



PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO (PCM) EM UNIDADE HIDRÁULICA DE ALTO FORNO – ESTUDO DE CASO

Yuri Fernandes Costa
costafernandesyuri@gmail.com

Professor Orientador: Orlando Gama da Silva Junior

Coordenação de curso de Engenharia Mecânica

RESUMO

Neste artigo, foram abordados os conceitos da manutenção preditiva, preventiva e corretiva, com o objetivo de destacar a importância do PCM (Planejamento e Controle de Manutenção) aplicado em uma unidade hidráulica de alto forno. Foram analisadas as falhas que a unidade hidráulica apresentou no período da semana do dia 08 a 12 de maio de 2023. Por meio dessa análise, foi proposto um plano de controle de manutenção, onde foram incluídas tarefas de manutenção preventiva e preditiva, tendo base os manuais de instrução do próprio fabricante do equipamento. Dito isso, estabeleceu parâmetros e métodos para solucionar problemas recorrentes em alto-forno e unidade hidráulica, enfatizando a necessidade de identificar as causas raízes de cada problema. A aplicação do PCM resultou em benefícios significativos, como a redução do número de intervenções e dos custos de manutenção. Além disso, observou-se melhorias no desempenho, qualidade e produção dos equipamentos. A implementação dos métodos do PCM possibilitou a realização de análises físico-químicas regulares do fluido, o controle da contaminação sólida em conformidade com os padrões da unidade hidráulica baseados na ISO 4406 NAS 1638-6, e a redução dos custos de manutenção. Todas essas medidas foram tomadas sem comprometer os padrões do sistema de gestão da qualidade.

Palavras-chave: Planejamento e Controle da Manutenção, PCM, Hidráulica, Auto Forno



1. INTRODUÇÃO

A indústria siderúrgica desempenha um papel fundamental no desenvolvimento econômico e industrial de um país, sendo responsável pela produção de ferro fundido e aço, materiais essenciais utilizados em diversos setores. O processo realizado para fundir o minério que abastece o alto forno envolve um sistema complexo, no qual a unidade hidráulica desempenha um papel crucial ao movimentar os sistemas de despoejamento e injeção de carvão e oxigênio (Silva et al., 2018).

No entanto, essas unidades estão sujeitas a diversos problemas de desgaste e falhas operacionais que podem provocar paradas não programadas e custos elevados de manutenção corretiva, comprometendo a eficiência e confiabilidade do processo produtivo. Nesse sentido, a implementação de um Plano de Controle de Manutenção (PCM) torna-se particularmente importante para esses equipamentos. Onde são desenvolvidas, estruturadas e controladas todas as etapas da manutenção das unidades hidráulicas dos altos fornos, permitindo a realização de inspeções e intervenções nos componentes antes que ocorram as falhas (Alves et al., 2019).

Diante dessas informações este trabalho teve como objetivo estudar a aplicação de um PCM em uma unidade hidráulica baseado em coleta de amostras em campo, mais precisamente em uma empresa siderúrgica que produz blocos e cabeçotes em alumínio para motores de veículos a combustão, com capacidade produtiva de 17 mil toneladas/ano destes elementos, ela está localizada no polo industrial de Betim / MG com uma área de 33.000m².

O problema geral a ser estudado está relacionado à confiabilidade dessa unidade dentro do processo produtivo de um alto forno, cujo número de falhas do dispositivo pode impactar diretamente a performance operacional produtiva da planta. Nesse contexto acredita-se que implementação de um Planejamento de Controle e Manutenção (PCM) pode ser uma estratégia eficaz para otimizar a manutenção preventiva e corretiva desse equipamento, maximizando sua disponibilidade e prolongando sua vida útil. Dessa hipótese e diante dessas questões levantadas surge o problema de pesquisa abordado neste estudo: “Como a aplicação de um Planejamento de Controle de Manutenção pode melhorar a eficiência e a confiabilidade operacional das unidades hidráulicas de um alto forno?”

As unidades hidráulicas de alto forno desempenham um importante papel no processo de fundição de metais e é essencial que apresentem alta confiabilidade para garantir um fluxo



contínuo e sem interrupções. O acontecimento de falhas pode gerar diversos distúrbios no processo, como arreamentos de carga e paradas emergências da unidade. Podendo ocasionar emissões fugitivas e oferecer risco ao homem. Com o intuito de evitar tais complicações e garantir a produção do material, fez-se necessário este estudo que em termos de implicações práticas pode fornecer diretrizes e recomendações para a implementação de um PCM, permitindo a realização da manutenção de forma intuitiva e preventiva, reduzindo custos e aumentando a vida útil do equipamento.

Objetivo Geral: Mensurar as falhas do funcionamento de uma unidade hidráulica de alto-forno e aplicar o PCM (Planejamento e Controle de Manutenção) para uma melhor performance do ativo.

Objetivo Específico:

- Analisar as falhas potenciais, funcionais e totais da unidade hidráulica e suas causas raízes;
- Aplicar o PCM (Planejamento e controle de manutenção) focado em aumento da performance da unidade hidráulica.

2. DESENVOLVIMENTO

Para a abordagem e desenvolvimento deste trabalho, se faz necessário entender o que   manuten o de uma forma geral, seu contexto nas diversas indústrias, evolu es e desenvolvimento das tecnologias dessa área para que se consiga alcançar os objetivos definidos. Neste capítulo serão abordadas as defini es do setor de manuten o de uma forma geral dentro das empresas, a importância de uma boa gestão do setor de manuten o, a fun o de um setor de Planejamento e Controle de Manuten o bem implantado e sua aplicabilidade em unidades hidráulicas de alto fornos.

2.1 A manuten o e sua contextualiza o

A manuten o no contexto das mais variadas empresas existentes contribui de forma positiva para que seja possível um processo produtivo de alta performance, sem que haja paradas de máquinas desnecessárias, causada muitas das vezes por processos falhos de manuten o e algumas das vezes até a falta deste (SADDI et al., 2018).

Em busca de solu es para manter a produ o competitiva, aliada a conserva o de seus ativos, surge o setor de Engenharia de Manuten o, responsável por desenvolver e criar planos de controle e planejamento de manuten o aos ativos da empresa, que seja integrado a opera o junto ao processo produtivo, ambos com visões empresariais sobre o negócio (MAGRANI; SANTOS, 2021).

As manuten es dos ativos se diferem entre si e são classificadas basicamente de três formas, sendo elas as manuten es corretivas, preventivas e preditivas, sendo esta última um estágio mais avançado das manuten es, pois exige um setor de manuten o que já esteja funcionando minimamente bem com as manuten es básicas (corretiva e preventiva). Como o próprio nome diz, a manuten o corretiva   realizada para corrigir determinada falha quando o ativo perde a capacidade de exercer sua fun o, sendo ela uma manuten o destinada a voltar o equipamento novamente em condi es de funcionamento e exercendo sua fun o de origem dentro do processo produtivo (SENA, 2021).

Essa pane / falha do equipamento   constatada em um primeiro momento pelos operadores da produ o, que solicita junto a equipe da engenharia de manuten o o reparo do



equipamento; cabe ao líder de área da engenharia de manuten o entender qual o tipo de problema o equipamento apresenta, se   hídrico, mecânico, elétrico ou eletr nico, identificado a causa raiz do problema, o reparo   fornecido, (SADDI et al, 2018).

Já a manuten o preventiva, visa evitar, prevenir que as falhas funcionais ocorram, sendo executadas periodicamente, com periodicidade predefinida e horários específicos, para que não interfira nos processos produtivos dos equipamentos, seguindo um calendário de planejamento e controle de manuten o, baseado em homem/horas para suportarem as tarefas do plano preventivo, (LAMAS, 2021).

Por fim, a manuten o preditiva se baseia na detec o de anormalidades nos parâmetros de funcionamento considerados ideais, esses parâmetros podem ser baseados nas questões de temperatura do equipamento ou fluido, vibra o, barulhos estranhos; e para a identifica o de anormalidades neste processo, são utilizadas análises de fluidos, inspe es visuais e de tato, sensores de vibra es e de temperatura (CAVALCANTI; RESENDE; BARROS, 2022).

2.2 Planejamento e controle de manuten o – PCM

Com o passar do tempo e as revolu es industriais ao longo da história, as atividades de manuten es em máquinas e equipamentos deixaram de serem vistas apenas como simples atividades e passaram a ser encaradas como o ponto chave para se obter um alto rendimento do ativo, se tornando assim, peça chave para o processo produtivo, (SADDI et al., 2018).

O PCM nada mais   do que o setor que acompanha e controla as atividades de manuten o de uma empresa, analisa e toma decisões para que o setor de engenharia de manuten o acompanhe os objetivos e metas da organiza o, para isso, o PCM foca em entregar resultados assertivos no planejamento das atividades de manuten o, principalmente no que diz respeito sobre as manuten es preventivas e preditivas, (TORRES, 2019).

Quando este setor de PCM não está implantado dentro de uma organiza o e se deseja mudar isto, são necessários alguns requisitos, dentre eles estão: O envolvimento de pessoas técnicas e conhecedoras da metodologia, investimento em ferramentas para o desenvolvimento do setor, dentre elas um sistema de ERP (sistema de gestão de uma empresa, incluindo setores de manuten o) completo que comporte e atenda as demandas sist micas do setor, desenvolvimento de planos de manuten es eficientes integrados ao



sistema ERP utilizado, com o objetivo de mudar sempre para melhor as práticas de manuten o da empresa (ZANINI, 2020).

2.3 Alto-forno, unidade hidráulica e a importância do PCM para estes ativos

O alto-forno   um reator químico utilizado para produzir ferro-gusa e alumínio fundido, e são os principais materiais utilizados na fabrica o de a o, blocos e cabeçotes de motores a combustão. A carga sólida   introduzida no alto-forno por meio de um sistema de gaiolas, elevadas por um mecanismo hidráulico, que   responsável também pela movimenta o da torre de despoeiramento e os sistemas de inje o de carvão e oxig nio (Silva et al., 2018).

O carvão elevado   queimado no alto-forno, produzindo monóxido de carbono que reage com o minério de ferro ou alumínio, produzindo ferro-gusa, alumínio fundido e dióxido de carbono. O material fundido   coletado na parte inferior do alto-forno e transferido para outros processos siderúrgicos (Rosado et al., 2019).

Nesse processo, o controle de vazão   fundamental para o bom funcionamento do alto-forno, pois a entrada excessiva ou insuficiente de ar pode afetar a eficiência do sistema (Silva et al., 2018).

Para um alto-forno funcionar eficientemente,   necessário controlar os parâmetros de opera o, como temperatura, pressão, fluxo de ar e gás, além de utilizar matérias-primas de alta qualidade e fazer a manuten o adequada do equipamento (Barros et al., 2020).

A manuten o preditiva dos componentes da unidade hidráulica consiste na aplica o sistemática de análises de vibra o, que tem como objetivo detectar falhas nos elementos mecânicos, como bombas e motores e possibilitar a identifica o de possíveis problemas de forma a reduzir a ocorrências de falhas e diminuir a necessidade de manuten es preventivas e corretivas. A análise de fluidos lubrificantes ou hidráulicos   fundamental para identifica o de componentes sólidos e químicos no interior do sistema, identificando o  ndice de contamina o de componentes ferrosos e químicos. Já a manuten o preventiva da unidade hidráulica consiste em executar as inspe es per dicas para verificar o estado dos componentes, como filtros, mangueiras, válvulas e fluidos, e realizar a trocas desses sempre que necessário, garantindo a vida útil e o desempenho do equipamento (Silva et al., 2018).



A manuten o corretiva deve ser realizada após a ocorrência de falhas na unidade hidráulica. Esse tipo de manuten o, além de resultar em um tempo maior da parada do alto-forno, pode apresentar custos maiores na manuten o, afinal, pode exigir a substitui o de componentes essenciais para seu funcionamento. Nesse caso,   importante ter uma equipe técnica especializada para realizar os reparos de forma adequada, minimizando os impactos e reduzindo os custos (Barros et al., 2020).

Sobre o viés da gestão faz-se necessário considerar que para esse tipo de equipamento, em virtude do custo e impacto da parada, o valor da manuten o corretiva torna-se mais alto que o da preven o da ocorrência das falhas. Dessa forma,   de suma importância garantir a previsibilidade e a atua o da manuten o preditiva e preventiva. Diante disso, a implementa o de um plano de controle de manuten o (PCM) torna-se crucial para manter a eficiência da produ o e garantir o bom funcionamento do sistema, sua aplica o   particularmente importante para unidades hidráulicas de um alto forno, que são submetidas a condi es extremas de opera o, como altas temperaturas, pressões e vibra es. O PCM   uma abordagem sistemática para desenvolver, estruturar e controlar as etapas da manuten o das unidades dos altos fornos, permitindo a realiza o de inspe es e interven es nos componentes dos equipamentos antes que ocorram falhas (Alves et al., 2019).

Para elaborar um plano de manuten o eficiente deve-se levar em considera o fatores como a criticidade dos equipamentos, a disponibilidade de peças de reposi o e a capacita o da equipe de manuten o (Rocha et al., 2019).

A utiliza o de tecnologias de monitoramento e diagnóstico remoto pode ser uma ferramenta valiosa na implementa o de um PCM em uma unidade hidráulica de alto-forno (Leite et al., 2021).

Dispositivos como sensores podem auxiliar na manuten o, permitindo a detec o precoce de possíveis falhas e a realiza o de reparos de forma mais rápida e eficiente (Barros et al., 2020).

3. METODOLOGIA

Na semana do dia 08 a 12 de maio de 2023, foi analisado o funcionamento de uma unidade hidráulica no levantamento de tampas e do corpo de um forno de fusão do tipo “TORRE” modelo FMFTT 4000-15000 da marca MASTER FIBER e quais as falhas a unidade hidráulica apresentou, falhas estas que podem ser potenciais, funcionais ou totais. Na organização onde este equipamento funciona, é adotado apenas o modelo de manutenções corretivas para seus ativos, ou seja, a unidade hidráulica sofre manutenção apenas quando apresenta algum tipo de falha. Em seguida, foi proposto um plano de controle e planejamento de manutenção, no qual foram incluídas tarefas de manutenção preventiva e preditiva com base na própria instrução do fabricante do forno e nas informações de falhas coletadas. A implantação do planejamento e controle de manutenção, incluem o desenvolvimento de um calendário de manutenções preventivas (calendário de 52 semanas), a definição das tarefas de manutenção preventiva e preditiva e suas respectivas periodicidades, monitoramento contínuo da unidade hidráulica a fim de se obter uma melhor performance e diminuição de suas falhas.

3.1 Variáveis

As variáveis consideradas no estudo foram baseadas em uma unidade hidráulica que por meio de pistões hidráulicos levantam as tampas do forno durante o seu abastecimento com os tarugos de alumínio para fundição e durante os levantamentos do corpo do forno para abastecimento dos caldeirões de transporte do alumínio fundido, com isso, foram selecionadas as seguintes variáveis:

- Tempo de operação da unidade hidráulica;
- Tempo médio entre falhas e tempo médio de reparo (considerando o método atual de só realizar manutenções corretivas);
- Paradas potenciais, funcionais e totais;
- Custo médio das manutenções corretivas;
- Perda do tempo de produção e performance da unidade hidráulica em decorrência das paradas por falhas.

3.2 Amostras

Para se obter dados que mostrassem a importância de se ter um plano de manuten o bem elaborado, que passasse por manuten es preventivas e preditivas, desta empresa foram coletados como amostra dados do setor de “FORNOS”, setor este que são compostos por fornos de fundi o (forno responsável por fundir o alumínio), fornos de espera (forno que faz o estoque do alumínio fundido no processo de produ o das peças) e fornos de tratamento (forno responsável pelo tratamento térmico das peças depois de prontas). Especificamente, os dados coletados foram da unidade hidráulica do forno de fundi o N 1, no período de 08/05/2023 a 12/05/2023 no horário/turno central de 08:00h as 17:00h, neste período e horário foram analisados apenas quantas falhas a unidade hidráulica apresentou e qual o motivo destas falhas, período no qual o ativo apresentou a quantidade de cinco paradas que tiveram suas causas analisadas e tratadas conforme apresentados nos resultados, com isso, seria possível entender se estas deixariam de ocorrer ou diminuiriam após a aplica o de manuten es preventivas e preditivas elaboradas pelos planos de manuten o junto ao PCM, sendo possível mostrar a aplicabilidade e a necessidade de um bom planejamento e controle de manuten o implantado.

3.3 Instrumentos de Medida e Técnicas

Para identifica o de falhas foram utilizados sensores para monitorar a pressão, temperatura, vazão da unidade hidráulica e realizado análise físico-química do fluido hidráulico. Para medida de pressão, temperatura e vazão das bombas de impuls o foi usado o equipamento HMG – 4000 (equipamento do fabricante Hydac) que permaneceu em funcionamento durante 12 horas. A medida online foi realizada por meio do equipamento HMG 4000, conectado em válvulas direcionais por meio do minimes (conectores que permitem acesso ao funcionamento das válvulas), recebendo dados e apontando graficamente escalas com possíveis picos nos quais representa anomalia no sistema.

Para a análise de contamina o do fluido hidráulico foi utilizado contador de partículas eletr nico FCU 1000 (equipamento Hydac). A coleta de análise do fluido contido em reservatório ocorreu por meio de uma bomba a vácuo conectada em recipientes devidamente apropriados e esterilizados, após a coleta do fluido foi dissolvido em uma pequena membrana e inserida no contador de partículas.

Para que fosse possível analisar o óleo coletado e se chegar a possível causa raiz do problema que estava acarretando em superaquecimento das bombas da unidade hidráulica, foi utilizado 2 equipamentos, conforme citado anteriormente. Para medi o de pressão, temperatura e vazão das bombas de impuls o foi usado o equipamento HMG – 4000 (equipamento do fabricante Hydac), equipamento este mostrado na figura abaixo:

Figura 1 – HMG 4000 HYDAC



Fonte: <https://www.hydac.com/shop/pt-br/fcu-1000-1000189425>, acesso em: 16 de junho 2023

A medi o através do aparelho HMG 4000 mostrado na Figura 1 acima, foi realizada online, onde o equipamento conectado em válvulas direcionais por meio do minimes (conectores que permitem acesso ao funcionamento das válvulas), recebeu dados e apontou graficamente em escalas convertidas relatório com possíveis picos nos quais representa anomalia no sistema.

Para a análise de contamina o do fluido hidráulico foi utilizado contador de partículas eletr nico FCU 1000 (equipamento Hydac). A FluidControl Unit FCU   um aparelho portátil de serviço para a medi o por curto espaço de tempo da contamina o por partículas sólidas, da temperatura e da satura o de água em sistemas hidráulicos. O equipamento   mostrado na figura abaixo:

Figura 2 – FCU 1000 HYDAC

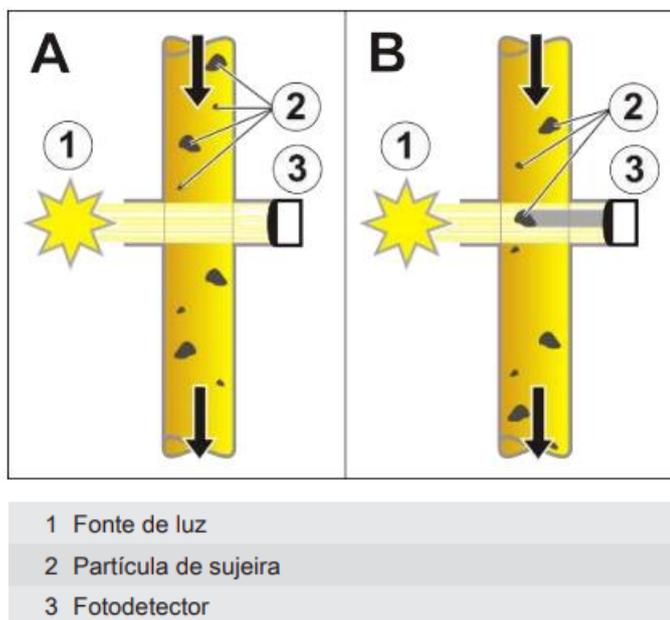


Fonte: <https://www.hydac.com/shop/pt-br/fcu-1000-1000189425>, acesso em: 16 de junho 2023

A Figura 2 acima mostra o equipamento FCU 1000 HYDAC, responsável pela contagem de partículas sólidas no fluido. O processo de contagem de partículas por este equipamento se dá da seguinte forma: A fonte de luz envia luz monocromática através do fluxo de óleo para um fotodetector que gera um determinado sinal elétrico. Se uma partícula se coloca entre a fonte de luz e o fotodetector surge uma sombra no fotodetector. Devido a esta sombra altera-se o sinal elétrico gerado pelo fotodetector. Através desta altera o pode-se determinar o tamanho da sombra que a partícula projeta, e assim o tamanho da partícula. Por meio deste método   possível determinar as classes de pureza conforme ISO 4406, NAS 1638 e SAE AS 4059.

O processo de contagem de partículas explicado é ilustrado na figura abaixo:

Figura 3 – Ilustração do processo de contagem de partículas sólidas pelo FCU 1000 HYDAC



Fonte: <https://www.hydac.com/shop/pt-br/fcu-1000-1000189425>, acesso em: 16 de junho 2023

3.4 Procedimentos

A escolha da referida empresa se deu pelo motivo da mesma atuar apenas com manutenções corretivas, que no caso são aquelas que são executadas somente após o ativo apresentar determinada falha, ou seja, não há um setor de PCM bem implantado, o que valida a ideia principal desta pesquisa, que é de implantação deste setor bem fundamentado no objetivo de melhorar a performance e produção daquele ativo além de reduzir gastos com a manutenção, uma vez que a manutenção corretiva é a mais cara por somente ser executada após uma falha do ativo, podendo ocasionar quebras e conseqüentemente substituições de peças ao invés de sua manutenção para uma maior vida útil dos componentes, que é o que se visa no plano preventivo desenvolvido pelo planejamento e controle de manutenção.

Para a coleta dos dados finais para análise, foi selecionada a semana do dia 08 a 12 de maio de 2023, com os ativos produzindo em larga escala devido a alta demanda de peças pelos clientes, ou seja, máquinas produzindo em suas capacidades máximas com manutenções somente em caso de paradas de máquinas ocasionadas por falhas. Selecionou-se três destes



dias de operação e analisou-se a unidade hidráulica do forno de fundição nº1. Estas análises foram feitas por meio de falhas relatadas que o equipamento apresentou, quais suas causas raízes e análise da qualidade do fluido hidráulico da unidade, a fim de se entender os danos causados pela falta de um plano preventivo eficiente para estes ativos.

3.5 Hipótese de trabalho

Com a aplicação do plano de manutenção de controle, pôde-se levantar as seguintes hipóteses:

- A unidade hidráulica poderá apresentar uma redução no número de intervenções necessárias e nos custos de manutenção;
- Com a aplicação do PCM o equipamento resultará em melhor desempenho, ganho de qualidade e produção.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Como resultado deste artigo observou-se com a análise mostrada a seguir, que um setor de engenharia de manutenção mal estruturado que opta apenas por manutenções corretivas, no médio longo prazo tem as condições de seus ativos muito deteriorada, e isso ocorre pois com o passar do tempo, o ativo começa a operar em condições de uso severas, e se falando de unidade hidráulica, o que mais se observa é a qualidade do óleo, pois ele é fator determinante no funcionamento do equipamento uma vez que este fluido faz parte do acionamento direto dos cilindros de levantamento das tampas de abastecimento e do corpo do forno através das bombas hidráulicas.

Em um prazo de sete dias, na semana do dia 7 a 13 de maio de 2023, observou-se que a unidade hidráulica operando em três turnos sete dias por semana, obteve uma quantidade de cinco paradas, sendo uma parada potencial por desconfiguração de setup, ou seja, aquela que não compromete o funcionamento do ativo onde foi necessário apenas uma reconfiguração, e as outras quatro paradas sendo paradas funcionais, na qual a bomba hidráulica estava com elevação de temperatura e com isso ela desarmava para não acarretar em sobrecarga do motor e possível queima, ou seja, aquela na qual o equipamento deixou de desempenhar suas funções ideais para a produção e necessitou de manutenção corretiva para verificar possíveis danos causados a unidade hidráulica, reparo da falha e também para

se chegar a causa raiz do problema. Foi solicitado também uma análise do óleo do reservatório e uma possível filtragem do fluido em caso de necessidade de acordo com parâmetros.

Foi feita a coleta e análise de óleo do reservatório para fins de comparação de parâmetros e comprovação do que a falta de um plano preventivo de manutenções acarreta, obteve-se os seguintes resultados conforme as Figuras 4 e 5:

Figura 4 – Análise da amostra de óleo da unidade hidráulica

				Equipamento: CAPSULA HIDRAUL		Compartimento: RESERVATORIO	
				Data da Coleta: 12/05/2023		Tipo do Oleo: QUINT.822-300	
				Area:			
ANALISES FISICO-QUIMICAS							
Descrição	Norma	Unidade	12/05/2023			Valor de referência	
Água	D4377	%	0,000			0,03	
Visc.(cSt) 40°	ASTM D445	cSt	46,34			41,4	50,6
TAN	ASTM D974	mgKOH/g	0,45			1,8 a 8	
Insol.Pent.D4	ASTM D4055	-				0,27	
ESPECTROFOTOMÉTRICO							P.O.N*
Alumínio	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
Cobre	ASTM D5185	ppm	4,61			2,09	
Cromo	ASTM D5185	ppm	5,79			3,22	
Ferro	ASTM D5185	ppm	2,43			10,39	
Silício	ASTM D5185	ppm	0,10			5,26	
Chumbo	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
Zinco	ASTM D5185	ppm	493,90			56,40	
Estanho	ASTM D5185	ppm	0,10			294,10	
Molibdênio	ASTM D5185	ppm	0,10			0,22	
Níquel	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
Cálcio	ASTM D5185	ppm	81,78			47,75	
Sódio	ASTM D5185	ppm	0,95			4,65	
Prata	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
Boro	ASTM D5185	ppm	0,10			3,62	
Bário	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
Magnésio	ASTM D5185	ppm	0,10			4,74	
Manganês	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
Fósforo	ASTM D5185	ppm	308,00			118,80	
Titânio	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
Vanádio	ASTM D5185	ppm	0,10			0,10	
CONTAGEM DE PARTÍCULAS							Valor de referência
NAS 1638	NAS 1638	-	10			7	
ISO4406-99	4406-99	-	21/19/16			18/16/13	
Temperatura	°C	°C	-			40°-50°C	

Fonte: (Elaborado pelos próprios autores, 2023)

Conforme mostra a Figura 4, o óleo analisado foi o QUITOLUBRIC 822-300, um óleo produzido pela PETRONAS IND. e que tem características antichamas, o indicado para

empresas que trabalham com fundição e que tem grau de risco 4. Foram executados três testes sob o óleo conforme mostra a Figura 4, sendo o primeiro, o teste de ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA, responsável por mostrar a presença de água e a viscosidade do fluido, o segundo, o teste ESPECTOFOTOMÉTRICO, responsável por mostrar a contagem de partículas por milhão (ppm) dos elementos químicos presentes no óleo, e o terceiro e último teste, chamado de CONTAGEM DE PARTÍCULAS, onde é mostrado a quantidade de partículas sólidas a cada 100 ml de óleo analisado.

Para uma leitura correta da Figura 4, considera-se a primeira coluna o item a ser analisado dentro daquele teste, a segunda coluna a norma química seguida para determinada análise, a terceira coluna a unidade de medida utilizada em cada teste, a quarta coluna o valor encontrado para cada item dentro daquela análise e na sétima coluna os valores de referência para cada item dentro de cada teste (5ª e 6ª coluna em branco e por isso não foram citadas).

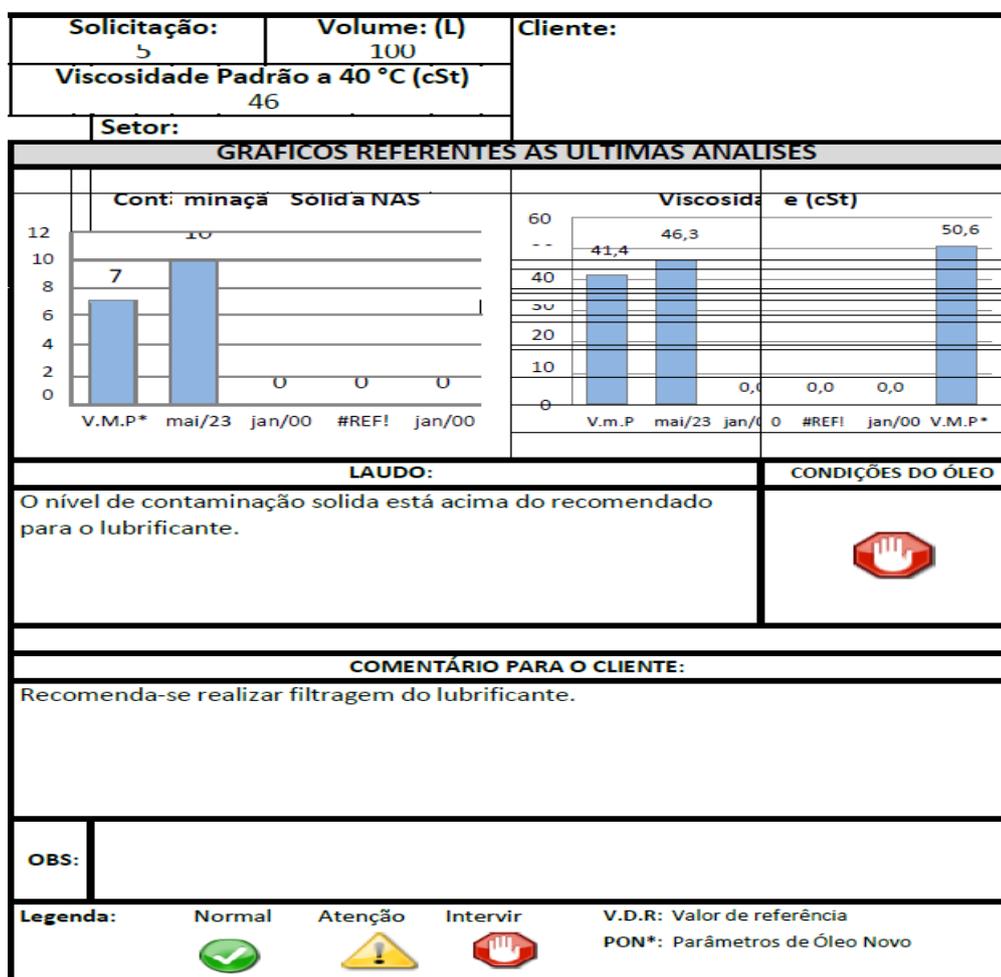
O resultado desta análise em geral, foi de um óleo contaminado. Na primeira análise feita sobre o óleo, as análises FÍSICO-QUÍMICAS, apresentados na Figura 4, os resultados estavam dentro de sua normalidade, com o óleo sem a presença de água e a viscosidade em 46,34 cSt enquanto os valores de referência são entre 41,4 cSt a 50,6 cSt, itens de importância analisados nesta etapa da análise do óleo, uma vez que a viscosidade do óleo é responsável lubrificar e criar uma “película” de proteção nos componentes de contato direto, como por exemplo os pistões de acionamento das tampas e de levantamento do corpo do forno.

Ainda na Figura 4, porém analisando o teste ESPECTOFOTOMÉTRICO, o segundo teste efetuado, onde são analisados a presença/quantidade (4ª coluna da tabela) de alguns dos elementos químicos presentes no óleo, pode-se ver que alguns destes elementos ultrapassaram seus valores ideais se considerados com a referência P.O.N (PARÂMETROS DE ÓLEO NOVO – 7ª coluna da tabela), como o cobre que apresentou valores de 4,61 ppm enquanto a referência P.O.N é de 2,09 ppm, cromo com valores em 5,79 ppm enquanto o P.O.N. é de 3,22 ppm, zinco que teve a presença de 493,90 ppm enquanto seu P.O.N é de 56,40 ppm, cálcio com contagem de 81,78 ppm com seu P.O.N em 47,75 ppm, e por fim, o fósforo, que apresentou 308 ppm enquanto seu P.O.N é de 118,80 ppm; onde a presença elevada destes elementos químicos na composição do óleo pode vir a comprometer a qualidade de lubrificação, não sendo o caso nesta situação mas já como um alerta com a necessidade de normalização através da filtragem do óleo.

Por fim, no terceiro teste realizado, CONTAGEM DE PARTÍCULAS por meio da norma NAS 1638, que avalia o nível de contaminação de fluidos por meio da contagem de partículas a cada 100 ml do fluido, este obteve um resultado com a presença de 10 partículas (4ª coluna da tabela), enquanto o máximo aceito para que o equipamento opere em condições normais é de até 7 partículas por 100 ml (7ª coluna da tabela), podendo considerar o fluido como contaminado.

Observem a Figura 5:

Figura 5 – Análise e resultado da amostra de óleo da unidade hidráulica



Fonte: (Elaborado pelos próprios autores, 2023)

Na Figura 5, é possível observar os resultados de uma forma geral sobre o fluido analisado. Nesta figura, é mostrado primeiro os gráficos com os resultados de CONTAMINAÇÃO SÓLIDA e VISCOSIDADE (tem analisado no teste de ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA). Em segundo lugar, o LAUDO com a análise do fluido e em terceiro o COMENTÁRIO PARA O CLIENTE com as recomendações com as ações a serem tomadas. Por fim, como pode-se

ver na Figura 5, o no campo “LAUDO” apresenta como resultado a confirma o da contamina o sólida do lubrificante e a recomenda o de filtra em deste.

Antes do óleo da unidade hidráulica ser filtrado, foi desmontado todo o sistema de tubula o do reservatório para a bomba e da bomba para os cilindros e verificou-se que as tubula es apresentavam “borra”, (que   uma espécie de graxa que vai se formando pela contamina o do óleo), causando entupimento das passagens.

Para solucionar o problema, as mangueiras do tipo prensada em tramas de a o foram substituídas por novas e o óleo sofreu uma filtra em reestabelecendo suas condi es dentro dos parâmetros ideais de acordo com as Figuras 4 e 5, onde no teste espectrofotométrico houve uma aproxima o dos elementos químicos de seu P.O.N (PARÂMETROS DE ÓLEO NOVO), já a análise NAS 1638, a contagem de partículas sólidas foram de 10 para 6 partículas a cada 100 ml, conforme mostra as figuras 6 e 7 onde a leitura do resultado   executada da mesma maneira das figuras 4 e 5.

Observem as Figuras 6 e 7:

Figura 6 – Análise e resultado da amostra de óleo da unidade hidráulica após filtra em

				Equipamento: CAPSULA HIDRAUL	Compartimento: RESERVATORIO
				Data da Coleta: 15/05/2023	Tipo do �leo: QUINT.822-300
				Area: Fornos	
ANALISES FISICO-QUIMICAS					
Descri�o	Norma	Unidade	15/05/2023	Valor de referência	
�gua	D4377	%	0,000	Até 0,03	
Visc.(cSt) 40�	ASTM D445	cSt	46,9	41,4	50,6
TAN	ASTM D974	mgKOH/g	2,0	1,8 a 8	
Insol.Pent.D4	ASTM D4055	-	-	0,27	
ESPECTROFOTOMÉTRICO					
				P.O.N*	
Alumínio	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
Cobre	ASTM D5185	ppm	2,20	2,09	
Cromo	ASTM D5185	ppm	3,77	3,22	
Ferro	ASTM D5185	ppm	9,97	10,39	
Sil�cio	ASTM D5185	ppm	4,30	5,26	
Chumbo	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
Zinco	ASTM D5185	ppm	77,00	56,40	
Estanho	ASTM D5185	ppm	200,30	294,10	
Molibd�nio	ASTM D5185	ppm	0,10	0,22	
N�quel	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
C�lcio	ASTM D5185	ppm	51,33	47,75	
S�dio	ASTM D5185	ppm	4,25	4,65	
Prata	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
Boro	ASTM D5185	ppm	1,67	3,62	
Bário	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
Magnésio	ASTM D5185	ppm	2,98	4,74	
Manganês	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
Fósforo	ASTM D5185	ppm	138,47	118,80	
Titânio	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
Vanádio	ASTM D5185	ppm	0,10	0,10	
CONTAGEM DE PARTÍCULAS					
				Valor de referência	
NAS 1638	NAS 1638	-	6	Até 7	
ISO4406-99	4406-99	-	19/15/15	18/16/13	
Temperatura	�C	�C	-	40�-50�C	

Fonte: (Elaborado pelos próprios autores, 2023)

Figura 7 – Análise e resultado da amostra de óleo da unidade hidráulica após filtragem

LAUDO:		CONDIÇÕES DO ÓLEO		
Após filtragem, óleo dentro dos parâmetro de trabalho.				
COMENTÁRIO PARA O CLIENTE:				
Sem demais recomendações ao cliente.				
OBS:				
Legenda:	Normal 	Atenção 	Intervir 	V.D.R: Valor de referência PON*: Parâmetros de Óleo Novo

Fonte: (Elaborado pelos próprios autores, 2023)

Após todo esse processo de manutenção das máquinas e filtragem de óleo, foi analisado e constatado através das “borras” geradas pelo óleo dentro das tubulações e mangueiras, que a causa raiz do problema era é a falta de manutenção adequada ao ativo, que levou a deterioração das mangueiras e tubulações onde houve a trocas destas peças por novas além do custo financeiro fora do planejado pela engenharia de manutenção com a análise e filtragem do óleo.

Para tal, foi elaborado pelo setor de engenharia de manutenção, uma estruturação do setor de Planejamento e Controle de Manutenção e um plano preventivo distribuído em um CALENDÁRIO DE 52 semanas para as unidades hidráulicas de auto forno, focado em atividades de inspeção de temperatura e vibração dos motores semanalmente, com filtragem de óleo a cada quinze dias inicialmente e posteriormente a cada 3 meses conforme prevê o manual do ativo e com possíveis manutenções mensais de acordo com necessidade do ativo.

A Figura 8 mostra como funciona o calendário de 52 semanas e a divisão das atividades de manutenção no decorrer das semanas do ano vigente:

Figura 8 – Recorte do 1º semestre do calendário de 52 semanas

INÍCIO		CALENDRÁRIO DE 52 SEMANAS																									
2023	1º SEMESTRE																										
U.H. AUTO FONO Nº1	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26	
INSPEÇÃO VIBRAÇÃO																		S	S	S	S	S	S	S	S	S	
INSPEÇÃO TEMP.																		S	S	S	S	S	S	S	S	S	
FILTRAGEM DE ÓLEO																		QN									
REPAROS MECÂNICOS																							M			M	

LEGENDA	
W	SEMANA
S	MANUTENÇÃO SEMANAL
QN	MANUTENÇÃO QUINZENAL
M	MANUTENÇÃO MENSAL

Fonte: (Elaborado pelos próprios autores, 2023)

Como mostrado na Figura 8, foi elaborado calendário de 52 semanas (26 semanas do 1º semestre e mais 26 semanas do 2º semestre), este calendário, controla o planejamento das manutenções preventivas durante o ano, como tal, esta ferramenta tem as semanas do ano enumeradas e em quais delas teremos manutenções programadas. A programação destas manutenções ocorreu de acordo com necessidade, porte e manual de manutenção do ativo, podendo ser, neste caso, semanal, quinzenal e mensal conforme legenda. A elaboração possibilitou a execução de tarefas simples de manutenção visando a conservação e funcionamento correto do ativo.

Para uma análise completa dos resultados e acompanhamento dos indicadores chave de performance (KPI's) e do plano preventivo elaborado pelo setor de Planejamento e Controle de Manutenção, elaborou-se uma tabela de OEE (EFICÁCIA GLOBAL DO EQUIPAMENTO) que foi preenchida desde o início do ano e é preenchida mês a mês conforme as informações sobre as paradas programadas e não programadas vão sendo fornecidas pelo setor de engenharia de manutenção conforme mostra as Figuras 9 e 10:

Figura 9 – Estudo da progressão dos indicadores chave de performance da U.H.

OEE MENSAL UNIDADE HIDRÁULICA AUTO FORNO													
DESCRIÇÃO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	Total:
01 - Manutenção UNIADE HIDRÁULICA	19	29	32	22	0								
02 - Ferramentaria	51	41	44	65	39								
03 - Controle Processo	7	1	6	5	9								
04 - Produção	4	2	5	1	2								
05 - Limpeza Técnica AM	0	0	0	0	0								
06 - Parada Técnica PM	0	0	0	0	0								
07 - Setup	0	0	0	8	1								
08 - Almojarifado	1	0	3	0	0								
09 - Laboratório	0	0	0	0	0								
10 - UOMI	0	0	0	0	0								
11 - Utilidades	4	80	34	5	30								
DISPONIBILIDADE	67%	69%	64%	59%	78%								
	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	TOTAL
Performance:	73,00%	77,00%	70,00%	66,00%	84,63%								
Qualidade	73,00%	77,00%	70,00%	66,00%	84,63%								
O.E.E	35,7%	40,9%	31,4%	25,7%	55,9%								
TIPO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO	
DISPONIBILIDADE TÉCNICA MANUTENÇÃO	87%	85%	89%	89%	97%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
MTBF	17,66	20,23	17,84	15,66	44,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
MTTR	2,69	3,45	2,20	1,93	1,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
NÚMERO DE QUEBRAS	16	15	22	23	9	0	0	0	0	0	0	0	

Fonte: (Elaborado pelos próprios autores, 2023)

Na Figura 9, tem-se uma planilha desenvolvida em Excel para acompanhamento dos principais indicadores chave de performance, planilha esta que está separada mês a mês, possibilitando a visualização de melhora ou piora nos indicadores, que são:

- DISPONIBILIDADE;
- PERFORMANCE;
- QUALIDADE.

Por fim e não menos importante temos o OEE (Overall Equipment Effectiveness) ou Eficiência Global do Equipamento, é a multiplicação dos outros indicadores citados acima e mostra a performance geral do equipamento após a combinação dos indicadores citados acima.

Além dos indicadores acima, esta planilha também apresenta os indicadores de MTBF (Mean Time Between Failures) ou Tempo Médio entre Falha, apresenta qual o tempo médio em horas que o ativo leva para apresentar uma nova falha. MTTR (Mean Time To Repair) ou Tempo Médio para Reparo, apresenta o tempo médio de reparo do ativo quando ele se encontra parado para algum tipo de manutenção. Além disso, a figura nos mostra a contagem de quebras mensais que ativo apresentou, além da disponibilidade técnica que este apresentou para manutenção em porcentagem, ou seja, parada para manutenção caso fosse necessário.



Os resultados de PERFORMANCE, QUALIDADE e OEE, são calculados automaticamente pela ferramenta (Excel), a partir das informações trazidas da engenharia de produção, devido ao fato de que são eles os responsáveis pelo controle de qualidade e contagem de peças produzidas, além da programação da produção diária, repassando semanalmente ao setor de engenharia de manutenção. Sendo assim, semanalmente é repassado o tempo que a máquina ficou produzindo em cada dia, o tempo que foi programado para produzir, quantidade de produção real e teórica, quantidade de peças boas e o total de peças produzidas por dia, incluído refugos, com isso, a planilha é alimentada e como resultado ela mostra a resolução das fórmulas abaixo, onde é calculado o valor mensal por meio das Equações 1,2,3 e 4

$$\text{Disponibilidade\%} = (\text{tempo produzido} / \text{tempo programado de produção}) * 100 \quad (1)$$

$$\text{Performance\%} = (\text{Quant. Produção Real} / \text{Quant. Produção Teórica}) * 100 \quad (2)$$

$$\text{Qualidade\%} = (\text{Quant. de Itens Bons} / \text{Quant. Total Produzida}) * 100 \quad (3)$$

$$\text{OEE\%} = \text{Disponibilidade\%} * \text{Performance\%} * \text{Qualidade\%} \quad (4)$$

O mesmo acontece para os cálculos de MTTR e MTBF, onde parte do setor de engenharia de produção contabiliza o tempo total do ativo funcionando, o tempo parado, o número total de falhas durante o dia, quantidade de reparos e número de intervenções, com isso, a engenharia de manutenção abastece a planilha mais uma vez para que os cálculos sejam realizados pela ferramenta por meio das Equações 5 e 6

$$\text{MTBF} = [(\text{tempo total funcionamento} - \text{tempo perdido}) / (\text{n}^\circ \text{ total de falhas})] \quad (5)$$

$$\text{MTTR} = \text{Soma dos reparos} / \text{n}^\circ \text{ de intervenções} \quad (6)$$

A Figura 10 mostra um recorte da Figura 9, para que fique mais fácil a visualização de cada indicador apresentado anteriormente.

Figura 10 – Recorte JAN.-MAIO/2023 do estudo da progressão dos indicadores chave de performance da U.H.

OEE MENSAL UNIDADE HIDRÁULICA AUTO FORNO					
DESCRIÇÃO	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
01 - Manutenção UNIADDE HIDRÁULICA	19	29	32	22	0
02 - Ferramentaria	51	41	44	65	39
03 - Controle Processo	7	1	6	5	9
04 - Produção	4	2	5	1	2
05 - Limpeza Técnica AM	0	0	0	0	0
06 - Parada Técnica PM	0	0	0	0	0
07 - Setup	0	0	0	8	1
08 - Almoarifado	1	0	3	0	0
09 - Laboratório	0	0	0	0	0
10 - UOMI	0	0	0	0	0
11 - Utilidades	4	80	34	5	30
DISPONIBILIDADE	67%	69%	64%	59%	78%
	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
Performãnce:	73,00%	77,00%	70,00%	66,00%	84,63%
Qualidade	73,00%	77,00%	70,00%	66,00%	84,63%
O.E.E	35,7%	40,9%	31,4%	25,7%	55,9%
	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO
DISPONIBILIDADE TÉCNICA MANUTENÇÃO	87%	85%	89%	89%	97%
MTBF	17,66	20,23	17,84	15,66	44,00
MTTR	2,69	3,45	2,20	1,93	1,18
NÚMERO DE QUEBRAS	16	15	22	23	9

Fonte: (Elaborado pelos próprios autores, 2023)

Como dito anteriormente, a Figura 10 mostra a evolução separada por meses (COLUNAS) e indicadores gerais (LINHAS); como essa foi uma planilha desenvolvida em conjunto com o setor de engenharia de manutenção, ela apresenta alguns itens enumerados de 1 a 11, que são intervenções não ligadas a manutenção diretamente, cabendo análise somente aos indicadores de performance separadas a partir da linha preenchida na cor verde.

A Figura 10, março e abril não havia um plano preventivo elaborado para a unidade hidráulica do alto-forno, eram feitas apenas manutenções corretivas quando o ativo apresentava uma falha funcional, ou seja, que comprometia a função desempenhada por este.



Resultado disto é uma disponibilidade variando entre 59% e 69% até o mês de abril, uma performance abaixo dos 80% nos 4 primeiros meses, uma qualidade também abaixo nos primeiros 4 meses, apresentando um indicador entre 66% e 77%, e um OEE variando de 25,7% a 40,9% entre os meses de janeiro e abril, enquanto os valores ideais considerados pelo World Class OEE são de 90% para disponibilidade, 95% para performance, 99% para qualidade e 85% para o OEE, baseando nesses parâmetros, a cultura do “estraga conserta” não era a melhor metodologia a ser adotada.

Considerando o mês de maio, onde foi feito o processo de filtragem de óleo, troca de mangueiras e tubulações entupidas e planejamento e execução do plano preventivo de manutenção, com atividades mais simples como inspeções de temperatura, vibração e filtragem do óleo a cada três meses conforme prevê o fabricante, já se pode notar uma melhora considerável nos números de performance do ativo, sua disponibilidade subiu para 78%, sua performance passou de 66% no mês de abril para 84,63%, para a qualidade idem, enquanto o OEE mais do que dobrou, indo de 25,7% para 55,9%, uma melhora considerável.

Outros pontos que devemos considerar e que houve melhora foi o MTBF (TEMPO MÉDIO ENTRE FALHAS), que mostra exatamente o tempo médio entre falhas, que do mês de abril para maio saiu de 15,66 horas para 44,00 horas, ou seja, o tempo médio até que esta unidade hidráulica apresente um problema no mês de maio foram de 44 horas; outro ponto a se considerar é o MTTR (TEMPO MÉDIO DE REPARO) que diminuiu de 1,93 horas para 1,18 horas, ou seja, o tempo médio para que essa unidade hidráulica fosse reparada a cada vez que ela apresente alguma falha diminuiu, o que é bom, uma vez que é sinal de falhas cada vez mais simples e fáceis de serem solucionadas; por fim, no mês de maio, a unidade hidráulica apresentou um total de zero falhas por aumento de temperatura das eletrobombas e quaisquer outras falhas que envolvam o fluido hidráulico.

5. CONCLUSÕES

Conforme os objetivos específicos propostos: analisar as falhas potenciais, funcionais e totais da unidade hidráulica e suas causas raízes, aplicar o PCM (Planejamento e Controle de Manuten o) focado no aumento do desempenho da unidade hidráulica; foram realizados procedimentos de análise do fluido hidráulico por meio de relatórios físico-químicos, análises de vibra o, temperatura e elabora o do calendário de 52 semanas para controle e distribui o das atividades de manuten o afim de se obter um ativo atingindo melhor performance, uma vez que na organiza o em questão não era praticadas as atividades de PCM. Com a aplica o das atividades de PCM, por mais que simples, porém, bem elaboradas, constatamos uma melhoria percentual em rela o a performance da unidade hidráulica analisada.

Segundo Alves et al. (2019), o PCM   uma abordagem sistemática para a manuten o preventiva que permite a realiza o de inspe oes e interven oes em equipamentos antes que ocorram falhas. Isso   particularmente importante para unidades hidráulicas de alto forno, que estão sujeitas a condi oes extremas de opera o, como altas temperaturas, pressões e vibra oes.

Com base nas hipóteses mencionadas, obteve-se uma redu o no número de interven oes necessárias de manuten o. Além disso, a aplica o do PCM resultou em um melhor desempenho, qualidade e produ o do equipamento. Com a implementa o desses métodos, foi possível concluir e implementar as análises físico-químicas regulares do fluido, controlar a contamina o sólida de acordo com a ISO 4406 NAS 1638-6, de acordo com o projeto hidráulico, mantendo os padrões do sistema de gestão da qualidade.

Sendo assim,   nítido que um setor de Planejamento e Controle de Manuten o bem elaborado, que preza pela manuten o preventiva com acompanhamento dos indicadores chave de performance, distribui o de atividades de manuten o programadas, mas que não fiquem somente na programa o, mas que sejam executadas, consegue sim melhorar a eficiência e confiabilidade do ativo, o que ficou comprovado nos resultados deste artigo.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, F. P. et al. Aplicação de um plano de controle de manutenção em unidades hidráulicas de alto forno. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 11, n. 2, p. 1-8, 2019.
- BARROS, F. F. et al. Controle avançado de processos em um alto-forno: estudo de caso em uma siderúrgica brasileira. *Revista de Controle e Instrumentação*, v. 22, n. 4, p. 156, 2020.
- BARROS, L. et al. Análise da manutenção em uma unidade hidráulica de um alto-forno. In: *REVISTA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS*, v. 14, n. 2, p. 154-160, 2020.
- LAMAS, Lorenzo Mol. Estudo das contribuições da implantação do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM): estudo teórico de múltiplos casos. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola de Minas, Ouro Preto, 2021.
- MAGRANI, Igor Corrêa Carneiro, SANTOS, Bruno Leal dos. Desenvolvimento de Sistema Informatizado de Gerenciamento da Manutenção para auxílio a empresas terceirizadas. Disponível em: <gestalent.com.br>. Acesso em: 16 março 2023.
- ROSADO, L. P. et al. Simulação do processo de redução no alto-forno usando o software HSC Chemistry. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2019, Florianópolis. Anais [...]. Florianópolis: ABEQ, 2019. p. 38.
- ROCHA, J. L., SILVA, J. L., SANTOS, J. R., & NASCIMENTO, R. C. (2019). Desenvolvimento de um plano de manutenção para uma unidade hidráulica de alto-forno baseado na metodologia RCM. *Revista Brasileira de Manutenção*, 19(1), 1-14.
- SADDI, Isabela Muckenberger; SANTOS, Juliana Pardinho dos; OLIVEIRA, Rogério Francisco de; COUGO, Luiz Felipe. PCM – Planejamento e Controle de Manutenção, estudo de melhoria em uma empresa do Ramo Agropecuário. *ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 38, 2018, Maceió. Anais [...]. Maceió, 2018.
- SENA, Thamires Lucena de. Estudo de Caso: a implantação do planejamento e controle da manutenção em uma indústria do polo de duas rodas de Manaus. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Manaus, 2021.
- SILVA, A. J.; OLIVEIRA, V. L.; SILVA, M. B.; ARAÚJO, L. O. Projeto de um sistema hidráulico para alto-forno com controle de vazão baseado em lógica fuzzy. *Revista Controle & Automação*, São Paulo, v. 29, n. 4, p. 413-426, out./dez. 2018.
- SILVA, A. L. et al. Estudo da cinética de redução do minério de ferro em um alto-forno experimental. In: Congresso Brasileiro de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2018, São Paulo. Anais [...]. São Paulo: ABM, 2018. p. 413.
- TORRES, Fabrício Josino Tomé. Gestão de manutenção: desenvolvimento e implementação de melhorias na manutenção dos equipamentos de uma empresa de Petróleo e Gás. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Centro Universitário de Maringá, Itajubá, 2019.
- ZANINI, Éder Aita. Implantação do planejamento e controle da manutenção em uma empresa fabricante de embalagens metálicas. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade do Valor do Taquari, Lajeado, 2020.