, bicos graxeiros sujos, bicos graxeiros pintados, bicos graxeiros em falta.

- Segurança do equipamento (NR-12): Falta de elementos de proteção para partes em movimento, elementos de proteção para partes em movimento danificados, elementos de proteção para partes em movimento mal fixados.

- Elétrica e Instrumentação: Vazamento de ar comprimido, falta de óleo em unidade de conservação de ar comprimido, instrumentos de medição de pressão e temperatura danificados, improvisação em

fixação de sensores, vedação de painéis elétricos e instrumentação danificadas (inspeção solicitada pelo operador e realizada por electricista e instrumentista), fixação inadequada de eletrodutos, fixação inadequada de cabeamento em caixa de ligação de motores.

- Outras anormalidades encontradas: Vazamento de produto em processo, vazamento de vapor em tubulações, conjuntos que foram desativados mas ainda estavam fisicamente presentes nos equipamentos atrapalhando a operação, falta de manípulo ou alavanca de acionamento de válvulas manuais.

O senso de dono dos equipamentos é resgatado pelas atividades de manutenção autônoma ao incentivar os operadores a terem os devidos cuidados e protegerem seus equipamentos como verdadeiros parceiros protetores do bem estar da máquina. (JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE, 1997, p. 10). Nesse sentido, é importante para o dono do equipamento (o operador) conhecer os resultados, e mais do que isso, realizar a gestão desses. Além de gerir os serviços pendentes através das etiquetas de anomalias, os operadores mensalmente atualizam seu próprio quadro de gestão. Dentre os pontos trabalhados no quadro, destacam-se os formulários de priorização de etiquetas, mapeamento de etiquetas, pareto por local e pareto por tipo de anomalia que serão brevemente apresentados abaixo:

Formulário de priorização de etiquetas: É um gráfico de colunas que o operador elabora informando a quantidade de etiquetas abertas nas prioridades altas, médias e baixas. Esse gráfico é importante pois traz ao operador o sentimento de que falhas podem ocorrer a qualquer momento em caso de elevado número de etiquetas de prioridade alta (vide exemplo na Figura 4). Ações de intensificar inspeções e programar resolução de etiquetas podem ser tomadas.



Figura 4 – Exemplo de gráfico de priorização de etiquetas.

Fonte: O Autor, 2021.

Formulário de mapeamento de etiquetas: É um documento com o layout do equipamento onde o operador identifica em qual local da máquina foram registradas as anomalias com etiquetas. O documento é importante pois os operadores conseguem identificar a parte do equipamento que está apresentando mais anomalias (vide Figura 5). Ações de intensificar inspeções em pontos específicos podem ser tomadas.

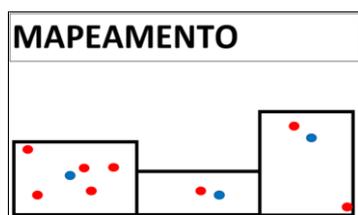


Figura 5 – Exemplo de formulário de mapeamento de etiquetas.

Fonte: O Autor, 2021

Formulário de pareto por local: É um gráfico de pareto agrupado por partes da máquina. O documento é importante para desenvolver o uso de ferramentas de gestão junto ao operador, além de conhecer o grupo de local mais problemático do equipamento (vide exemplo na Figura 6) . Ações de intensificar de inspeções podem ser tomadas.



Figura 6 – Exemplo de formulário de gráfico de pareto por local.

Fonte: O Autor, 2021.

Formulário de pareto por tipo: É um gráfico de pareto agrupado por tipo de problema encontrado. O documento é importante para desenvolver o uso de

ferramentas de gestão junto ao operador, além de conhecer o tipo de problema que mais ocorre em seu equipamento (vide exemplo na Figura 7). Ações de prevenção podem ser tomadas junto com a manutenção.



Figura 7 – Exemplo de formulário de gráfico de pareto por tipo.

Fonte: O Autor, 2021.

Seguindo recomendação da metodologia, para certificação do entendimento do método e para avançar ao próximo nível de manutenção autônoma foi estruturado um processo de avaliação com auditoria de mudança de passo em nível operacional, coordenação e gerencial. No caso estudado os operadores devem se auto avaliar, e tendo uma nota maior ou igual a 95 é solicitada a auditoria de coordenação. Sob os mesmos critérios a liderança avalia e tendo uma nota maior ou igual a 90 é solicitada auditoria com gerente. Novamente, sob os mesmos critérios de avaliação, tendo nota maior ou igual a 85 o time é promovido para o próximo nível de manutenção autônoma. Os três equipamentos em estudo passaram pelo processo de auditoria de mudança de passo e atualmente estão em passo 02 de manutenção autônoma, significando que o objetivo do entendimento do processo de limpeza e inspeção com continuidade e profundidade foi assimilado. Sendo assim, conforme metodologia, espera-se obter em andamento a reestruturação e manutenção das condições básicas dos equipamentos para a redução de falhas.

Os principais pontos avaliados na auditoria de mudança de passo 01 são:

- Limpeza e inspeção:
- Se há claramente definido um momento na rotina do operador para realização da limpeza e inspeção (continuidade);

- Se todas as anomalias possuem identificação com etiquetas (profundidade).

- Atendimento de etiquetas:

- Se há atendimento de etiquetas vermelhas dentro do prazo em pelo menos 80% dos documentos gerados (apoio incondicional da manutenção).

- Quadro de gestão do operador:

- Se o quadro está limpo, organizado, se operadores entendem e atualizam com a participação de todo o time (capacitação do operador para gestão do equipamento).

Após passarem pelo processo de auditoria e obter aprovação para passo 02 de manutenção autônoma, os operadores devem continuar realizando os processos de limpeza, inspeção, lubrificação e aperto. O passo 02, trabalha eliminar fontes de sujeira e locais de difícil acesso para que seja empregado menos esforço operacional para realizar essas atividades. Para isso, foi implementado formulários de identificação de fontes de contaminação e de locais e difícil acesso. Vide exemplo em Figuras 8 e 9. Em seguida são formados grupos de trabalho para buscar melhorias em cada ponto especificado.

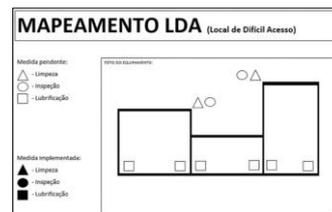


Figura 8 – Exemplo de formulário de mapeamento de locais de difícil acesso.

Fonte: Adaptado de JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE, p. 178.

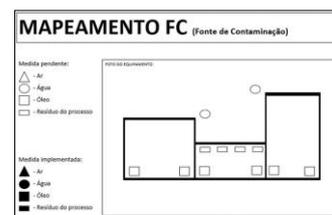


Figura 9 – Exemplo de formulário de mapeamento de fontes de contaminação.

Fonte: Adaptado de JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE, p. 177.

Segue abaixo na Figura 10 o fluxo simplificado do passo 02 de manutenção autônoma no caso estudado:



Figura 10 – Fluxo simplificado do passo 02 de manutenção autônoma.

Fonte: O Autor, 2021.

Além da estruturação das condições básicas dos equipamentos pela implementação da manutenção autônoma, foram efetuados ajustes no sistema de manutenção planejada que a seguir são apresentados.

### A implementação do pilar Manutenção Planejada

As atividades de manutenção planejada dependem do nível da manutenção do equipamento em cada local. Plantas com um sistema de manutenção fraco e falhas frequentes podem necessitar a implementação passo a passo. Já plantas com um sistema mais forte devem focar nos passos que trarão redução de falhas e melhoria de performance (SUZUKI, 1994, p. 161).

Como o sistema de manutenção planejada na empresa estudada é relativamente robusto, no pilar de Manutenção Planejada foram trabalhados ajustes para

ganho de performance. Os pontos mais importantes em cada passo são apresentados a seguir.

Passo 01 – Avaliar e entender a situação atual: Foi definido novo critério de avaliação de criticidade de equipamentos. Esse ponto é importante para direcionar o trabalho dos pilares em pontos relevantes para os processos. Vide exemplo de itens de avaliação na Figura 11.

ASPECTO E PESO:	MATRIZ DE CRITICIDADE DE EQUIPAMENTOS			
	IMPACTO EM XISMA	IMPACTO NA QUALIDADE	IMPACTO NA OPERAÇÃO	IMPACTO NA MANUTENÇÃO
DEFINIÇÃO:	10	10	20	10
	<i>É o risco que o equipamento pode afetar a saúde, integridade física dos colaboradores e aspectos ambientais.</i>	<i>É a interferência do equipamento na qualidade do produto final e segurança do usuário.</i>	<i>É o tempo de restabelecimento das condições normais de operação de modo que não este equipamento para.</i>	<i>É a estimativa de tempo necessário para a reparação ou de custo de manutenção corretiva (CMR)</i>

Figura 11 – Exemplo de aspectos considerados na matriz de criticidade de equipamentos

Fonte: Adaptado de SUZUKI, 1994, p. 167

Também, foi definido critério de classificação de falhas graves, médias e leves. Esse passo é importante para conduzir análises de falhas de modo à evitar a reincidência de falhas graves. Foi implementado ainda um formato de análise de falha simplificado que em todas as ocorrências de falhas o mantenedor deve buscar a causa raiz do problema, ficando as análises de falhas graves sob responsabilidade de condução da engenharia de manutenção.

Passo 02 – Reverter a deterioração e corrigir as fraquezas: Nesse passo foi realizada a maior das modificações no sistema de manutenção planejada, com o objetivo de prestar forte suporte aos times de manutenção autônoma em busca da restauração dos equipamentos às suas condições básicas. Foram selecionados para cada especialidade (mecânica, elétrica, instrumentação e caldeiraria) os “padrinhos” que seriam os mantenedores responsáveis para cada equipamento e atividades de acompanhamento diário do grupo autônomo foram direcionadas à eles através de processo de programação semanal emitida pelo PCM (Planejamento e Controle de Manutenção), de forma que todos os dias os especialistas da manutenção visitassem os equipamentos e tivessem em contato com os operadores resolvendo as etiquetas direcionadas para o departamento da manutenção e tirando dúvidas existentes. Esse processo contribuiu para

a continuidade do atendimento das etiquetas e desenvolvimento da equipe de operadores e mantenedores. Os próprios colaboradores do departamento de manutenção começaram a prestar atenção em detalhes que antes eram negligenciados nas inspeções preventivas de outros equipamentos, como por exemplo, falta de parafusos ou aperto inadequado, fixação de componentes indevida e a falta ou danos em bicos de lubrificação. Então, esse olhar mais crítico começou a se estender para outras áreas e departamentos já que na empresa adota-se o sistema de manutenção centralizado, ou seja, os mantenedores além de prestar manutenção nos equipamentos que estavam em processo de restauração das condições básicas, prestavam serviços também em todo o restante da planta industrial.

Passo 03 – Construir um sistema de gerenciamento da manutenção: Nesse passo não houve qualquer alteração visto que os requisitos já eram atendidos na empresa estudada através do uso do software de manutenção SAP-PM, inclusive com integração com as áreas de suprimentos facilitando o fluxo de informações de necessidades de materiais e controladoria para gestão de orçamentos e despesas de manutenção. Do sistema citado extraiu-se a base de dados para apresentação dos resultados desse trabalho.

Passo 04 – Construir um sistema de manutenção periódica: O sistema de manutenção periódica implantado no caso em estudo não garante a qualidade dos serviços de manutenção por não especificar de forma clara os padrões de materiais, limites admissíveis e procedimentos de execução. Como forma de melhorar a qualidade, foi definido então estruturar uma área de engenharia de manutenção que é responsável por desenvolver os padrões de manutenção, inclusive com a implementação de padrões visuais em campo como exemplificado no embasamento teórico.

Passo 05 – Construir um sistema de manutenção preditiva: Não houve modificação nesse passo visto que os requisitos à metodologia são atendidos. A empresa estudada possui implementadas técnicas de manutenção

preditiva de análise de vibração, termografia, inspeção por ultrassom e líquido penetrante em eixos de grandes dimensões, boroscopia para os redutores de acionamento dos ternos de moenda, além de inspeção de medição de espessura por ultrassom em tanques e tubulações.

Passo 06 – Avaliar o sistema de manutenção planejada: Esse passo é direcionado à melhoria contínua dos processos, sendo que nessa atuação foi realizada reavaliação do sistema de manutenção planejada e definidas novas metas para a safra 2021, à saber:

- Atendimento à programação: Realizar no mínimo 85% dos serviços programados para a semana;

- Backlog (número de dias para finalizar os trabalhos de manutenção se não entrar nenhuma nova demanda): Trabalhar com índice de backlog no máximo duas vezes o tempo de programação de cada oficina. Por exemplo, para oficinas em que há programação semanal, o backlog máximo é de 14 dias;

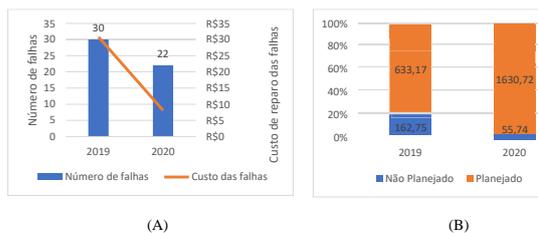
- Redução de número de falhas nos equipamentos comparando-se dados de 2021 com 2020. A meta é reduzir 15% o número de falhas totais na planta em 2021 quando comparados com dados de com o ano de 2020. Na seção de resultados desse trabalho é apresentada a comparação do número de falhas de 2020 para 2019, e entende-se que a intenção dessa meta é engajar ainda mais todos os colaboradores da manufatura na redução das perdas por falhas em equipamentos;

- Horas Homem de manutenção trabalhadas em falhas de equipamentos: A meta é que as horas homem de manutenção trabalhadas para corrigir falhas em equipamentos não ultrapasse 12% das horas homem totais trabalhadas de manutenção. Como já destacado no referencial teórico, do ponto de vista da eficiência da realização, sabe-se que um trabalho planejado pode ser executado de forma muito mais rápida, com maior qualidade e segurança do que um trabalho executado para correção de uma falha, dessa forma é essencial criar planos de manutenção e se preparar adequadamente para a execução (TAKAHASHI e OSADA, 2015, p. 170).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

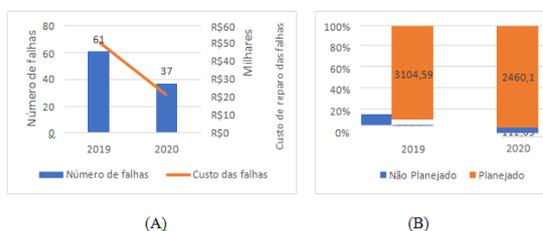
Da implementação do passo 01 da manutenção autônoma em conjunto com os ajustes efetuados no sistema de manutenção planejada, obteve-se a redução de falhas citada na metodologia com uso das cinco medidas para quebra zero: 1 – Estruturar as condições básicas dos equipamentos pela interação operador e mantenedor; 2 – Cumprir as condições de trabalho estabelecidas em projeto pela instrução dada pela manutenção aos operadores; 3 – Restaurar deteriorações pela resolução de etiquetas; 4 – Sanar deficiências de projeto através de atuação da manutenção em problemas reincidentes; 5 – Capacitar pessoal de operação e manutenção pelo contato entre mantenedores e operadores. Abaixo apresenta-se a comparação de dados de quebras dos equipamentos em 2019 (antes da implementação e atuação integradas dos pilares MA e MP) com os dados de 2020 (quando os pilares já estavam em implementação efetuando trabalhos de forma integrada).

Na Figura 12 é apresentado o gráfico com o número de falhas e custo para reparos das falhas no equipamento Filtro Lodo 01. Também as horas homem de trabalho planejados no equipamento em relação aos trabalhos não planejados (falhas). Vide que há redução de 30 falhas em 2019 para 22 falhas em 2020, o que representa aproximadamente redução de 15%. Em relação ao custo envolvido temos uma redução de R\$ 30.767,15 para R\$ 8.105,09 no ano seguinte, uma redução de aproximadamente 58% em correção de falhas. Para alcançar esse resultado ressalta-se que foi amplamente diminuído o trabalho não planejado no equipamento passando de 20% em 2019 para aproximadamente 3,3% em 2020, ou seja, quase 97 % de atuação planejada em 2020. Grande parte delas reflexo da mudança de atuação no sistema de manutenção planejada para prestar o suporte adequado à manutenção autônoma.



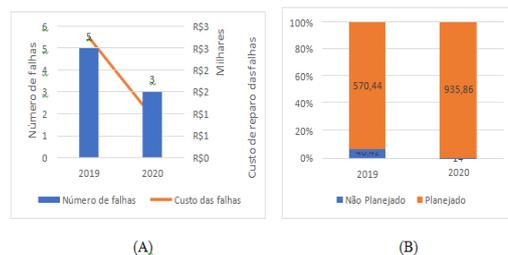
Fonte: O Autor, 2021.

Na Figura 13 apresenta-se análise similar, porém envolvendo toda a área de filtração de lodo, pois tanto operadores quanto mantenedores manuseiam e mantêm outros equipamentos da seção replicando os métodos de inspeção pelo conhecimento adquirido. Em número de falhas evidencia-se pelo gráfico na área de Filtração de Lodo uma redução de 24 quebras, equivalente a aproximadamente 24%. Em relação a custos para correção das falhas, em 2019 gastou-se reparando quebras na área 51.071,41 e em 2020 R\$ 21.153,85, redução aproximada de 41%. Evidencia-se também um aumento na proporção atuação da manutenção planejada passando de aproximadamente 90,7% para 95,5%, ou seja, reduzindo atuação não planejada de 9,3% em 2019 para 4,5% em 2020.



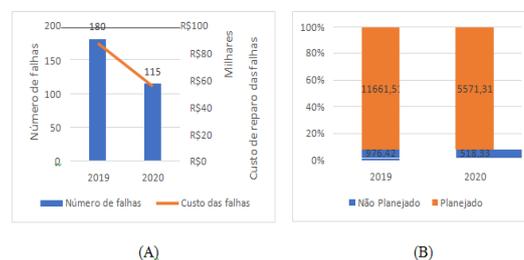
Fonte: O Autor, 2021.

Para o equipamento Peneira 01 e área de Tratamento de caldo a mesma análise foi realizada. Observa-se na figura 5.3 que no ano de 2020 houve redução de 02 falhas no equipamento em relação a 2019. Os custos envolvidos para restabelecer o funcionamento após falhas em 2019 foi de R\$ 2749,15 e em 2020 foi de R\$ 939,92. Para as horas homem de manutenção trabalhadas em falhas houve redução de 40,42 em 2019 para 14 em 2020 (redução de 6,61% de horas homem trabalhadas em falhas no equipamento para 1,47%).



Fonte: O Autor, 2021.

Os resultados podem parecer pequenos quando avaliados individualmente por equipamento, mas quando da análise por área evidencia-se novamente uma redução expressiva em número de falhas, custos de correção e melhoria nos índices de HH planejado x Não Planejado. Vide dados detalhados na Figura 15 para área de Tratamento de Caldo onde evidencia-se redução de número de falhas de 180 em 2019 para 115 falhas em 2020, redução aproximada de 36%. Em relação aos custos envolvidos para reparar as falhas em 2019 foram registrados gastos de R\$ 87.397,66, já em 2020 foram registrados R\$ 55.495,41, redução de R\$ 31.902,25 que corresponde a aproximadamente 22,3%. As horas de homem de manutenção corretiva aplicadas na área reduziram de 976,42 para 518,33, redução de aproximadamente 47% na quantidade de horas homem trabalhadas em serviços não planejados.



Fonte: O Autor, 2021.

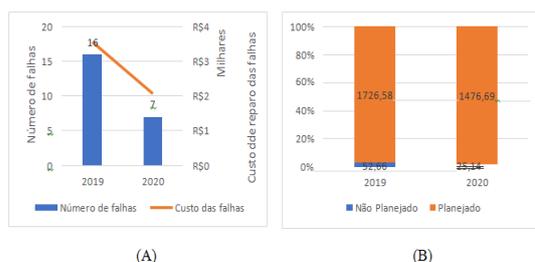


Figura 16 – Gráfico de falhas no equipamento Esteira 05 (A) – Número de falhas e custo das falhas; (B) – Horas homem de manutenção em serviços planejados x não planejados.

Fonte: O Autor, 2021.

Em número de falhas na Esteira 05 houve uma redução de 16 para 7 (aproximadamente 56%). Em custo para recolocar o equipamento em operação observa-se redução de aproximadamente 26,5% (de R\$ 3555,29 para R\$ 2065,53), e o total de horas homem trabalhadas em atividades não planejadas no equipamento reduziu de 3% (52,66 horas) para 1,67% (25,14 horas). É importante destacar, como já citado anteriormente, que esse equipamento foi escolhido para atuação com manutenção autônoma devido a criticidade para o processo. Falhas nesse equipamento causam a interrupção completa do fluxo de material na moagem, podendo comprometer também a alimentação dos processos posteriores. Por isso, considera-se a redução significativa para continuidade e estabilidade dos processos.

Na área do preparo de cana verifica-se melhoria dos índices similar ao que foi visto nas áreas de Filtração de Lodo e Tratamento de Caldo, pela replicação dos conhecimentos adquiridos para outros equipamentos de atuação de operadores e mantenedores. Vide abaixo dados na Figura 5.6. Em número de falhas observa-se a redução de 33 em 2019 para 14 em 2020 (redução de aproximadamente 58%), em custos de reparos das falhas observa-se redução de R\$ 5845,59 para R\$ 3232,22, e o índice de manutenção não planejada na área foi reduzido de 2,5% (94,3 horas) para 2% (44,63 horas).

A consolidação dos resultados do trabalho da atuação conjunta dos pilares de Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada no ano de 2020 é apresentada a seguir com agrupamentos dos equipamentos (Filtro Lodo 01, Peneira 01 e Esteira 05) e posteriormente

agrupamento das respectivas áreas (Filtração de Lodo, Tratamento de Caldo e Preparo de Cana).

A consolidação dos dados dos equipamentos Filtro Lodo 01, Peneira 01 e Esteira 05 apresentados na Figura 5.7 evidencia acentuada redução do número de falhas de 51 em 2019 para 32 em 2020 (redução de 37%). Em custos para retomada de operação após falhas há redução de R\$ 37.071,59 para R\$ 11.110,54 (redução de 30%), e, em horas homem não planejadas trabalhadas nos equipamentos há redução de 8% em 2019 (255,83 horas) para 2,3% em 2020 (94,88 horas).

A consolidação dos dados das áreas Filtração de Lodo, Tratamento de Caldo e Preparo de Cana apresentados na Figura 5.8 também evidencia redução de quebras, redução de custos para retomada de operação após falha e redução de horas homem trabalhadas em falhas de equipamentos pelo uso do conhecimento adquirido por operadores e mantenedores em demais equipamentos da planta. O número de falhas consolidado nessas áreas totalizou 274 em 2019 e em 166 em 2020 (redução de 39,4%), em custos de reparo das falhas foram totalizados em 2019 R\$ 144.314,66 e em 2020 R\$ 79.881,48 (redução de 44,6%). As horas homem não planejadas trabalhadas nessas áreas totalizaram em 2019 aproximadamente 7% (1389,09 horas) e em 2020 totalizaram 6% (675,61 horas).

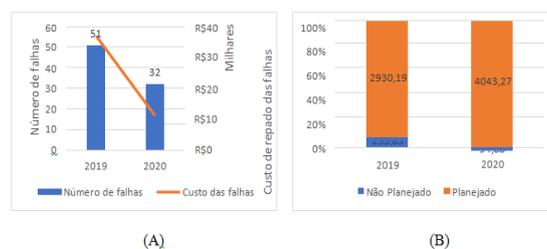


Figura 17 – Gráfico de falhas consolidado Filtro Lodo, Peneira 01 e Esteira 05 (A) – Número de falhas e custo das falhas; (B) – Horas homem de manutenção em serviços planejados x não planejados.

Fonte: O Autor, 2021.

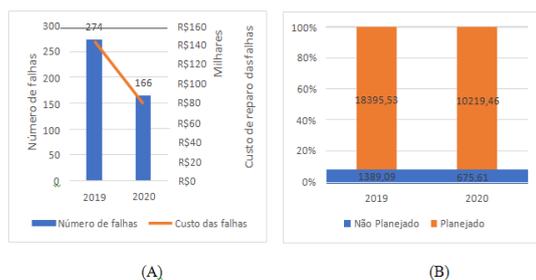


Figura 18 - Gráfico de falhas consolidado áreas Filtração de Lodo, Tratamento de Caldo e Preparo de Cana (A) - Número de falhas e custo das falhas; (B) - Horas homem de manutenção em serviços planejados x não planejados.

Fonte: O Autor, 2021.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Esse trabalho estudou a interação entre os pilares Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada da metodologia TPM em indústria do segmento sucroalcooleiro, analisando os resultados obtidos relacionados às falhas dos equipamentos atendendo ao objetivo geral do estudo. Objetivos específicos foram atingidos ao estudar o referencial teórico e elaborar o desenvolvimento do trabalho com os conceitos gerais da metodologia TPM e aprofundamento nos pilares MA e MP para estruturação das cinco medidas para quebra zero. Para o caso estudado, diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que a hipótese adotada é verdadeira. Ou seja, é possível reduzir o número de falhas em equipamentos de indústria de processo com a implementação dos pilares Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada.

Destacam-se também como pontos importantes citados no referencial teórico para o sucesso da implantação e posteriormente corroborados quando da aplicação em campo o envolvimento da liderança, o apoio incondicional da manutenção, a continuidade e profundidade das inspeções. Essas ações em conjunto expõem e corrigem rapidamente anormalidades encontradas nos equipamentos.

O detalhamento dos resultados apresentados para cada equipamento com números similares na melhoria dos indicadores de falhas é de relevante importância, pois permite sugerir no caso estudado que mesmo em equipamentos com funções e sistemas mecânicos completamente diferentes, a capacitação obtida pelos operadores e mantenedores pode produzir resultados

expressivos relacionados à redução de falhas. A influência da capacitação no cuidado dos equipamentos fica ainda mais evidente quando da análise dos resultados atingidos para cada área devido replicação da atuação pelos conhecimentos adquiridos.

Para trabalhos futuros, em direção à manutenção da competitividade das organizações no mercado, sugere-se estudos direcionados ao custo-benefício de implementação, como por exemplo o tempo médio de retorno de investimento do capital para a restauração das condições básicas dos equipamentos.

Por fim, destaca-se que os resultados da implementação realizada foram satisfatórios aos olhos da organização em que ocorreu o estudo de caso, de modo que a atuação dos pilares Manutenção Autônoma e Manutenção Planejada será estendida para mais 13 equipamentos, totalizando 16 até 2023 em diversas áreas da planta industrial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, P. S. D. *Manutenção Mecânica Industrial: Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada*. 1ª. ed. São Paulo: Érica, 2014.
- ALMEIDA, P. S. D. *Manutenção Mecânica Industrial: Princípios Técnicos e Operações*. 1ª. ed. São Paulo: Erica, 2015.
- BUDYNAS, R. G.; NISBETT, J. K. *Elementos de máquinas de Shigley*. 10ª. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
- CORREA, C. Vicente Falconi O que importa é o resultado. Rio de Janeiro: GMT Editores, 2017.
- DENNIS, P. *Produção Lean Simplificada: Um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo*. 2ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. *Confiabilidade e Manutenção industrial*. São Paulo: Elsevier, 2009.
- JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE. *TPM Team Guide*. New York: Productivity Press, 1995.

JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE.  
JIPM - TPM 600 Forms: Sample  
Formats for the 12 Steps of TPM. 2. ed. [S.l.]: [s.n.].

JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE.  
Autonomous Maintenance for Operators. Boca Raton:  
CRC Press, 1997.

MARTINS, G. D. A. Estudo de Caso: Uma estratégia de  
Pesquisa. 2ª. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

RODRIGUES, M. V. Entendendo, Aprendendo e  
Desenvolvendo Sistema de Produção Lean  
Manufacturing. 2ª. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

SUZUKI, T. TPM in Process Industries. New York: CRC  
Press, 1994.

TAJIRI, M.; GOTOH, F. Autonomous Maintenance in  
Seven Steps: Implementing TPM on the shop floor. [S.l.]:  
CRC Press, 1999.

TAKAHASHI, Y.; OSADA, T. Manutenção Produtiva  
Total. 7ª. ed. São Paulo: IMAN, 2015.

TOTAL Productive Maintenance in Supply Chain  
Management. Part 2. leanmanufacturingonline, 2017.  
Disponível em: <<https://leanmanufacturing.online/total-productive-maintenance-supply-chain-management-part-2/>>. Acesso em: 01 out. 2021.

WERKEMA, C. Lean Six Sigma: Introdução às  
ferramentas do Lean Manufacturing. 2. ed. Rio de  
Janeiro: Atlas, 2021.

YIN, R. K. Estudo de Caso: Planejamento e Métodos. 5ª.  
ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.