

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**A IMPORTÂNCIA DA LUBRIFICAÇÃO EM UMA TURBINA
DE JATEAMENTO**

**Luis Felipe Ramos de Oliveira
Maria Gabriela Ramos da Silva**

**Pindamonhangaba - SP
2025**

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**A IMPORTÂNCIA DA LUBRIFICAÇÃO EM UMA TURBINA
DE JATEAMENTO**

**Luis Felipe Ramos de Oliveira
Maria Gabriela Ramos da Silva**

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação no Curso Superior de Tecnologia
em Manutenção Industrial

Orientador(a): Prof. Dr. Luis Filipe de Faria
Wiltgen Barbosa

**Pindamonhangaba - SP
2025**

O48i Oliveira, Luis Felipe Ramos de.
A importância da lubrificação em uma turbina de jateamento / Luis Felipe Ramos de Oliveira; Maria Gabriela Ramos da Silva / FATEC Pindamonhangaba, 2025.
58f.: il.

Orientador: Professor Dr. Luis Filipe de Faria Pereira Wiltgen
Barbosa
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2025

1. Manutenção industrial. 2. Lubrificação. 3. Análise de falha.
I. Oliveira, Luis Felipe Ramos de. II. Silva, Maria Gabriela Ramos da Alves. III. Barbosa, Luis Filipe de Faria Pereira Wiltgen. IV. Título.

CDD 621

Sueli Camargo de Souza – Bibliotecária FATEC Pindamonhangaba – CRB/8 7788

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

A IMPORTÂNCIA DA LUBRIFICAÇÃO EM UMA TURBINA DE JATEAMENTO

**Luis Felipe Ramos de Oliveira
Maria Gabriela Ramos da Silva**

Monografia apresentada à Faculdade
de Tecnologia de Pindamonhangaba
para graduação, no Curso Superior de
Tecnologia em Manutenção Industrial.

Membro Interno: Prof. Dr. Luis Filipe de Faria Pereira Wiltgen Barbosa
Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

Membro Interno: Prof. Me. Celio Pacheco de Siqueira

Membro Interno: Prof. Me. Luiz Otávio de Oliveira Arouca

Pindamonhangaba, 10 de julho de 2025.

DEDICATÓRIA

A Deus, autor de maravilhas em nossa vida, cuja presença nos auxiliou a seguir em frente, renovando nossa força e confiança frente as adversidades e desafios rumo a conclusão deste trabalho.

À Nossa Senhora, mãe ternura que acolhe nossas dores, transforma incertezas em coragem e protege nosso caminho com seu manto de amor e esperança.

Às nossas famílias, sobretudo nossos pais, que são nossos maiores incentivadores, por todo amor e cuidado, pela educação e disciplina que nos ensinaram. Nosso verdadeiro pilar.

Aos amigos, que caminharam conosco oferecendo incentivo, coragem, suporte e carinho, sendo essenciais para chegarmos até aqui.

E, com um carinho especial, ao filho que ainda não chegou, mas já transforma o mundo do Luis Felipe. Que ele cresça sabendo que o conhecimento, o esforço e a coragem para seguir em frente podem transformar caminhos.

AGRADECIMENTO

Agradecemos, primeiramente a Deus, por cuidar de todos os momentos e por não nos desamparar diante das dificuldades. Por iluminar nossos caminhos, sustentar nossa fé nos momentos incertos e renovar nossa esperança quando o cansaço parecia maior que a vontade.

À Nossa Senhora, por sua proteção, amor e intercessão durante toda a nossa jornada acadêmica.

À nossa família, que sempre foi nosso porto seguro. Por todo o amor, incentivo e compreensão que foram fundamentais para que pudéssemos enfrentar cada etapa com coragem e determinação. Sem esse suporte, nada disso seria possível.

Aos nossos amigos, que estiveram ao nosso lado nos dias bons e nos dias difíceis, proporcionando não só momentos de descontração, mas também palavras de apoio e motivação. A amizade de vocês tornou essa caminhada mais leve, feliz e inesquecível.

Aos professores, que nos inspiraram com seus exemplos, nos guiaram com sabedoria e compartilharam generosamente seus conhecimentos. Suas orientações foram essenciais para o nosso desenvolvimento e crescimento pessoal e profissional.

Ao nosso orientador, Prof. Dr. Luis Filipe de Faria Pereira Wiltgen Barbosa, pela paciência, disponibilidade e orientação constante. Suas críticas sempre construtivas nos impulsionaram a seguir com mais clareza, responsabilidade e compromisso até chegarmos a esta etapa final.

E, por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para nossa formação e para a realização deste projeto. Cada gesto, palavra e presença deixou uma marca significativa em nossa história. A cada um, o nosso mais sincero e profundo agradecimento.

"Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e
os seus planos serão bem-sucedidos."

Provérbios 16:3.

OLIVEIRA, L. F.; RAMOS, M. G. **A IMPORTÂNCIA DA LUBRIFICAÇÃO EM UMA TURBINA DE JATEAMENTO.** 2025. 58p. Trabalho de Graduação (Curso de Manutenção Industrial). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2025.

RESUMO

Desde a Revolução Industrial, uma das principais inquietações no âmbito industrial tem sido a prevenção de paradas inesperadas nos equipamentos. Ao longo dos anos, as práticas de manutenção evoluíram para incorporar métodos e estratégias que assegurem um desempenho contínuo da produção sem interrupções. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa é destacar a relevância da lubrificação na manutenção industrial, com ênfase específica em rolamentos de uma turbina de jateamento. Um plano de lubrificação eficiente maximiza a vida útil dos componentes e máquinas, especialmente quando executado conforme as recomendações. O foco do estudo foi investigar, por meio da análise de causa raiz, os motivos pelos quais houve falha na lubrificação da turbina, resultando no superaquecimento do rolamento associado; além disso, foram examinados os efeitos dessa falha e sua importância crítica. Utilizando uma abordagem bibliográfica juntamente com um estudo de caso realizado em uma siderúrgica localizada em Pindamonhangaba/SP, procurou-se explorar não apenas o processo de lubrificação, mas também suas implicações quando negligenciada. Os resultados obtidos demonstraram que o procedimento de lubrificação pode ser considerado simples, desde que seja abordado com eficácia e cuidado adequado. Em conclusão, verificou-se que a lubrificação desempenha um papel fundamental como fonte potencializadora dos ganhos operacionais ao proporcionar maior eficiência aos equipamentos e contribuir significativamente para a diminuição dos custos associados à manutenção efetiva.

Palavras-chave: Manutenção industrial. Lubrificação. Análise de falha.

OLIVEIRA, L. F.; RAMOS, M. G. **THE IMPORTANCE OF LUBRICATION IN A BLASTING TURBINE.** 2025. 58p. Undergraduate Work (Industrial Maintenance Course). Faculty of Technology of Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2025.

ABSTRACT

Since the Industrial Revolution, one of the main concerns in the industrial sector has been preventing unexpected equipment downtime. Over the years, maintenance practices have evolved to incorporate methods and strategies that ensure continuous production performance without interruptions. In this context, the objective of this research is to highlight the importance of lubrication in industrial maintenance, with a specific emphasis on the bearings of a blasting turbine. An efficient lubrication plan maximizes the lifespan of components and machines, especially when implemented according to recommendations. The focus of the study was to investigate, through root cause analysis, the reasons why turbine lubrication failed, resulting in overheating of the associated bearing; in addition, the effects of this failure and its critical importance were examined. Using a bibliographical approach along with a case study conducted at a steel mill located in Pindamonhangaba, São Paulo, we sought to explore not only the lubrication process but also its implications when neglected. The results obtained demonstrated that the lubrication procedure can be considered simple, as long as it is approached effectively and with adequate care. In conclusion, it was found that lubrication plays a fundamental role as a source of potential operational gains by providing greater efficiency to equipment and contributing significantly to reducing costs associated with effective maintenance.

Keywords: Industrial maintenance. Lubrication. Failure analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lubrificação por pistola.....	24
Figura 2 – Rolamento autocompensador de rolos.....	26
Figura 3 – Turbina de Jateamento.....	27
Figura 4 – Diagrama de Ishikawa.....	29
Figura 5 – Layout Linha de Inspeção 5.....	31
Figura 6 – Turbina 1 e Turbina 2, respectivamente.....	32
Figura 7 – Turbina 3 e Turbina 4, respectivamente.....	32
Figura 8 – Rolamento 22312 utilizado na turbina.....	33
Figura 9 – Registro de parada.....	34
Figura 10 – Plano de Lubrificação.....	35
Figura 11 – Operações do plano de lubrificações.....	35
Figura 12 – Operação 0080 específica do rolamento da Turbina 4.....	36
Figura 13 – Apropriação do Plano – 1.....	36
Figura 14 – Apropriação do Plano – 2.....	37
Figura 15 – Pistola de graxa a bateria.....	38
Figura 16 – Graxa Sapphire Hi-Temp 2.....	38
Figura 17 – Pontos de lubrificação da turbina.....	39
Figura 18 – cálculo de relubrificação.....	39
Figura 19 – Primeira parada.....	40
Figura 20 – Segunda parada.....	41
Figura 21 - Indicação de temperatura no supervisório da Linha.....	42
Figura 22 – Gráfico das turbinas.....	42
Figura 23 – Posição dos sensores.....	43
Figura 24 – Registro de TF.....	44
Figura 25 – Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe)	45
Figura 26 – 5 Porquês.....	46
Figura 27 – Causa Raiz.....	46
Figura 28 – Plano de Ação.....	47
Figura 29 – Procedimento de Montagem.....	48
Figura 30 – Etapa de lubrificação dos rolamentos.....	48
Figura 31 – Bomba manual de graxa.....	50
Figura 32 – Conjunto montado em bancada.....	51
Figura 33 - Lubrificação antes da montagem do conjunto da turbina...	52

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	Análise de Causa Raiz
NBR	Norma Brasileira Registrada
TF	Tratamento de Falha

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 <i>Objetivo Geral</i>	15
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL	17
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	18
2.3 LUBRIFICAÇÃO	21
2.4 MANCAIS DE ROLAMENTO	23
2.5 ROLAMENTOS	24
2.6 TURBINA DE JATEAMENTO	26
2.7 ANÁLISE DE CAUSA RAIZ	28
3 METODOLOGIA	30
4 ESTUDO DE CASO	31
4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	31
4.2 EQUIPAMENTO DE ESTUDO	32
4.3 DESCRIÇÃO PROCEDIMENTO DE ANÁLISE	33
4.4 ANÁLISE DE FALHA	44
4.5 IMPACTO DA FALHA	47
4.6 PLANO DE AÇÃO	47
4.7 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
REFERÊNCIAS	55

1 INTRODUÇÃO

A Manutenção Industrial contemporânea transcende o caráter reativo de simples reparos, consolidando-se como atividade estratégica de gestão de ativos cujo propósito central é maximizar a disponibilidade dos equipamentos, garantir sua confiabilidade, otimizar custos operacionais e assegurar a segurança das operações. Para um conceito técnico, as normas regulamentadoras definem manutenção como: “a junção de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo supervisão, com o objetivo de manter ou restaurar um item a uma condição que lhe permita executar sua função prevista” (NBR-5462, 1994; BS EN-13306, 2001).

Em plantas siderúrgicas, por exemplo, a confiabilidade dos sistemas mecânicos exerce influência direta sobre a produtividade e a qualidade do produto, de modo que a adoção de programas de manutenção preventiva e preditiva robustos revela-se condição indispensável à competitividade em mercados globalizados.

A manutenção industrial visa assegurar a disponibilidade de máquinas e equipamentos necessários para apoiar e sustentar os processos produtivos de uma indústria, mantendo a preservação ambiental, com confiabilidade, segurança e custos operacionais sustentáveis (KARDEC, NASCIF, 2009).

Para que a Manutenção alcance todo esse objetivo, há a importância indispensável da Lubrificação, responsável pela obtenção da máxima eficiência dos maquinários e processos industriais. Conforme LANSDOWN (2004), a lubrificação industrial consiste na aplicação de uma película protetora lubrificante para suavizar ou eliminar o contato direto entre superfícies de componentes. Esta película é denominada lubrificante.

Associados aos programas de manutenção preventiva, os sistemas de lubrificação garantem que os componentes operem com desempenho otimizado, minimizando o desgaste causado pelo atrito e reduzindo o risco de perda material. Cada máquina ou ferramenta industrial requer, essencialmente, um sistema eficaz de lubrificação para assegurar a integridade dos seus elementos, prevenindo diversas falhas precoces. Isso evita interrupções inesperadas, eleva os custos de manutenção e compromete a eficiência produtiva.

A ausência de uma lubrificação apropriada compromete tanto a durabilidade quanto o desempenho das máquinas, resultando em desgaste prematuro e paradas inesperadas. O atrito e o desgaste são originados pelo contato entre as superfícies, e a forma mais eficaz de mitigá-los é manter as superfícies distantes, utilizando uma camada de lubrificante entre elas. Isso, em essência, define o que é a lubrificação. Os lubrificantes desempenham um papel crucial na operação, pois protegem a integridade e prolongam a vida útil de equipamentos e maquinários. Quando selecionados e aplicados corretamente, óleos e graxas reduzem os danos causados por altas temperaturas, vibrações, corrosão e atritos. Assim, um plano de lubrificação eficiente é fundamental para garantir o funcionamento das máquinas por longos períodos.

Diante disso, nesse escopo, traz-se a importância de um ativo crítico presente nas siderúrgicas, as turbinas de jato de granalha, elas destacam-se como componentes críticos para o tratamento de superfícies metálicas, empregando partículas abrasivas aceleradas por um rotor de pás que, ao se chocar contra a peça, remove impurezas e prepara o material para processos subsequentes de usinagem ou revestimento. Devido às elevadas velocidades de operação e às condições severas de abrasão e impacto a que estão submetidas, tais turbinas dependem fundamentalmente da integridade de seus mancais e rolamentos, cuja durabilidade e desempenho encontram-se diretamente relacionados à eficiência dos métodos de lubrificação aplicados.

O presente estudo de caso concentra-se na ocorrência de um travamento do rolamento de uma turbina de jato de granalha, ocasionado pelo superaquecimento resultante da aplicação inadequada ou ausência de graxa compatível com as exigências de operação. Espera-se, nesta investigação, demonstrar que a escolha de uma graxa com propriedades físico-químicas adequadas e a definição rigorosa de intervalos e métodos de lubrificação são determinantes para a formação de um filme lubrificante capaz de reduzir o atrito, dissipar o calor gerado e proteger contra a contaminação por partículas abrasivas.

A análise técnica deste estudo possibilita uma abordagem aprofundada dos procedimentos de manutenção preventiva e corretiva, evidenciando as consequências diretas da negligência na lubrificação, como aumento do desgaste, geração excessiva de calor e falhas mecânicas que comprometem a produtividade e

disponibilidade do ativo. Além disso, o estudo busca identificar as causas raízes que levaram à falha do rolamento, propondo soluções técnicas e práticas de manutenção que possam mitigar riscos e evitar reincidências.

Para a compreensão abrangente do problema, por meio de inspeções técnicas detalhadas, análise de registros históricos de manutenção e entrevistas com a equipe operacional, serão aplicadas ferramentas de análise de causa raiz, incluindo o Diagrama de Ishikawa e a técnica dos 5 Porquês, para elucidar os fatores que deflagraram o travamento do rolamento. A partir desse diagnóstico, serão propostas recomendações técnicas que incluem a revisão dos procedimentos de lubrificação e montagem do componente, a implementação de *checklists* operacionais de lubrificação com confirmação visual ou controle de quantidade aplicada e o uso da bomba de graxa manual.

Espera-se que as recomendações apresentadas sirvam como um guia prático para a melhoria dos procedimentos de manutenção, promovendo maior confiabilidade e eficiência nos processos industriais.

1.1 PROBLEMA

A falta de lubrificação adequada pode gerar falhas críticas, resultando em paradas não programadas, altos custos de manutenção corretiva, comprometimento da segurança e prejuízos à produção. Muitas vezes, essas falhas são consequências de falhas sistêmicas na rotina de manutenção, falta de inspeções adequadas ou negligência quanto aos procedimentos de lubrificação. Diante disso, surge a necessidade de analisar, em profundidade, como a deficiência no processo de lubrificação contribuiu para a falha em que houve o travamento do rolamento ocasionado pelo superaquecimento decorrente da falta de lubrificação e quais práticas poderiam ter evitado esse evento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Analizar o caso real de uma falha por travamento do rolamento de uma turbina de jato de granalha, ocasionado pela lubrificação deficiente, de modo a

identificar as causas raízes e propor recomendações de melhoria que assegurem a confiabilidade e a disponibilidade do equipamento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Apresentar os princípios fundamentais da lubrificação;
- Identificar os fatores técnicos e operacionais que contribuíram para a ausência ou falha na lubrificação do rolamento;
- Investigar as condições de lubrificação anteriores à falha, avaliando o tipo de graxa empregado, intervalo e método de aplicação;
- Analisar as causas raízes do superaquecimento que causaram travamento do rolamento, aplicando ferramentas como 5 Porquês e Diagrama de Ishikawa;
- Avaliar os impactos operacionais da falha;
- Propor melhorias no plano de ação, incluindo ajustes nos procedimentos de lubrificação e manutenção.

1.3 JUSTIFICATIVA

A importância da lubrificação dentro da Manutenção Industrial é imprescindível, a sua ausência ou excessividade é um problema recorrente na indústria, que afeta diretamente a disponibilidade e a eficiência dos processos produtivos. O aprofundamento nesse tema contribui para fortalecer a consciência sobre a importância da lubrificação adequada como fator crítico de sucesso na operação de equipamentos, principalmente, os rotativos. Este estudo, ao analisar de forma prática uma ocorrência real, visa oferecer contribuições para a melhoria contínua das práticas de manutenção.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta os conceitos e definições no âmbito do conhecimento da manutenção que serão de recorrente uso no desenvolvimento da pesquisa.

2.1 MANUTENÇÃO INDUSTRIAL

Desde a Revolução Industrial, a manutenção tem se apresentado como um desafio significativo. Apesar dos avanços tecnológicos, essa atividade continua sendo complexa e onerosa, em grande parte devido à concorrência acirrada e às novas filosofias de organização e responsabilidade. Esses elementos foram determinantes para uma transformação significativa na abordagem da manutenção nas últimas duas décadas (DHILLON, 2002; MOUBRAY, 1997). A manutenção é algo que se encontra nas indústrias há bastante tempo, e ocupa atualmente a sua quarta geração (TELES, 2019).

A etimologia da palavra "manutenção" remonta aos termos latinos *Manus* e *Tenere*, traduzidos como "manter o que se tem". No contexto industrial, essa origem enfatiza a importância da conservação e do cuidado com os ativos. A manutenção abrange diversas ações técnicas essenciais não apenas para assegurar o funcionamento eficiente de máquinas e equipamentos, mas também para realizar reparos necessários em componentes e ferramentas (Almeida, 2014).

Equipamentos precisam de manutenção periódica, a fim de assegurar a máxima conservação, visando sua operação regularmente e permanente, evitando problemas técnicos que podem interferir em sua produtividade (STEVENSON, 2001). Para Viana (2002, p. 7) a manutenção "é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas". Segundo Batista *et al* (2014, p. 95) "a manutenção é uma atividade estruturada da empresa, integrada às demais atividades que fornece soluções buscando maximizar os resultados."

Mobley *et al.* (2008) ressaltam que, sob uma perspectiva positiva, a manutenção pode ser considerada uma ciência cuja aplicação impactará significativamente todas as outras ciências ao longo do tempo.

Portanto, conceituar manutenção envolve múltiplos aspectos, tais como: disponibilidade, confiabilidade, função do sistema, segurança, meio-ambiente, custos

e supervisão, o que a torna essencial dentro da organização.

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

É comum encontrar uma variedade de perspectivas a respeito dos tipos de manutenção, o que pode dificultar a compreensão adequada dos conceitos envolvidos e das melhores práticas para sua aplicação. Em virtude disso, será discutida a categorização dos tipos de manutenção segundo a NBR 5462 (corretiva, preventiva e preditiva).

2.2.1 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

Refere-se ao conjunto de ações voltadas para evitar falhas ou diminuições de desempenho, realizadas em períodos estabelecidos previamente, conforme um plano elaborado. Como o próprio nome indica, seu foco é a prevenção e mitigação da ocorrência de problemas. Essa abordagem se torna crucial quando a segurança assume uma prioridade elevada.

De acordo com a norma NBR-5462, Manutenção Preventiva consiste nas intervenções feitas em intervalos determinados ou segundo critérios específicos visando diminuir as chances de falha ou degradação do funcionamento de um equipamento.

Pinto e Xavier (2001, p. 39) destacam que “este tipo de manutenção serve para reduzir ou evitar a falha ou quebra no desempenho, baseada em intervalos de tempo”. Os custos deste tipo de manutenção são mais elevados do que os que envolvem a manutenção corretiva, pois é indicado que a empresa efetue o planejamento das intervenções, a fim de antecipar as decisões e poder elaborar ações mais estratégicas relacionadas aos custos, produtividade e segurança.

O objetivo da manutenção preventiva é identificar possíveis falhas e defeitos antes que eles ocorram ou se desenvolvam, evitando assim que os sistemas operem abaixo dos níveis desejados em termos de segurança e confiabilidade. Isso é alcançado através da execução regular de tarefas como inspeções das condições operacionais, serviços funcionais diversos, calibrações e ajustes necessários, além da realização testes frequentes junto a reparações e substituições componentes desgastados (DHILLON, 2006; SMITH & MOBLEY, 2007; XENOS, 2004).

A manutenção preventiva engloba uma série de atividades sistemáticas que

serão abordadas com mais detalhes no desenvolvimento desta pesquisa, sendo a lubrificação, bem como inspeções e reformas periódicas. Em relação aos custos envolvidos na manutenção preventiva estes tendem a ser mais elevados comparativamente às despesas relacionadas à manutenção corretiva; tal diferença ocorre devido à necessidade frequente troca antecipada peças ou reforma equipamentos antes do término natural sua vida útil, semelhante também ao lucro cessante previsto já que muitas vezes essas manutenções demandam paradas dos maquinários (Teles, 2019). Com o tempo, esse custo é minimizado como resultado de um aumento na precisão da manutenção.

Todo programa de manutenção preventiva precisa conter um plano de lubrificação capaz de garantir que as máquinas atuem conforme foram projetadas. (MOBLEY; HIGGINS; SMITH, 2002)

2.2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva refere-se à substituição de componentes e peças que se desgastaram devido ao uso excessivo. Isso implica que a falha no equipamento ou na instalação é identificada e imediatamente tratada. Este tipo de manutenção baseia-se essencialmente na resolução de um problema ou em um desempenho inferior ao esperado, caracterizando-a como uma intervenção emergencial. A manutenção corretiva pode ser categorizada em duas classes: planejada e não-planejada.

Segundo Pereira (2011), a Corretiva caracteriza-se pela condição “o ativo opera até quebrar”, não havendo antecipação da falha. Este método implica na parada da linha e perda de produção além de altos níveis de desgastes ao equipamento. Outro fator que o torna dispendioso é a necessidade de níveis de estoque capazes de suprir a troca imediata da máquina ou componente avariado.

Conforme Bloom (2006), a manutenção corretiva abrange todas as atividades realizadas em máquinas ou equipamentos com problemas, visando repará-los. Dillhon (2006) complementa essa definição descrevendo-a como qualquer ação reparadora necessária para corrigir uma falha ou defeito, retornando o item a um estado operacional satisfatório.

Filho (2008) classifica esse tipo de manutenção em duas categorias: corretiva planejada, onde os reparos são programados para serem realizados após o

surgimento da falha; e corretiva não planejada, também conhecida como emergência, que ocorre imediatamente após a ocorrência da quebra.

CORRETIVA NÃO PLANEJADA: A manutenção corretiva não-planejada corrige falhas inesperadas ocorrendo sem prévio planejamento nem acompanhamento sistemático. Como indicado por Kardec e Nascif (2009), esta abordagem responde apenas às situações já manifestadas sem tempo hábil para organização dos serviços necessários; lamentavelmente ainda é bastante comum sua aplicação indevida. Isso resulta em custos elevados devido às interrupções na produção ocasionadas pelas quebras imprevistas, além disso, gera perdas qualitativas e despesas indiretas relacionadas à manutenção; as consequências podem incluir danos mais extensos aos equipamentos envolvidos.

CORRETIVA PLANEJADA: Em contraste com a manutenção corretiva não planejada, na manutenção corretiva planejada você está removendo a falha antes que ela atinja a falha funcional; elimina a falha funcional tratando a falha (ou seja, modo e efeito) por meio da avaliação da condição do ativo. Algumas vezes na manutenção industrial, analisando a árvore de criticidade dos equipamentos para o processo de produção, costumamos implementar a política de manutenção corretiva planejada. Este método é aplicável a equipamentos com baixos custos operacionais, que possuem unidades sobressalentes no lugar, são fáceis de manter e não levam a uma alta perda de produção (Pereira, 2011).

2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é um processo que envolve o monitoramento de variáveis e parâmetros de desempenho de máquinas e equipamentos, visando determinar o momento mais adequado para intervenções, assegurando assim a máxima eficiência do ativo (OTANI e MACHADO, 2008 apud COSTA, 2013).

Conforme Kardec e Nascif (2009), a manutenção preditiva consiste em acompanhar de forma constante os indicadores de condição e desempenho dos equipamentos. Essa técnica possibilita identificar rapidamente mudanças que possam sinalizar potenciais falhas ou complicações operacionais no futuro, oferecendo uma visão prévia do que pode acontecer em determinados cenários. Essa estratégia é essencial para evitar interrupções não programadas e diminuir os gastos relacionados às manutenções corretivas de urgência.

As vantagens da adoção da manutenção preditiva estão, entre outras, em menores demandas de tempo e dinheiro para manutenção, alta antecipação da identificação de falhas e melhores condições de funcionamento do equipamento (MIRSHAWKA, 1991 apud REIS *et al.*, 2010). Para organizações de manutenção, proporciona ao departamento de manutenção o benefício de eliminar a desmontagem desnecessária de equipamentos para fins de inspeção. A manutenção preditiva é fortemente promovida como uma prática de manutenção superior em comparação com outros tipos de manutenção, pois utiliza equipamentos com as mais modernas tecnologias no mercado.

Dentre as técnicas frequentemente empregadas nas estratégias de manutenção preditiva incluem-se: inspeção sensitiva, análise vibracional, termografia e ferrografia (TOAZZA e SELLITO, 2015).

2.3 LUBRIFICAÇÃO

Segundo Viana (2012), a lubrificação desempenha um papel crucial nas atividades industriais, especialmente no contexto da manutenção. Sua relevância se destaca na preservação de componentes mecânicos em máquinas e equipamentos. O autor observa que o principal objetivo da lubrificação é minimizar o atrito entre partes móveis sobrepostas, como engrenagens, mancais e sistemas de redução, prevenindo assim o desgaste excessivo.

A lubrificação industrial é uma prática comum dentro das estratégias de manutenção preventiva; quando aplicada corretamente, ela pode prolongar a vida útil e otimizar a disponibilidade dos maquinários. Dessa forma, torna-se uma ferramenta eficiente para reduzir custos enquanto promove aumento nos lucros e produtividade das indústrias (MOBLEY, 2008). Dentro do escopo da manutenção industrial, essa operação é essencial para assegurar que os ativos estejam disponíveis conforme necessário.

Na prática da manutenção industrial a lubrificação é uma operação fundamental para garantir a disponibilidade dos ativos. A lubrificação industrial é um processo de prevenir falhas, evitar quebras e desempenho operacional, obedecendo um plano de lubrificação previamente de gestão industrial, baseado em uma programação de um intervalo de tempo (KARDE, NASCIF, 2009).

Ferreira (2009) define a lubrificação como um processo pelo qual ocorre diminuição do atrito entre duas superfícies móveis por meio da inserção de um fluido específico. Além disso, a lubrificação proporciona vantagens ao sistema como um todo, como a menor dissipação de energia na forma de calor, redução da temperatura, diminuição dos casos de corrosão, vibrações, ruído e desgaste (KARDEC, 2009). Deste modo, com a eliminação ou redução do contato entre as superfícies sólidas, intuitivamente chega-se a uma definição que seu desgaste também será reduzido. Assim que uma película de lubrificante é espalhada sobre as superfícies, as moléculas do lubrificante iniciam um movimento deslizante entre si. Isso resulta na geração de uma força contrária a esse deslocamento, conhecida como força de atrito. Neste contexto, o fenômeno observado é denominado atrito fluído, distinguindo-se do atrito sólido. Com isto é possível concluir que a lubrificação conduz à transformação do atrito sólido em atrito fluído (ROUSSO, 1990, p. 26).

Na atualidade os equipamentos são desenvolvidos para atividades de maior precisão e alta produção, logo, ao negligenciar a lubrificação se pode causar impactos catastróficos. Salienta-se que um plano de lubrificação deve envolver a média gestão e o pessoal de planta, sendo necessário integrá-los de modo que saibam da importância da lubrificação para a performance da empresa (MOBLEY; HIGGINS; SMITH, 2002)

O resultado de um eficiente programa de lubrificação pode ser caracterizado pelo aumento de produtividade, confiabilidade, disponibilidade e segurança das máquinas e equipamentos. Além dos citados benefícios, a lubrificação, também, traz a redução de energia, ruído, custos de manutenção, corrosão e consumo de lubrificantes (SKF, 2012).

2.3.1 LUBRIFICANTES

Os lubrificantes são definidos como materiais empregados entre duas superfícies sólidas com o objetivo de minimizar o atrito através da formação de uma película lubricante (LANSDOWN, 2004). Além de sua função primordial de reduzir a fricção em superfícies metálicas, os lubrificantes desempenham diversos papéis adicionais: controle térmico e prevenção da corrosão; atuação como isolantes elétricos; transmissão de potência hidráulica; amortecimento de impactos; e criação de vedações (graxas) (LIANG; TOTTEN, 2004)

A funcionalidade fundamental dos lubrificantes reside na capacidade de formar uma barreira que impede o contato direto entre superfícies móveis, resultando em um atrito minimizado que requer menor esforço e previne desgaste precoce dos componentes. Com o passar do tempo, novas funções foram incorporadas aos lubrificantes, incluindo propriedades anticorrosivas, capacidades vedadoras e remoção eficaz de contaminantes indesejáveis no sistema (Pereira, 2011).

De acordo com Lansdown (2004), os lubrificantes podem ser classificados em gasoso, líquido e semissólido. Contudo, os mais utilizados são os líquidos e semissólidos, como óleos e graxas.

2.3.1.1. GRAXA

Os lubrificantes semissólidos, ou graxos são definidos como [...] uma combinação semissólida de produtos de petróleo e um sabão ou mistura de sabões, adequada para certos tipos de lubrificação (CARRETEIRO, 2006, p. 85). São obtidas através da dispersão de um agente aglutinante num líquido (ROUSSO, 1990, p. 50), ou [...] proveniente da dispersão de um agente engrossador em um líquido lubrificante (CARRETEIRO, 2006, p. 85).

Segundo o Instituto Francês do Petróleo (1984), a definição mais utilizada de graxa lubrificante é a publicada pela American Society for Testing and Materials - ASTM D 288-61, a qual diz que uma graxa lubrificante é um produto de consistência semi-fluido a sólido, obtido por dispersão de um agente espessante em meio a um fluido lubrificante. Para alcançar certas propriedades especiais, produtos de adição, ou seja, aditivos podem ser inclusos (MOTEURS, 1985).

2.4 MANCAIS DE ROLAMENTO

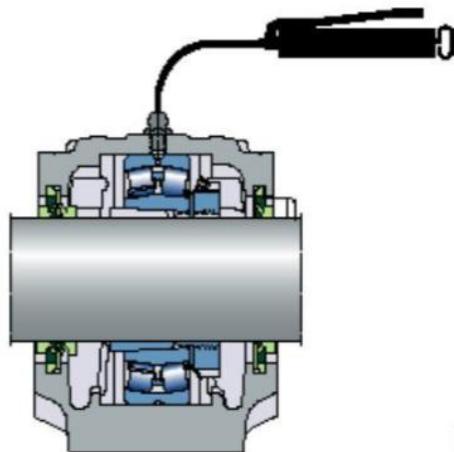
De acordo com Norton (2013, p. 623), o termo mancal se refere a uma situação em que "duas partes apresentam movimento relativo, caracterizando-se como um mancal independentemente de sua forma ou estrutura". O autor menciona que tais componentes podem girar, deslizar ou combinar essas ações ao mesmo tempo, e geralmente requerem lubrificação para diminuir o atrito e dissipar o calor gerado.

Mancais que são lubrificados com graxa e instalados em locais de fácil acesso podem ser desmontados para trocar a graxa comprometida ou simplesmente para

adicionar mais lubrificante, assegurando assim a diminuição do atrito. Essas manutenções podem ser feitas anualmente ou conforme as demandas que surgirem. Normalmente, esses mancais possuem pinos graxeiros e aberturas que direcionam a graxa para o interior do rolamento. É importante destacar que uma quantidade excessiva de graxa pode ser muito danosa para o rolamento. Se não for viável controlar a quantidade adequada de lubrificação, recomenda-se o uso de válvulas que eliminam o excedente, mantendo somente o necessário (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Os mancais empregados em equipamentos industriais que utilizam graxa como lubrificação podem adotar várias técnicas, entre elas a lubrificação manual com a ajuda de uma pistola como mostra a Figura 1. Neste método, a graxa é introduzida por meio do pino graxeiro, utilizando um bico que direciona o lubrificante pressurizado para o interior do mancal, que é acionado por uma bomba (PAULI; ULIANA, 1997).

Figura 1 – Lubrificação por pistola



Fonte: Supreme Lubrificantes

2.5 ROLAMENTOS

Os rolamentos são componentes imprescindíveis para a maioria das máquinas industriais. Eles são responsáveis pelo movimento entre duas ou mais partes de uma máquina, seja esse movimento linear ou rotacional. Além disso, atuam como uma barreira contra o desgaste causado pela fricção ao promover o deslizamento eficiente entre as superfícies (MACINTYRE, 1997).

Belmiro e Carretero (2006) ressaltam que a principal função dos rolamentos é minimizar a fricção entre as partes móveis sólidas dentro do maquinário, permitindo assim que suportem cargas específicas. O autor destaca ainda que a maior parte dos rolamentos é composta por um anel interno e um externo; elementos rolantes (rolos ou esferas) e uma gaiola.

De acordo com Mais (2002), as falhas de rolamentos são causadas devido a lubrificação contaminada ou inadequada, sobrecargas, montagem ou operação incorreta do equipamento, idade avançada (fadiga subsuperficial), passagem de corrente indevida, falso brinelamento por vibrações de máquinas adjacentes ou transporte incorreto.

Em um contexto de falha por lubrificação, segundo a TIMKEN, as causas típicas incluem graxa ou viscosidade de óleo inadequadas, baixa vazão de lubrificante, película fina de lubrificante por cargas altas/baixa RPM ou altas temperaturas de operação. Com isso, a escolha do lubrificante é importante.

A seleção da graxa deve levar em conta fatores como temperatura, velocidade de rotação e carga às quais o rolamento estará submetido em condições normais de operação. Destaca-se o uso da graxa em rolamentos pela sua capacidade de permanência no interior das peças, proporcionando lubrificação eficiente e atuando como uma barreira contra contaminantes que possam comprometer as pistas de rolagem (SKF, 1988; CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

2.5.1 AUTOCOMPENSADOR DE ROLOS

Os rolamentos autocompensadores de rolos, como mostra a Figura 2, possuem duas carreiras de rolos com uma pista esférica comum no anel externo e duas pistas no anel interno inclinadas em um ângulo em relação ao eixo do rolamento. Esses rolamentos são insensíveis ao desalinhamento do eixo em relação ao mancal, tendo em vista que eles compensam esse desalinhamento que pode ser causado, por exemplo, por deflexão do eixo. Os rolamentos autocompensadores de rolos são projetados para acomodar cargas radiais pesadas, assim como cargas axiais pesadas em ambas as direções (SKF, 2001).

Figura 2 – Rolamento autocompensador de rolos



Fonte: NSK

2.5.2 QUANTIDADE DE GRAXA

A quantidade de graxa utilizada no reabastecimento do lubrificante no interior do rolamento pode ser estimada aplicando a Equação 1, que visa estimar qual o valor mássico necessário, evitando excessos. Vale ressaltar que de acordo com as dimensões dos mancais a graxa deverá ser disponibilizada para garantir a eficiência e a confiabilidade do equipamento (TECNOLUB, 2016; TELES, 2017).

Ressalvando que todas as estimativas devem ser aplicadas e monitoradas a posteriormente, visando atingir a melhor lubrificação para o rolamento.

$$Qg = 0,005 \cdot D \cdot B$$

Onde:

Qg = quantidade de graxa [g];

D = diâmetro externo do rolamento [mm];

B = largura do rolamento [mm].

2.6 TURBINA DE JATEAMENTO

A turbina é o elemento central de qualquer máquina de jateamento, desempenhando um papel crucial na realização do processo. É por criar um fluxo intenso e rápido de material abrasivo, essencial para a limpeza, preparação e acabamento adequados das superfícies. (TURBOJATO, 2023)

São dispositivos rotativos providos de palhetas que aceleram por

centrifugação partículas de abrasivos alimentadas continuamente pelo centro. Em termos energéticos, eles superam significativamente as pistolas de sucção e bicos de pressão, ou seja, com a mesma potência instalada podem realizar um volume de serviço muito maior. (JATOMAQ)

A Figura 3 a seguir ilustra um modelo de turbina conforme descrições acima.

Figura 3 – Turbina de Jateamento



Fonte: Ancoblast

As turbinas lançam o abrasivo utilizando força centrífuga nas direções corretas e na proporção necessária. Seu funcionamento se assemelha ao dos ventiladores ou das bombas centrífugas. Além disso, os sistemas podem incorporar várias turbinas dispostas estrategicamente para garantir que o abrasivo atinja toda a superfície das peças submetidas ao jateamento. O número ideal dessas turbinas depende da forma e do tamanho dos componentes a serem limpos. Geralmente, a potência disponível deve ser suficiente para alcançar o acabamento superficial desejado em uma única passagem com velocidade apropriada (CYM MATERIALES S.A.).

Atualmente, essa técnica está amplamente adotada na indústria para tratamentos superficiais em componentes estruturais devido à sua capacidade de induzir tensões residuais compressivas nas superfícies tratadas, resultando em um aumento significativo da resistência à fadiga dessas partes. Além disso, promove também endurecimento superficial por meio do encruamento do material envolvido nesse procedimento. O jateamento provoca alterações mecânicas na microestrutura dos materiais tratados melhorando suas propriedades mecânicas essenciais, prolonga assim sua durabilidade funcional ao mesmo tempo que elimina microfissuras e sela micro porosidades (ALMEN, 1963).

2.7 ANÁLISE DE CAUSA RAIZ

A análise de causa raiz consiste na investigação da falha e identificação da sua causa principal, permitindo que sejam implementadas ações corretivas eficazes. De acordo com Uberoi *et al.* (2004), a análise de causa raiz tem como objetivo descobrir o que ocorreu, por que ocorreu e o que fazer para prevenir a reincidência do problema. Diferentemente de simplesmente examinar os fatores que levaram ao surgimento ou à intensificação do problema, a análise da causa raiz busca identificar o motivo essencial por trás da questão. Essa causa fundamental é definida como aquela sem a qual o problema não teria se manifestado. Portanto, apenas através da sua eliminação com intervenções corretivas podemos assegurar que o problema não retornará e será resolvido de forma definitiva.

Rooney e Heuvel (2004), destacam algumas características essências da análise de causa raiz:

- Facilita a identificar o que ocorreu, por que ocorreu e como ocorreu;
- Previne recorrência do problema;
- Gera em ações eficazes para prevenir recorrências.

Das ferramentas de ACR mais utilizadas, destacam-se o Diagrama de Ishikawa e o método dos 5 porquês.

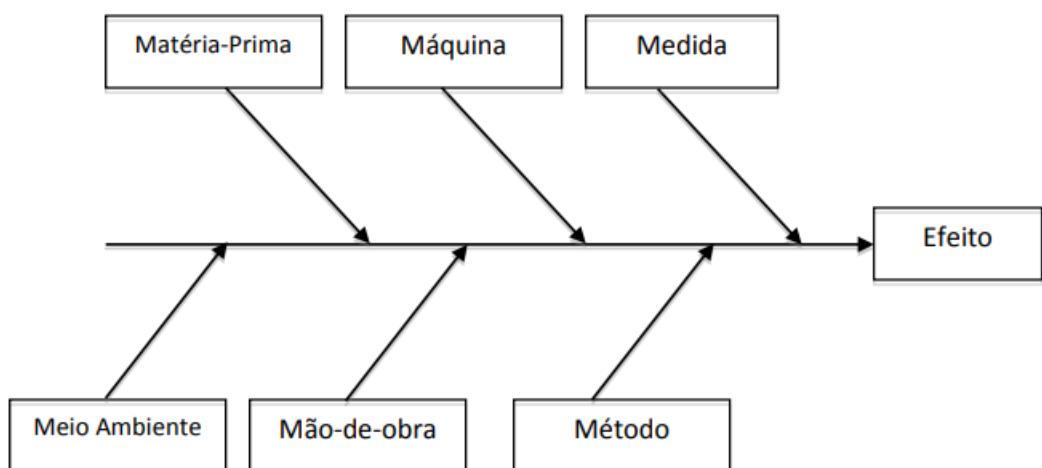
2.7.1 DIAGRAMA DE ISHIKAWA

O diagrama de Ishikawa, também é conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe – em virtude da sua semelhança com a estrutura esquelética do peixe (Campos, 1992; Slack, 2002). Segundo Slack *et al.* (2002), é um método eficaz na busca para encontrar as causas raízes do problema.

O diagrama começa focando o efeito, que está localizado à direita na Figura 4; este efeito pode ser um problema relacionado à qualidade, uma situação desejada, ou qualquer condição descrita claramente. Segundo Campos (1992) e Ishikawa (1993), as palavras que aparecem nas pontas das ramificações do diagrama da Figura 4 são as categorias de causas, que podem ser classificadas como matérias-primas, máquinas, medidas, meio ambiente, mão-de-obra e método – os chamados 6Ms; Campos (1992) ainda os classifica como fatores de manufatura (em se tratando da análise de processo de uma manufatura). Slack *et al* (2002) observam que outras

classificações também podem ser aplicáveis às extremidades das ramificações, dependendo da natureza do problema investigado. No entanto, a abordagem utilizando os 6Ms prevalece devido à sua popularidade prática, mesmo quando nem todas as categorias são sempre necessárias nessas análises.

Figura 4 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: (adaptado de Campos, 1992, Slack *et al.*, 2002)

2.7.2 CINCO PORQUÊS

Ohno (1997) explica o método dos 5 por quês usado no sistema Toyota de produção para que se chegue à causa raiz de um problema. O método consiste em perguntar o porquê de um problema sucessivas vezes para se encontrar a causa raiz. Terner (2008) afirma que os por quês é uma ferramenta importante para a ACR, pois permite através de vários questionamentos a separação do que é causa e do que é efeito, contribuindo para criação de hipóteses reais da causa do problema a ser tratado.

Oribe (2020) descreve a ferramenta intitulada como Os 5 Porquês como uma técnica sistemática na análise de causa raiz, onde a partir de um problema levantado é perguntado o porquê daquele acontecimento de forma sequencial construindo um mapa de causas até chegar na origem do problema. O autor ainda salienta que a quantidade de vezes de se perguntar o porquê é apenas uma referência devido estudos que revelam que a causa raiz geralmente é identificada mais ou menos no quinto porque, porém, não é uma regra, podendo haver mais ou menos porquês.

3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa é caracterizada como um estudo de caso com características exploratórias e descritivas, permitindo uma análise detalhada do problema dentro de um cenário real. A pesquisa ocorrerá em três fases principais: revisão bibliográfica, coleta de dados e análise da falha.

Na primeira fase, a revisão bibliográfica incluirá o uso de materiais já elaborados: livros, artigos e encyclopédias na busca de conhecimentos sobre a Manutenção industrial, a Lubrificação, Turbinas de Jateamento, Rolamentos e ferramentas de Análise de falhas. Essa busca de correlacionar com o estudo de caso e ver na prática tudo aquilo visto na teoria.

A segunda fase, coleta de dados, incluirá coleta de registros da operação, registro no sistema do equipamento, planos, procedimentos e ordens de manutenção. Depois, conduzindo entrevistas com operadores do jato, mantenedores e engenheiro responsável, objetivando a coleta de dados sobre as práticas operacionais, a percepção da importância da lubrificação e experiências prévias relacionadas a falhas. Finalizando com a observação e evidências das condições de trabalho, estado da turbina, componentes e ferramentas de lubrificação.

A terceira fase, análise da falha, será iniciada com a codificação dos dados coletados para chegar à causa raiz do estudo de caso proposto utilizando duas ferramentas: o Diagrama de Ishikawa para mapear as causas potenciais da falha, considerando fatores como pessoas, processos, equipamentos e materiais; e a técnica dos 5 Porquês será aplicada para aprofundar a investigação e descobrir a verdadeira causa raiz do superaquecimento do rolamento que causou o travamento da turbina de jateamento.

Por fim, com base nas análises realizadas, surgirá um plano de ação que incluirá ações a fim de prevenir reincidências e melhorar as condições de operação e manutenção do equipamento.

4 ESTUDO DE CASO

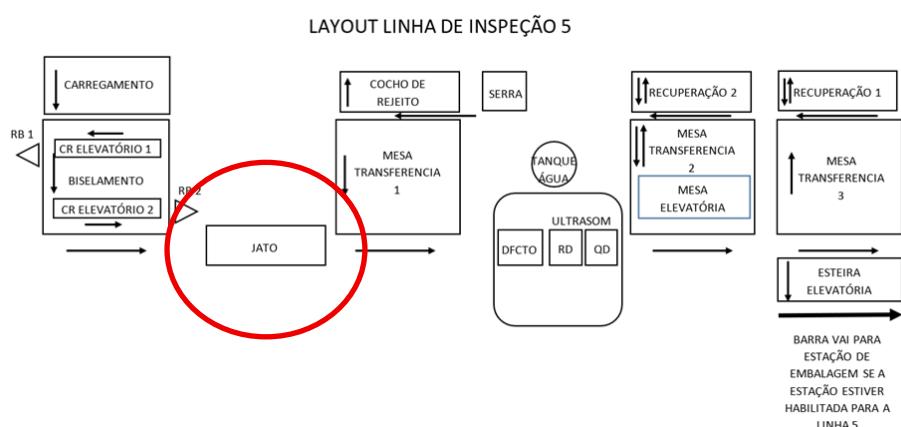
Neste caso, foi evidenciada a falha ocorrida em uma turbina de jateamento, devido à falta de lubrificação no rolamento. Este estudo se baseia em uma revisão bibliográfica realizada no capítulo 2, que abordou temas fundamentais como manutenção industrial, tipos de manutenção, lubrificação, rolamentos, turbinas de jateamento e técnicas de análise de causa raiz.

A análise da falha será realizada utilizando ferramentas como o Diagrama de Ishikawa e a técnica dos 5 Porquês, que permitiram identificar a causa raiz do problema. A conexão entre a teoria apresentada na revisão bibliográfica e a prática observada no estudo de caso será enfatizada, demonstrando como a falta de lubrificação impactou a operação da turbina, ressaltando a importância de uma manutenção adequada para garantir a eficiência e a longevidade dos equipamentos industriais. Este capítulo, portanto, não apenas ilustra a aplicação prática dos conceitos teóricos, mas também reforça a relevância da lubrificação na manutenção industrial.

4.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O presente estudo de caso está localizado em uma usina siderúrgica na área de Acabamento de barra de aço laminada, dentro de uma Linha de Inspeção, como mostra a Figura 5, considerada o carro chefe da área, além de ser uma linha crítica e de extrema importância para a produção.

Figura 5 – Layout Linha de Inspeção 5



Fonte: Próprio Autor

O jato de granalhas é composto por 4 turbinas, mostradas nas Figuras 6 e 7, elas são responsáveis pela projeção de partículas de granalhas na superfície das barras para remoção de impurezas superficiais.

Este equipamento rotativo opera sob condições severas de abrasão e impacto, com rotações elevadas, exigindo alto grau de confiabilidade mecânica

Figura 6 – Turbina 1 e Turbina 2, respectivamente



Fonte: Próprio Autor

Figura 7 – Turbina 3 e Turbina 4, respectivamente



Fonte: Próprio Autor

4.2 EQUIPAMENTO DE ESTUDO

Foi escolhido para estudo a turbina 4, em que o componente crítico analisado é um rolamento autocompensador de rolos 22312, conforme mostra a Figura 8, instalado no lado do rotor da turbina, projetado para suportar cargas radiais elevadas e moderadas cargas axiais, sendo ideal para condições com desalinhamentos e vibrações.

Figura 8 – Rolamento 22312 utilizado na turbina



Fonte: Próprio Autor

4.3 DESCRIÇÃO PROCEDIMENTO DE ANÁLISE

A falha real iniciou-se no dia 30 de novembro de 2024 às 00h41, evidenciado na Figura 9 o registro da parada realizado no sistema, o operador da máquina comunicou a manutenção que a turbina 4 do jato de granalhas havia parado de funcionar. Em conversa com o operador, ele alegou que a temperatura da turbina 4 estava alta e oscilante antes de travar. Após análise dos mantenedores, concluiu-se que o conjunto da turbina teria que ser substituído. Foi iniciada a troca e liberada a máquina às 10h34 do mesmo dia. Sendo assim, totalizando 547 minutos de parada, ou seja, nove horas e sete minutos. Atingindo o gatilho de parada do equipamento.

Figura 9 – Registro de parada

Status de Equipamento																				
De:	30/11/2024 00:00:00		a	01/12/2024 23:59:59		<input type="button" value="..."/>														
Local:	Pindamonhangaba																			
OP/Operação:	<input type="text"/>	<input type="button" value="..."/>	/	<input type="text"/>	<input type="button" value="..."/>	<input type="button" value="..."/>														
Filtrar Status dos Filhos:	<input checked="" type="checkbox"/>																			
Exibir Informações de Produção:	<input type="checkbox"/>																			
Filtrar apenas Paradas:	<input checked="" type="checkbox"/>																			
Motivo de Parada:	<input type="text"/>																			
Tipo de Parada:	<input type="text"/> InterruptionMaintenance																			
Equipamento Causador:	<input type="text"/>																			
Responsável:	<input type="text"/>																			
<input style="margin-right: 10px;" type="button" value="Filtrar"/> <input type="button" value="Nova Parada"/>																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Data Inicial</th> <th>Data Final</th> <th>Duração</th> <th>Equipamento</th> <th>Tipo de Parada</th> <th>Motivo de Parada</th> <th>Turno/Turma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30/11/2024 00:41:12</td> <td>30/11/2024 10:34:19</td> <td>0d 09:53:07</td> <td>Linha De Inspeção 5</td> <td>Interrupção - Manutenç...</td> <td>5006 - IM - Interrupção Manutenção > 0074 - Mecâni...</td> <td>Turno A/TA</td> </tr> </tbody> </table>							Data Inicial	Data Final	Duração	Equipamento	Tipo de Parada	Motivo de Parada	Turno/Turma	30/11/2024 00:41:12	30/11/2024 10:34:19	0d 09:53:07	Linha De Inspeção 5	Interrupção - Manutenç...	5006 - IM - Interrupção Manutenção > 0074 - Mecâni...	Turno A/TA
Data Inicial	Data Final	Duração	Equipamento	Tipo de Parada	Motivo de Parada	Turno/Turma														
30/11/2024 00:41:12	30/11/2024 10:34:19	0d 09:53:07	Linha De Inspeção 5	Interrupção - Manutenç...	5006 - IM - Interrupção Manutenção > 0074 - Mecâni...	Turno A/TA														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Equipamento Causador</th> <th>Responsável</th> <th>Origem</th> <th colspan="4">Observação</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Jato Granalha</td> <td>---</td> <td>Automação</td> <td colspan="4">FALHAS NA TURBINA DO JATO DE GRANALHA</td> </tr> </tbody> </table>							Equipamento Causador	Responsável	Origem	Observação				Jato Granalha	---	Automação	FALHAS NA TURBINA DO JATO DE GRANALHA			
Equipamento Causador	Responsável	Origem	Observação																	
Jato Granalha	---	Automação	FALHAS NA TURBINA DO JATO DE GRANALHA																	

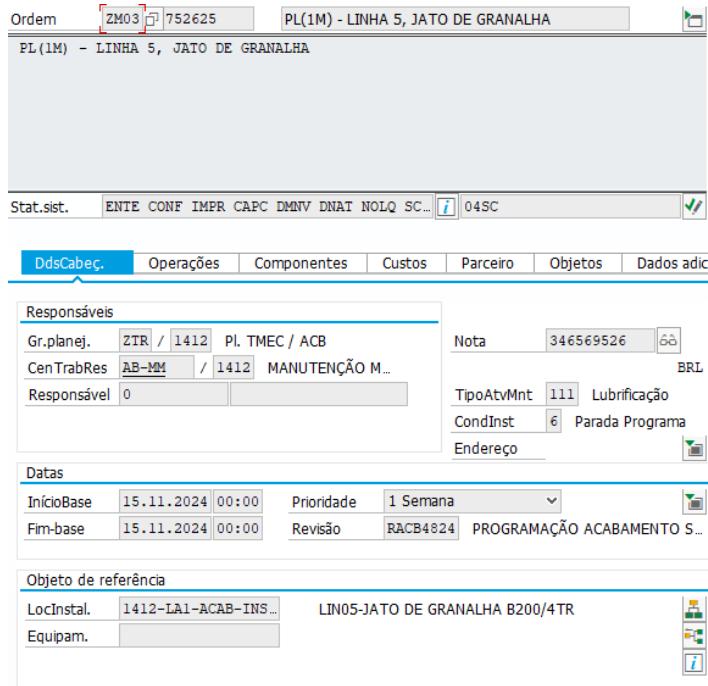
Fonte: Próprio Autor

Dois pontos muito importantes que devem ser ressaltados e mencionados antes a análise de falha são:

4.3.1 Avaliação 1

Esta ocorrência se deu após a execução de uma parada programada de manutenção preventiva, ocorrida no dia 27 de novembro de 2024, ou seja, 3 dias antes da ocorrência da corretiva, cuja programação incluía o plano de lubrificação das turbinas em que foi executado. Conforme evidencia a Figura 10, o plano é mensal.

Figura 10 – Plano de Lubrificação



Fonte: Próprio Autor

Na aba de ‘Operações’, pode-se encontrar as operações descritas no plano, como pode ser visto na Figura 11, e especificamente, na operação 0080, visto na Figura 12, o descriptivo da lubrificação dos mancais de rolamentos da Turbina 4, a qual ocorreu a falha.

Figura 11 – Operações do plano de lubrificações

Operações												
Oper	CenTrab	Ce...	Ch...	ChvMo...	Txt.breve operação	TD	Dur.	Un	N...	Trab.	Un	CdCál
0005	AB-MM	ZM04			EXECUTAR PADRÃO DE SEGURANÇA			5 MIN	1		5 MIN	Calcular tra...
0010	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MOTOR - TURBINA 1			240 MIN	2		480 MIN	Calcular tra...
0020	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MANCAL - TURBINA 1			10 MIN	1		10 MIN	Calcular tra...
0030	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MOTOR - TURBINA 2			10 MIN	1		10 MIN	Calcular tra...
0040	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MANCAL - TURBINA 2			10 MIN	1		10 MIN	Calcular tra...
0050	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MOTOR - TURBINA 3			10 MIN	1		10 MIN	Calcular tra...
0060	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MANCAL - TURBINA 3			10 MIN	1		10 MIN	Calcular tra...
0070	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MOTOR - TURBINA 4			10 MIN	1		10 MIN	Calcular tra...
0080	AB-MM	ZM04			LUBRIFICAR MANCAL - TURBINA 4			10 MIN	1		10 MIN	Calcular tra...

Fonte: Próprio Autor

Figura 12 – Operação 0080 específica do rolamento da Turbina 4

LUBRIFICAR MANCAL – TURBINA 4

ATIVIDADE:

Lubrificar Mancais da turbina 4.

FERRAMENTAS: Kit ferramentas para Lubrificação

MATERIAIS: 2 Mancais (Rolamento SKF 22312)

Graxa ITW Rocol SAPPHIRE HI-TEMP2

QT. 30 Gramas|

Fonte: Próprio Autor

Uma observação válida é que todas as operações de mancal têm o mesmo descritivo, para todas as turbinas é o mesmo procedimento, conforme está na Figura 12.

Como mencionado inicialmente, o plano foi devidamente executado, registrado e encerrado no sistema. A apropriação conforme mostra nas Figuras 13 e 14 serve como comprovação de que o plano foi efetivamente realizado.

Figura 13 – Apropriação do Plano - 1

Ordem	57752625	PL(1M) - LINHA 5, JATO DE GRANALHA
Operação	0010	LUBRIFICAR MOTOR - TURBINA 1
Status sistema	CONF ENTE IMPR	
Dados de confirmação		
Confirmação	159845183 / 4	140
Centro trabalho	AB-MM	1412 MANUTENÇÃO MECÂNICA ACABAMENTO
Nº pessoal	37129153	MARIA GABRIELA RAMOS DA SILVA RubrSal.
Trabalho real	60 MIN	Tipo ativid.
		Data lançamento 02.12.2024
<input checked="" type="checkbox"/> Conf.final <input checked="" type="checkbox"/> S/trab.restante <input type="checkbox"/> Critério p/cálc		
<input type="checkbox"/> Dar baixa res. <input type="checkbox"/> Trab.restante 0 MIN		
Início trabalho	27.11.2024 08:30:00	Duraç.real conf 0 MIN
Fim do trabalho	27.11.2024 09:30:00	Fim previsão 24:00:00
Causa desvio		
Txt.confirmação	<input type="checkbox"/> Existe txt.descr. 	
Dados de confirmação - total		
Trab.real acum.	120 MIN	Duraç.real 42 MIN
Trabalho prev.	120 MIN	Duração roteiro 42,0 MIN
Início real	27.11.2024 08:30:00	Fim real 27.11.2024 09:30:00

Fonte: Próprio Autor

Figura 14 – Apropriação do Plano - 2

Ordem	57752625	PL(1M) - LINHA 5, JATO DE GRANALHA	
Operação	0010	LUBRIFICAR MOTOR - TURBINA 1	
Status sistema	CONF ENTE IMPR		
Dados de confirmação			
Confirmação	159845183 / 1	I40	
Centro trabalho	AB-MM	1412 MANUTENÇÃO MECÂNICA ACABAMENTO	
Nº pessoal	37114227	SARAH SHAYENE DA SILVA FERN...	
Trabalho real	60 MIN	Tipo ativid.	
		Data lançamento 28.11.2024	
<input checked="" type="checkbox"/> Conf.final	<input checked="" type="checkbox"/> S/trab.restante	Critério p/cálc	
<input type="checkbox"/> Dar baixa res.	Trab.restante	0 MIN	
Inicio trabalho	27.11.2024 08:30:00	Duraç.real conf	
Fim do trabalho	27.11.2024 09:30:00	Fim previsão	
Causa desvio			
Txt.confirmação		<input type="checkbox"/> Existe txt,descr. 	
Dados de confirmação - total			
Trab.real acum.	120 MIN	Duraç.real	42 MIN
Trabalho prev.	120 MIN	Duração roteiro	42,0 MIN
Inicio real	27.11.2024 08:30:00	Fim real	27.11.2024 09:30:00

Fonte: Próprio Autor

Os registros acima são das duas mecânicas responsáveis pela lubrificação da área. Uma observação importante para não haver dúvidas é que apesar de mostrar apenas a operação 0010 como apropriada, todas as operações conforme mostradas na Figura 12, contemplam nesse registro. O que ocorre é que o método de planejamento de ordens da área é feito apenas na primeira operação do plano.

A metodologia de lubrificação foi realizada através de uma pistola de graxa a bateria SKF TLGB 20 mostrada na Figura 15.

Figura 15 – Pistola de graxa a bateria



Fonte: Próprio Autor

A graxa utilizada, como descrito no plano, é a Sapphire Hi-Temp 2, indicada na Figura 16, da marca Rocol, projetada para altas temperaturas e rotações.

Figura 16 – Graxa Sapphire Hi-Temp 2

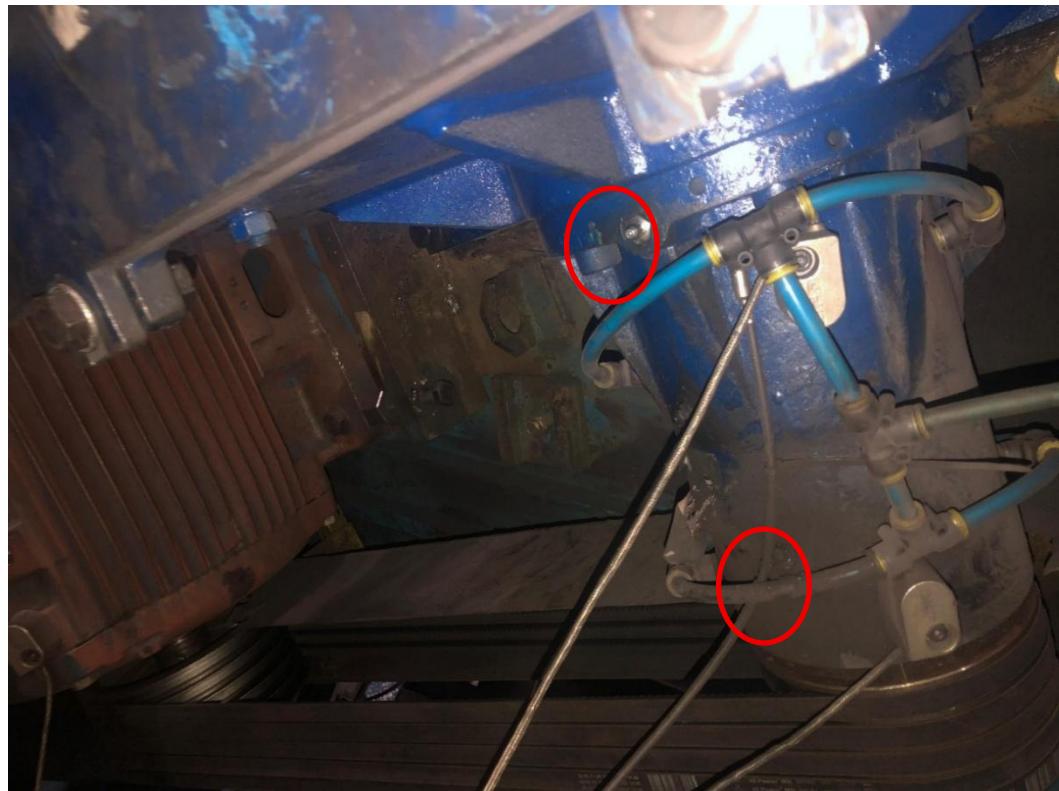


Fonte: Rocol

Conforme mostrado na Figura 12 de qual forma deve-se lubrificar, realizou-se a lubrificação com 30g em cada bico graxeiro do mancal de rolamentos. Abaixo a Figura 17 mostra como é o posicionamento dos bicos graxeiros no mancal para

lubrificar os rolamentos.

Figura 17 – Pontos de lubrificação da turbina



Fonte: Próprio Autor

A quantidade de gramas indicada no plano foi desenvolvida pelo engenheiro responsável da área juntamente da mecânica responsável da lubrificação através da Equação 1, conforme mostra a Figura 18.

Figura 18 – cálculo de relubrificação

$=0,005 * 130 * 46$						
D	E	F	G	H	I	J
$Qg = 29,9$						
Dimensões						
Diâmetro do furo				60 mm		
Diâmetro externo				130 mm		
Largura				46 mm		

Fonte: Próprio Autor

4.3.2 Avaliação 2

Um dia após a Preventiva, dia 28/11/2024, a turbina 4 teve duas paradas por aquecimento.

A primeira totalizando 38 minutos de máquina parada, das 08h41 às 09h19, conforme mostra a ordem de manutenção corretiva aberta no dia, evidenciada na Figura 19. E a segunda parada sendo das 13h25 às 13h34, totalizando 9 minutos de máquina parada, também com ordem de manutenção corretiva aberta, evidenciada na Figura 20. Ambas com o mesmo FCA – Fato, Causa e Ação, que posteriormente será analisado.

Figura 19 – Primeira parada

Ordem	ZM01	21854809	AQUECIMENTO DA TURBINA 4																					
AQUECIMENTO DA TURBINA 4 FATO/OCORRÊNCIA: DESARME DA TURBINA 04 DO JATO DE GRANALHAS DA LINHA 05 POR AQUECIMENTO DO ROLAMENTO DO ROTOR, ACIMA DO LIMITE CAUSA: FALHA NA REGULAGEM DA VÁLVULA DOSADORA, PERMITINDO A PASSAGEM E ACUMULO DE GRANALHA COM O EQUIPAMENTO PARADO AÇÃO: REALIZADO O AJUSTE DA VÁLVUL ADOSADORA																								
Stat.sist.	ENTE	CONF	CAPC	NOLQ	SCDM	<input type="button" value="i"/> 04SC <input type="button" value="✓"/>																		
<input style="background-color: #0070C0; color: white; border: none; padding: 2px 10px; margin-right: 10px;" type="button" value="DdsCabeç."/> Operações <input style="border: none; padding: 2px 10px; margin-right: 10px;" type="button" value="Componentes"/> Custos <input style="border: none; padding: 2px 10px; margin-right: 10px;" type="button" value="Parceiro"/> Objetos <input style="border: none; padding: 2px 10px;" type="button" value="Dados adic."/>																								
Responsáveis <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Gr.planej.</td> <td>ZTR / 1412</td> <td>Pl. TMEC / ACB</td> <td>Nota</td> <td>321841263</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>CenTrabRes</td> <td>AB-MM / 1412</td> <td>MANUTENÇÃO M...</td> <td></td> <td colspan="2" style="text-align: right;">BRL</td> </tr> <tr> <td>Responsável</td> <td>0</td> <td></td> <td>TipoAtvMnt</td> <td>130</td> <td>Produção Parada</td> </tr> </table>							Gr.planej.	ZTR / 1412	Pl. TMEC / ACB	Nota	321841263	66	CenTrabRes	AB-MM / 1412	MANUTENÇÃO M...		BRL		Responsável	0		TipoAtvMnt	130	Produção Parada
Gr.planej.	ZTR / 1412	Pl. TMEC / ACB	Nota	321841263	66																			
CenTrabRes	AB-MM / 1412	MANUTENÇÃO M...		BRL																				
Responsável	0		TipoAtvMnt	130	Produção Parada																			
Datas <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>InícioBase</td> <td>28.11.2024</td> <td>08:41</td> <td>Prioridade</td> <td>24 Horas</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fim-base</td> <td>28.11.2024</td> <td>09:19</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							InícioBase	28.11.2024	08:41	Prioridade	24 Horas		Fim-base	28.11.2024	09:19									
InícioBase	28.11.2024	08:41	Prioridade	24 Horas																				
Fim-base	28.11.2024	09:19																						
Objeto de referência <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>LocInstal.</td> <td>1412-LA1-ACAB-INS ...</td> <td>LIN05-JATO, TURBINA :</td> <td><input style="border: none; width: 20px; height: 20px;" type="button" value="i"/></td> </tr> <tr> <td>Equipam.</td> <td>25553</td> <td>TUR - TURBINA COGEIM CG490</td> <td><input style="border: none; width: 20px; height: 20px;" type="button" value="i"/></td> </tr> </table>							LocInstal.	1412-LA1-ACAB-INS ...	LIN05-JATO, TURBINA :	<input style="border: none; width: 20px; height: 20px;" type="button" value="i"/>	Equipam.	25553	TUR - TURBINA COGEIM CG490	<input style="border: none; width: 20px; height: 20px;" type="button" value="i"/>										
LocInstal.	1412-LA1-ACAB-INS ...	LIN05-JATO, TURBINA :	<input style="border: none; width: 20px; height: 20px;" type="button" value="i"/>																					
Equipam.	25553	TUR - TURBINA COGEIM CG490	<input style="border: none; width: 20px; height: 20px;" type="button" value="i"/>																					
<input style="background-color: #0070C0; color: white; border: none; padding: 2px 10px; margin-right: 10px;" type="button" value="Dds.avaría"/> Sintomas dano <input style="border: none; padding: 2px 10px;" type="button" value="Datas da nota"/>																								
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>InícioAvar</td> <td>28.11.2024</td> <td>08:41:00</td> <td><input checked="" type="checkbox"/> Parada</td> </tr> <tr> <td>Fim avaria</td> <td>28.11.2024</td> <td>09:19:00</td> <td>Duraç.parada</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>0,63</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td>HOR</td> </tr> </table>							InícioAvar	28.11.2024	08:41:00	<input checked="" type="checkbox"/> Parada	Fim avaria	28.11.2024	09:19:00	Duraç.parada				0,63				HOR		
InícioAvar	28.11.2024	08:41:00	<input checked="" type="checkbox"/> Parada																					
Fim avaria	28.11.2024	09:19:00	Duraç.parada																					
			0,63																					
			HOR																					

Fonte: Próprio Autor

Figura 20 – Segunda parada

Ordem ZM01 854810 DESARME DA TURBINA 4

DESARME DA TURBINA 4
FATO/OCORRÊNCIA: DESARME DA TURBINA 04 DO JATO DE GRANALHAS DA LINHA 05 POR AQUECIMENTO DO ROLAMENTO DO ROTOR, ACIMA DO LIMITE
CAUSA: FALHA NA REGULAGEM DA VÁLVULA DOSADORA, PERMITINDO A PASSAGEM E ACUMULO DE GRANALHA COM O EQUIPAMENTO PARADO
AÇÃO: REALIZADO O AJUSTE DA VÁLVUL A DOSADORA

Stat.sist. ENTE CNPA CAPC NOLQ SCDM 04SC

DdsCabeç. Operações Componentes Custos Parceiro Objetos Dados adic.

Responsáveis
Gr.planej. ZTR / 1412 Pl. TMEC / ACB
Centr.TrabRes AB-MM / 1412 MANUTENÇÃO M...
Responsável 0

Nota 321841264 BRL
TipoAtvMnt 130 Produção Parada

Datas
InícioBase 28.11.2024 13:25 Prioridade 24 Horas
Fim-base 28.11.2024 13:34

Endereço

Objeto de referência
LocInstal. 1412-LA1-ACAB-INS... LIN05-JATO, TURBINA...
Equipam. 25553 TUR - TURBINA COGEIM CG490

Dds.avaría Sintomas dano Datas da nota

InícioAvar 28.11.2024 13:25:00 Parada
Fim avaria 28.11.2024 13:34:00 Duraç.parada 0,15 HOR

Fonte: Próprio Autor

O jato tem um controle das turbinas remotamente, iniciando que há um supervisório da Linha, em que há os indicativos da temperatura das turbinas, conforme mostra a Figura 21, em que é acompanhado pelo operador. Tais indicativos são por cores, em que verde, indica temperatura normal de trabalho (de 50°C a 70°C); amarelo, indica temperatura em alerta (71°C a 80°C); vermelho, temperatura de trabalho acima (mais de 80°), no supervisório há um alarme para o operador, momento em que ele chama a manutenção para verificação.

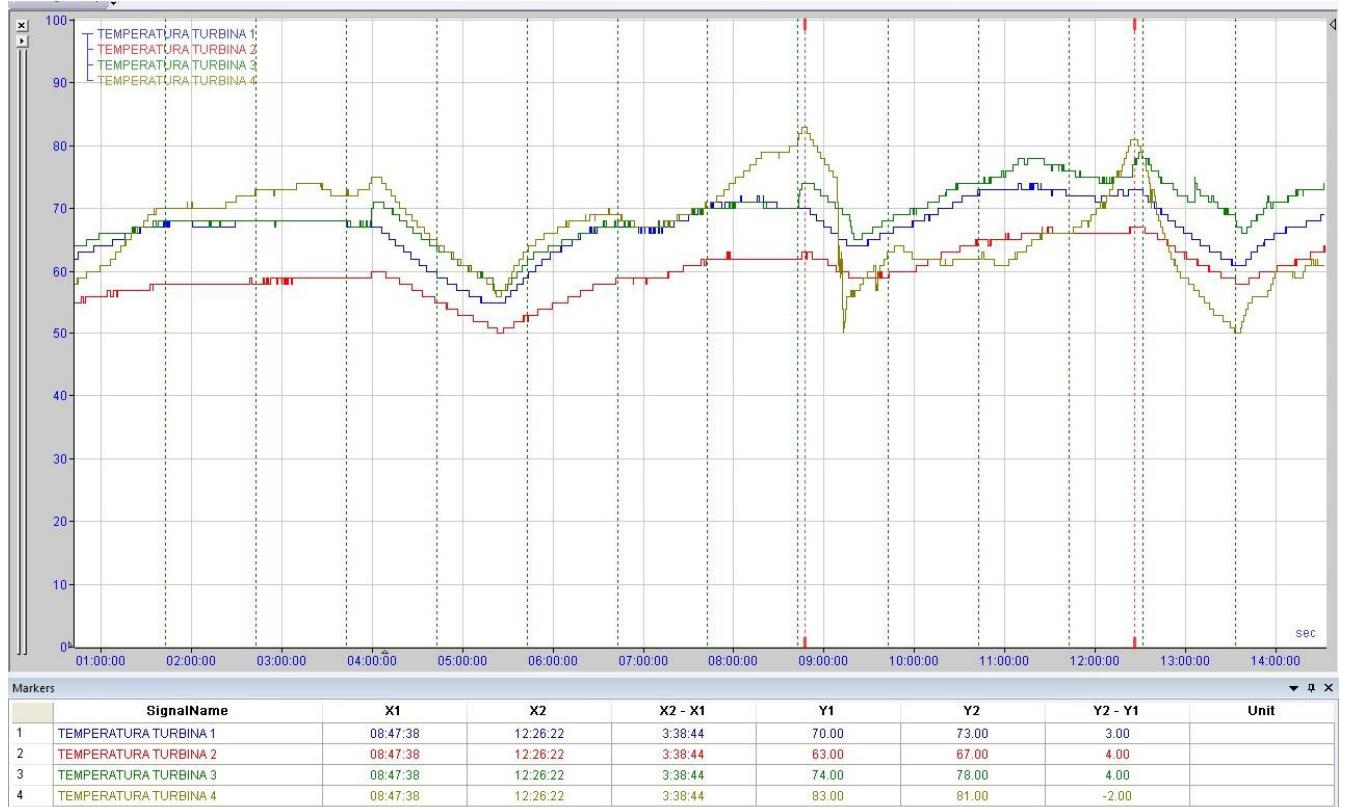
Figura 21 – Indicação de temperatura no supervisório da Linha



Fonte: Próprio Autor

Há um controle de todos os dados do jato via programa, na Figura 22, mostra a oscilação da Turbina 4 no gráfico no dia 28/11/2024 e os momentos em que ela atingiu temperatura acima da de trabalho, 83°C e 81°C, fazendo com a máquina parasse, conforme registros de paradas da Figura 19 e 20.

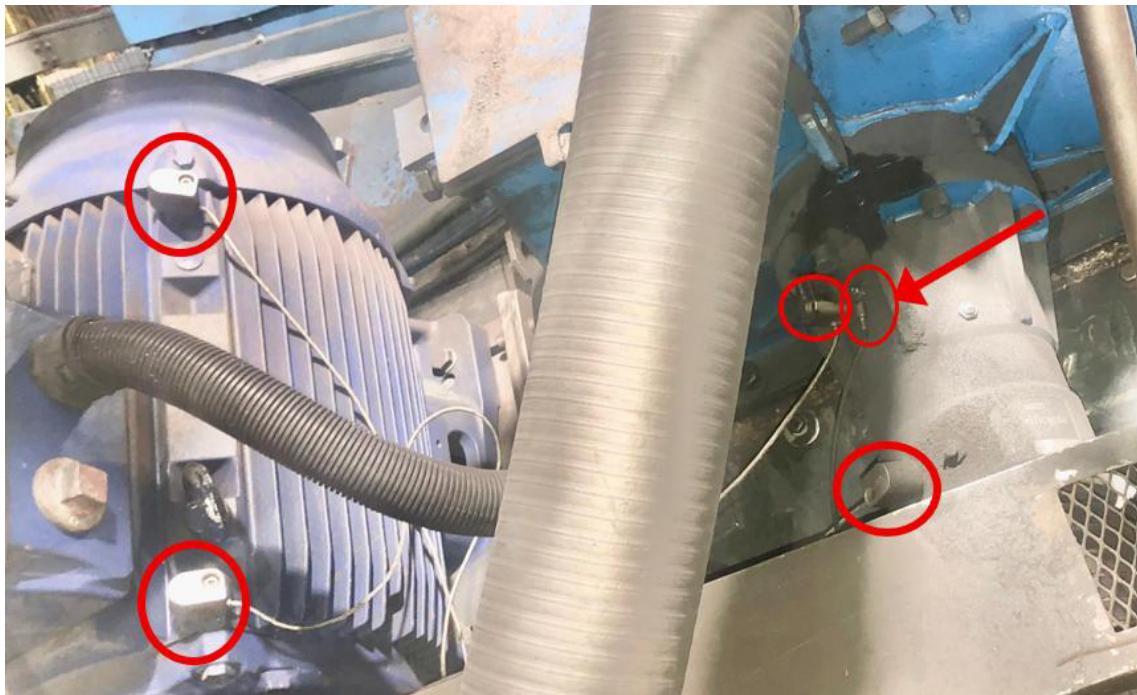
Figura 22 – Gráfico das turbinas



Fonte: Próprio Autor

Todos esses dados são possíveis de serem monitorados devido aos sensores instalados na turbina. São cinco sensores no total, sendo um de temperatura e quatro de vibrações, conforme mostrado na Figura 23, dois nos mancais para cada rolamento e dois no motor. Vale ressaltar que todas as turbinas contêm todos esses cinco sensores.

Figura 23 – Posição dos sensores



Fonte: Próprio Autor

Em primeiro momento, houve o estranhamento dessas falhas, devido à preventiva ter sido realizada no dia anterior, mas também os planos de lubrificação do Jato. Ou seja, dificilmente poderia ser falha por lubrificação. Como dito anteriormente, o descriptivo de FCA não menciona nada sobre lubrificação, ela não foi levada em consideração durante as ocorrências. Entretanto, analisando após a falha real, comprehende-se que essas duas falhas já eram indícios de que esse aquecimento travaria a turbina.

Por fim, após a falha real, pode-se constatar através de uma inspeção realizada pela equipe de manutenção após troca do conjunto da turbina, o travamento do rolamento do lado do rotor. A desmontagem do conjunto revelou sinais evidentes de superaquecimento, ausência de lubrificante no interior do componente e contaminação com partículas sólidas (pó metálico), indicando falha severa no regime de lubrificação.

4.4 ANÁLISE DE FALHA

O primeiro passo da análise foi a abertura do registro de tratamento de falhas, conforme mostra a Figura 24, no sistema devido o gatilho do equipamento ser atingido.

Figura 24 – registro de TF

TRATAMENTO DE FALHAS

Tratamento de Falhas

PARADA DE 09:53 HR DEVIDO A QUEBRA DA TURBINA 04 DO JATO DE GRANALHA LINHAS

Número	Status	Tipo	EVENTO
RNC-5040	Investigado	Manutenção	Real

Confidencial

Origem Hashtags

Data Abertura	Data Ocorrência	Data Investigação	Data Aprovação Planos	Data Encerramento
03/12/2024	30/11/2024	09/12/2024	13/12/2024	-

Registro **Investigação** **Feed**



Originador **Jonatas** Localização **PIND - MAN ACABAMENTOS**

Falha **Def jateamento**

Descrição
ÁS 00:41 A TURBINA 04 DO JATO DE GRANALHA DA LINHAS PAROU DE FUNCIONAR, FOI LIBERADA ÁS 10:34, TOTAL 09:53 PARA CONCLUSÃO DO SERVIÇO.

Pontuação de severidade
B

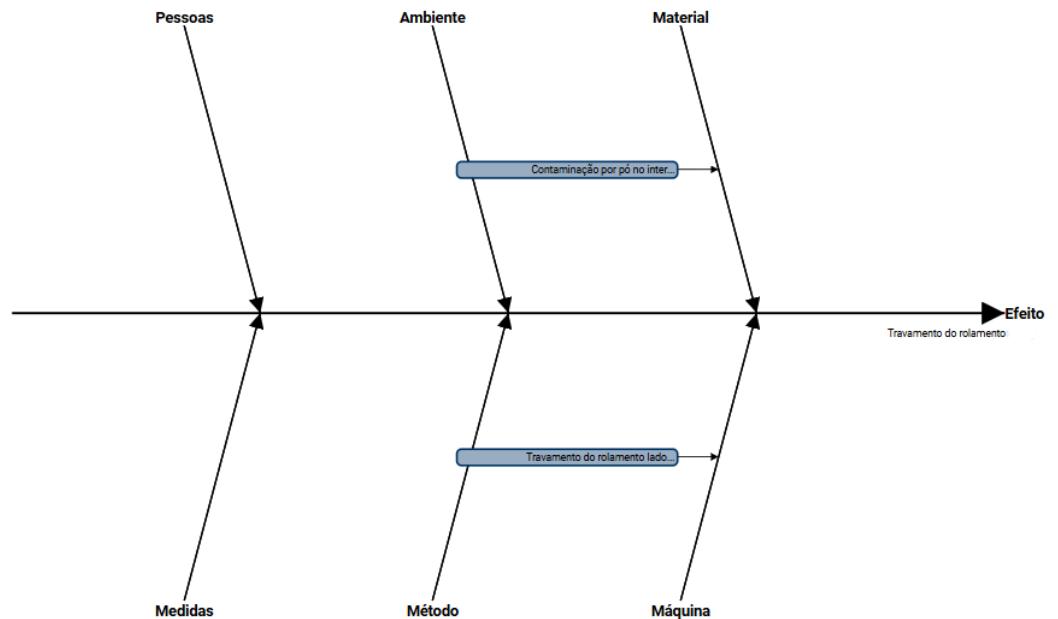
Fonte: Próprio Autor

A análise da falha foi conduzida pelo técnico mecânico responsável da máquina, denominado padrinho, o engenheiro mecânico da manutenção e as duas mecânicas responsáveis pela lubrificação com base em duas ferramentas de engenharia de confiabilidade: o Diagrama de Ishikawa e os Porquês.

Iniciando pelo Ishikawa, também conhecido como Espinha de Peixe, como pode ser visto na Figura 25, foram preenchidos apenas dois campos: material, a contaminação por pó o interior do rolamento; máquina, travamento do rolamento do lado do rotor.

Figura 25 – Diagrama de Ishikawa (Espinha de Peixe)

[Espinha de Peixe](#) > PARADA DE 09:53 HR DEVIDO A QUEBRA DA TURBINA 04 DO JATO DE GRANALHA LINHAS



Fonte: Próprio Autor

Após realizar o Ishikawa, foi dado continuidade a análise da falha com os 5 Porquês em duas causas prováveis como mostrado na Figura 26:

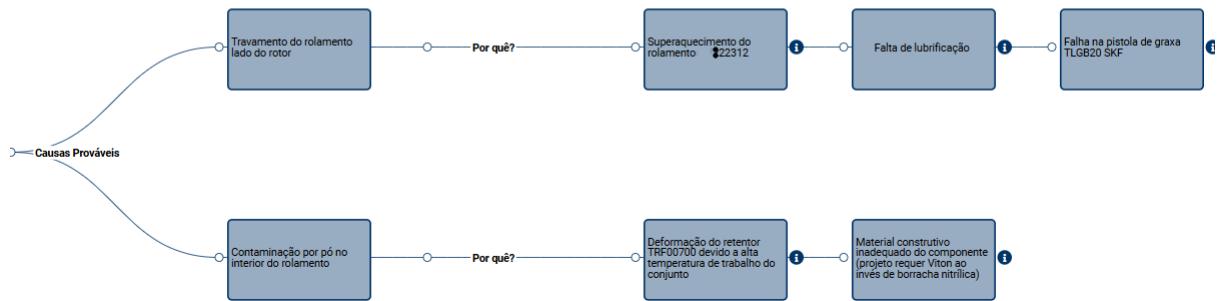
Travamento do rolamento do lado do rotor: Por que o rolamento travou? → Porque superaqueceu. Por que superaqueceu? → Porque não havia lubrificação suficiente. Por que não havia lubrificação suficiente? → Porque a graxa não foi aplicada corretamente. Por que a graxa não foi aplicada corretamente? → Falha na pistola de graxa.

Contaminação por pó no interior do rolamento: Por que houve contaminação? → Porque ocorreu a deformação do retentor TRF00700 devido à alta temperatura de trabalho. Por que o retentor deformou? → Porque o material do componente era inadequado, projeto requer Viton, e o componente era de borracha nitrílica.

Figura 26 – 5 Porquês

Home > Porque Porque > PARADA DE 09:53 HR DEVIDO A QUEBRA DA TURBINA 04 DO JATO DE GRANALHA LINHAS

Mostrar somente Causas Prováveis com conteúdo



Fonte: Próprio Autor

Conclui-se que a causa raiz da falha, mostrado na Figura 27, foi a ausência de graxa no interior do rolamento durante o funcionamento da turbina, ocasionada por falha na pistola de graxa a bateria modelo TLGB 20 da marca SKF, que apresentou falha de funcionamento, ela não encontrava-se regulada, ou seja, o indicador de medição de graxa indicava um valor falso e não a quantidade correta que estava indo ao rolamento. Isso comprometeu totalmente a formação da película lubrificante no interior do rolamento, levando à elevação da temperatura, perda da folga interna e, por fim, ao travamento.

Figura 27 – Causa Raiz

Causa Raiz

Falta de lubrificação dos rolamentos devido à falha na pistola de graxa à bateria SKF TLGB 20

Fonte: Próprio Autor

Além disso, a alta temperatura de operação do conjunto provocou a deformação do retentor TRF00700, fabricado em borracha nitrílica, cuja resistência térmica se mostrou inadequada. A deformação permitiu a entrada de pó abrasivo no interior do rolamento, agravando o desgaste por abrasão e contaminação.

4.5 IMPACTO DA FALHA

A falha do rolamento gerou a necessidade de substituição completa do conjunto rotativo da turbina, acarretando custos elevados de manutenção corretiva não programada, além da perda de produtividade durante quase 10 horas de parada de uma linha de produção crítica. Ainda mais após apenas 3 dias de uma Preventiva, parada programada e alinhada com a operação, diferente da Corretiva que é inesperada e não prevista. Sendo assim, prejudicando os custos, tempo e confiabilidade operacional. O evento ainda afetou o cronograma da produção e da manutenção.

Do ponto de vista técnico, destaca-se que a falha não foi causada por desgaste natural, mas sim por falha sistêmica no processo de lubrificação, ressaltando a importância de verificação funcional das ferramentas utilizadas e da implementação de redundâncias ou checagens manuais complementares.

4.6 PLANO DE AÇÃO

A investigação da falha ocorrida levou a identificação da causa raiz evidenciada acima, e após esta constatação, foi feita a elaboração de planos de ação, como mostra a Figura 28, a fim de prevenir reincidências e melhorar as condições de operação e manutenção do equipamento. O foco foi nos seguintes pontos:

- Revisão do procedimento de montagem das turbinas, incluindo aplicação e verificação de graxa nesta etapa
- Disponibilizar a bomba de graxa manual para lubrificar os rolamentos na oficina central (área em que, até então, ocorria a montagem completa da turbina)

Figura 28 – Plano de Ação

PLANOS DE AÇÃO		
ES	PLA-33508 Revisar procedimento de montagem das turbinas contemplando a lubrificação nesta etapa	Cumprido
NM	PLA-33509 Disponibilizar bomba de graxa manual para lubrificação dos rolamentos das turbinas na Oficina Central	Cumprido

Fonte: Próprio Autor

O primeiro plano de ação foi realizado pelo Engenheiro da área, o

procedimento de montagem da turbina, conforme mostra a Figura 29, foi revisado, disponibilizado e notificado como autotreinamento para os mecânicos de manutenção de Acabamentos e da Oficina Central, em um site de documentações da empresa.

Figura 29 – Procedimento de Montagem

	IO – INSTRUÇÃO OPERACIONAL	Revisão: 0 Data da Revisão: 15/12/2024 Pág. 1 de 9
TÍTULO: MONTAGEM MECÂNICA DO CONJUNTO ROTATIVO DA TURBINA DO JATO DE GRANALHA DA LINHA 5		

1. OBJETIVO

Padronizar a manutenção de montagem do conjunto rotativo da turbina do jato de granalha da linha 5, visando melhorar o desempenho das montagens mecânicas e garantindo a segurança, qualidade e preservando o meio ambiente com o decorrer da tarefa.

2. APLICAÇÃO

Aplica-se na área de Acabamento na Linha de Inspeção 5 e Oficina Central.

3. REFERÊNCIAS

NA.

4. DEFINIÇÕES E ABREVIATURAS

NA.

5. RESPONSABILIDADES

Mecânicos, Técnico Manutenção: executar os itens contidos no "Detalhamento das Atividades".
Facilitador: "Intervir "na execução dos itens contidos no" Detalhamento das Atividades".

Fonte: Próprio Autor

Foram descritas 12 etapas, sendo a 12, mostrado na Figura 30, a qual contempla a lubrificação dos rolamentos.

Figura 30 – Etapa de lubrificação dos rolamentos

ETAPAS (O que fazer?)	COMO (Executar)	CUIDADOS (Segurança, Meio Ambiente e Qualidade)	
12 - Lubrificar os rolamentos do mancal. 	12.1 - Utilizar bomba a bateria da SKF com medidor digital ou bomba manual, inserir 100 gramas de graxa ROCOL SAPPHIRE HI-TEMP 2 em cada rolamento. 12.2 Verificar se a graxa entrou pelo canal e chegou no rolamento.	 	 12.1.1 - Não improvisar ferramenta e utilizar pano limpo para limpeza dos graxeiros 12.1.2 - Não fazer força com ferramentas em direção ao corpo.

Fonte: Próprio Autor

Uma observação nesta etapa é que a quantidade de graxa, diferente da

relubrificação em que foi realizado um cálculo, neste caso foi baseado em teste real. Foi contada a quantidade de bombadas até o preenchimento total o rolamento, e assim decidido a quantidade para quando se montasse o conjunto rotativo.

Conforme mostrado acima, esses foram os planos que saíram no TF. Além de planos adicionais como:

- Contatar SKF para revisão da pistola de graxa a bateria modelo TLGB 20;
- Para relubrificação dos rolamentos utilizar a bomba manual de graxa;
- Implementar checklists operacionais de lubrificação com confirmação visual ou controle de quantidade aplicada, principalmente quando se voltar a utilizar a pistola a bateria.

Para feedback dos andamentos dos planos adicionais, a revisão da pistola de graxa não foi realizada. Hoje, ela se encontra parada, desde a falha não foi mais utilizada. Durante a fase de análise, ela foi submetida a um teste de lubrificar somente os rolamentos antes da montagem do conjunto da turbina, podendo assim, verificar de forma melhor o caminho da graxa e seu alocamento no rolamento. Identificou-se que após as 30g recomendáveis o rolamento ainda estava com partes sem lubrificante. Concluindo que a pressão da pistola a bateria não fosse suficiente para essa lubrificação. Desde então passou usar-se a bomba manual, conforme Figura 31, que ao ser testada por gramagem de cada bombada até as 30g recomendáveis conseguiu preencher bem os espaçamentos do rolamento.

Figura 31 – Bomba manual de graxa



Fonte: Próprio Autor

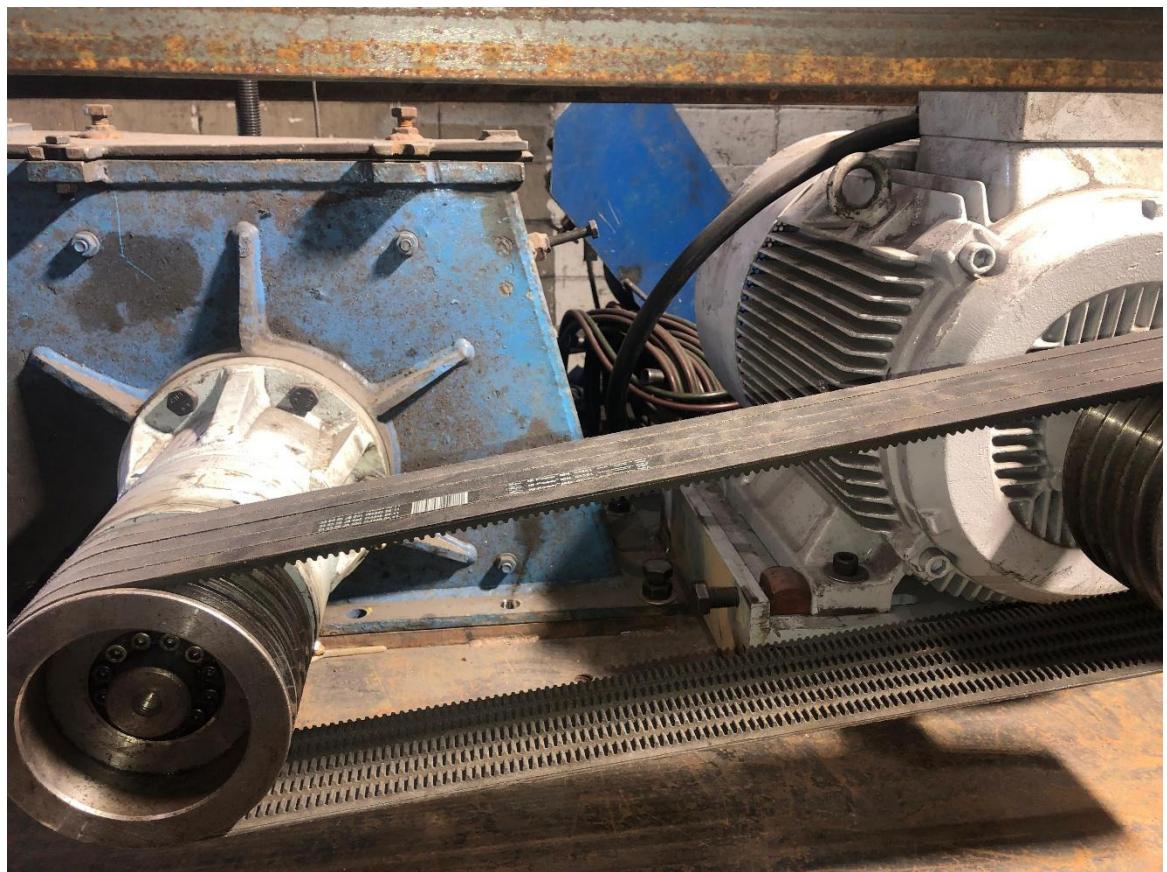
4.7 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS

Conforme mostrado na Figura 24, essa falha ocorreu em novembro de 2024 e sua tratativa em dezembro de 2024, seus planos de ação foram, de fato, realizados. Entretanto, atualmente, junho de 2025, algumas condições foram modificadas, naquele momento a montagem completa da turbina acontecia na Oficina Central da empresa, local em que há montagens, desmontagens e reparos de peças e conjuntos mecânicos que não precisam de reparo externo são realizados lá, e só fazia-se a lubrificação em Acabamentos, por isso um dos planos de ação foi voltado para eles.

Hoje, nesta área, existe um espaço na oficina com bancada para realizar as

montagens das turbinas, como mostrado na Figura 32. Somente o cartucho (parte em que vai os rolamentos) é montado na Central, entretanto, ainda que eles tenham a bomba de graxa, há cartuchos que vem com a identificação de SEM LUBRIFICAÇÃO, neste caso, quem realiza a lubrificação são as mantenedoras responsáveis da área. Mas diferente de como fazia-se, hoje tem a oportunidade de realizar a lubrificação antes de começar a montagem do conjunto. Assim, conseguindo verificar o caminho da graxa e seu alocamento entre os elos de rolos do rolamento.

Figura 32 – Conjunto montado em bancada



Fonte: Próprio Autor

Como dito anteriormente, hoje, somente os cartuchos vem da Central, e assim que chegam, os que vem identificados de sem lubrificação, são lubrificados antes de iniciar a montagem do conjunto, conforme mostra a Figura 33, realiza-se com a bomba manual e vai girando o eixo para que a graxa se aloque em cada espaçamento.

Figura 33 - Lubrificação antes da montagem do conjunto da turbina



Fonte: Próprio Autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise deste caso revelou-se um exemplo real das consequências da falha no processo de lubrificação em sistemas mecânicos rotativos de alta responsabilidade. Apesar da existência de um plano de manutenção preventiva estruturado, a interrupção não detectada no funcionamento da pistola de graxa durante o processo de lubrificação comprometeu totalmente a proteção do rolamento, levando ao superaquecimento do componente, degradação do retentor e, por fim, ao travamento do conjunto rotativo.

Esse tipo de falha não apenas evidencia a dependência do sistema de manutenção em relação à confiabilidade dos equipamentos auxiliares, como também expõe vulnerabilidades em etapas críticas de inspeção e validação de processos. A ausência de redundância (como a verificação visual da quantidade de graxa que marcava na pistola e a de que estava saindo de fato) permitiu que uma falha silenciosa evoluísse até a inoperabilidade total da turbina, resultando em uma parada não programada de quase dez horas em uma linha considerada estratégica para a produção da usina, sobretudo, após apenas três dias de uma parada programada e alinhada, a preventiva.

A causa raiz foi corretamente identificada como a falta de lubrificação do rolamento por falha da ferramenta de aplicação, o que reforça a necessidade de se considerar a confiabilidade dos dispositivos de apoio à manutenção como parte integrante da cadeia de confiabilidade do ativo produtivo. A falha ilustra, de forma contundente, que a lubrificação, quando negligenciada ou executada de maneira ineficaz, pode desencadear falhas catastróficas mesmo em equipamentos submetidos a planos de manutenção regulares.

Conclui-se que a falha analisada transcende o aspecto pontual de uma parada não programada, sendo um reflexo direto da interdependência entre ferramentas, materiais, capacitação e métodos de execução no ambiente da manutenção mecânica. Ao comprometer a lubrificação de um rolamento de um equipamento crítico, negligencia-se não apenas sua função básica de reduzir o atrito e dissipar calor, mas também a garantia de confiabilidade, disponibilidade e segurança operacional do sistema.

Este estudo reforça a importância da gestão técnica da lubrificação como eixo central das práticas de manutenção industrial.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Paulo de Samuel de. Manutenção mecânica industrial: conceitos básicos e tecnologia aplicada. São Paulo: Érica, 2014.

ALMEN, J. O., BLACK, P. H., **Residual Stresses and Fatigue in Metals**. New York, MacGraw Hill, Book Company, 1963.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: confiabilidade e manutenibilidade: terminologia. Rio de Janeiro, 1994.

BATISTA, Rodrigo Abranches Taques Maia; RODRIGUES, Leandro Bezerra; MATOS, Cláudio Jorge Vilela. Estudo da implantação do planejamento e controle de manutenção na empresa águia química LTDA. **Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia**, v. 1, n. 9, p. 90-101, 2014

BELMIRO, Pedro N.A. CARRETEIRO, Ronald P. **Lubrificantes & Lubrificação Industrial**, 1a Edição, Editora Interciência, 532 páginas, 2006.

BLOOM, N. **Reliability Centered Maintenance (RCM)**: implementation made simple. 1^a. ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2006

CAMPOS, V.F.; TQC: **Controle da Qualidade Total (no estilo japonês)**. 7. ed. Belo Horizonte: Bloch, 1992.

CARRETEIRO, Ronald P.; MOURA, Carlos R. S. Lubrificantes e Lubrificação. Rio de Janeiro, 1998: Editora Makron Books.

CARRETEIRO, Ronald P; BELMIRO, Pedro Nelson A. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. 1.ed. Rio de Janeiro. Interciencia, 2006. 504 p

COSTA, Mariana de Almeida. **Gestão estratégica da Manutenção**: uma oportunidade para melhorar o resultado operacional. 2013. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.

DE TRATAMENTO SUPERFICIAL POR IMPACTO, O. J. C. G. DE A. O. M. É. U. T.; DE LIMPEZA E SIMULTANEAMENTE UM CORRETO ACABAMENTO SUPERFICIAL., O. Q. SE P. O. UM E. G. **Sistema de Jateamento - Introdução Geral**. Disponível em: <[https://cym.com.ar/intranet/introduccion-sistema-Jateamento-granalha-cymateriales-jato-areia-turbinados-metalcym.pdf](https://cym.com.ar/intranet/introduccion-sistema-Jateamiento-granalha-cymateriales-jato-areia-turbinados-metalcym.pdf)>. Acesso em: 30 mai. 2025.

DHILLON, B. S. **Engineering maintenance**: a modern approach. 2^a. ed. Florida: CRC Press, 2002.

DHILLON, B. S. **Maintainability, maintenance and reliability for Engineers**. 1^a. ed. New York: CRC Press, 2006.

ESTRANHOS, M. **ANÁLISE DE FALHAS EM ROLAMENTOS**. Disponível em: <https://www.timken.com/resources/rolamento-analises-de-dano_impressao_7352/>. Acesso em: 30 mai. 2025.

FERREIRA, R. B.; “**Análise Numerica de Mancais Hidrodinâmicos Lisos e Ranhurados Utilizando o Método dos Volumes Finitos**”. Tese (PósGraduação) – Universidade Estadual de Campinas, 2009.

FILHO, G. B. **A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção**. 1^a. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

Jateamento Por Turbinas. Disponível em: <<https://ancoblast.com.br/jateamento/jateamento-por-turbinas/>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3^a edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

KARDEC, A; NASCIF, J. Manutenção – Função estratégica. 5^a Edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 2019.

LANSDOWN, A.R. **Lubrication and Lubricant Selection: A Practical Guide**, 3ed.2007

LIANG, H., TOTTEN, G.E., “**Mechanical Tribology: Materials, Characterization, and Applications**”, Marcel Dekker, 2004 Lubrax, Informações téncnicas da graxa Lubrax Autolith. 2012.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2.ed. Rio de Janeiro: Ltc, 1997. 782 p.

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

MOBLEY, Keith; HIGGINS, Lindley; SMITH, Ricky. **Maintenance engineering handbook**, 6 ed. New York: McGrawHill, 2002.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada à probabilidade para engenheiros**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

Moteurs, D., **La Lubrification Industrielle**, Paris, 2. ed., Technip, 1985.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: second edition. 2^a. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

NBR 5462: 1994. Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

NORTON, R. L. Projeto de máquinas: uma abordagem integrada. 4. ed. São Paulo: BOOKMAN, 2013.

Pereira, M. J. (2011). **Engenharia de Manutenção: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna

PINTO, Alan K; XAVIER, Júlio A. N. **Manutenção Função Estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

REIS, Zaida Cristiane dos; DENARDIN, Carina Desconzi; MILAN, Gabriel Sperandio. **A Implantação de um Planejamento e Controle da Manutenção: Um estudo de caso desenvolvido em uma empresa do ramo alimentício**. In: VI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, 2010, Niterói.

RIZZATO, E. **A importância da turbina de jateamento para a eficiência do seu equipamento**. Turbo Jato, 31 ago. 2023. Disponível em: <<https://www.turbojato.com.br/a-importancia-da-turbina-de-jateamento/>>. Acesso em: 30 mai. 2025

Rolamentos autocompensadores de rolos. Disponível em: <<https://www.nsk.com/am-pt/products/bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

ROONEY, J.J.; HEUVEL, L.N.V. **Root Cause Analysis for Beginners**. Quality Progress, 2004, 45-53.

ROUSSO, José. Manual de Lubrificação Industrial. Rio de Janeiro, ano 1990: Editora CNI.

SAPPHIRE HI TEMP 2 (1 KG). Disponível em: <<https://www.rocol-original.com.br/pagina-de-produto/sapphire-hi-temp-2>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

SKF. Catálogo Geral: Catálogo 4000 PB. Leograf Gráfica e Editora Ltda, 2001. 976 p

SKF. Disponível em: <<https://www.skf.com/br/products/rolling-bearings/roller-bearings/spherical-roller-bearings/productid-22312%20E%2FC3>>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SKF; Grupo Skf (Gotemburgo). **Gestão de lubrificação SKF**, 2012

SKF; Grupo Skf. **Guia de manutenção e reposição de rolamentos**, 1988. 1ed. Rio de Janeiro: SKF, 1988. 125 p

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 2.d. São Paulo: Atlas, 2002.

SMITH, R.; MOBLEY, R. K. **Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers**. 1º. ed. Burlington: Butterworth Heinemann, 2007.

STEVENSON, William J. **Administração das operações de produção**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2001.

Técnicas de Lubrificação ROLAMENTOS - Supreme Lubrificantes. Disponível em: <<https://www.yumpu.com/pt/document/read/12629221/tecnicas-de-lubrificacao-rolamentos-supreme-lubrificantes>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

TECNOLUB, Grupo tecnolub. **Técnicas de lubrificação:** rolamentos, 2016.

TELES, Jhonata. **Como elaborar planos de lubrificação.** 1 ed. Brasília: Engeteles, 2017.26 p.

TELES, Jhonata. **Planejamento e controle de manutenção descomplicado:** uma metodologia passo a passo para implementação do PCM. Brasília: Engeteles Editora, 2019.

TERNER, G.L.K. **Avaliação da aplicação dos métodos de análise e solução de problemas em uma empresa metal-mecânica.** Porto Alegre, 2008. 33-55p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

TOAZZA, Guilherme Francez; SELLITO, Miguel Afonso. **Estratégia de Manutenção Preditiva no Departamento Gráfico de uma Empresa do Ramo Fumageiro.** Revista Produção Online. V.15, n.3, 2015.

Turbinas. Disponível em: <<https://www.jatomaq.com.br/produtos/jateamento/dados-tecnicos/turbinas/>>. Acesso em: 30 mai. 2025.

UBEROI, R.S.; GUPTA, U.; SIBAL, A. **Root Cause Analysis in Healthcare.** Apollo Medicine, Vol.1, 2004, 60-63.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Planejamento e Controle da Manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva.** 1^a. ed. São Paulo: INDG TecS, 2004.