



**CENTRO PAULA SOUZA**  
**ETEC PHILADELPHO GOUVÊA NETTO**  
**Curso Técnico em Mecânica**

**Sandro Morais Santos**

**Henrique Custódio Favero**

**Carlos Daniel Velasquez Flores**

**João Pedro Carvalho Bitencout**

**MANUTENÇÃO PREDITIVA DE REDUTORES: Um estudo de caso no  
contexto da indústria sucroalcooleira.**

**São José do Rio Preto**

**2021**

# **MANUTENÇÃO PREDITIVA DE REDUTORES: Um estudo de caso no contexto da indústria sucroalcooleira.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Mecânica da Etec Philadelpho Gouvea Netto, orientado pelo Prof. Paulo de Tarso Durigan, como requisito parcial para obtenção do título de técnico em Mecânica.

**São José do Rio Preto**

**2021**

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que nossos objetivos fossem alcançados, durante todos os nossos anos de estudos. Aos nossos familiares, agradecemos por todo o apoio e suporte, contribuindo de forma decisiva para realização deste trabalho. Aos amigos, que sempre estiveram ao nosso lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo do tempo em que desenvolvemos este projeto. Ao professor, Paulo de Tarso Durigan, por ter sido nosso orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

“Os três grandes fundamentos para se conseguir qualquer coisa são, primeiro, trabalho árduo; segundo, perseverança; terceiro, senso comum.”

**Thomas Edison**

## RESUMO

As atividades de manutenção preditiva como análise de óleo ou análise de vibração desempenham importante papel no contexto das indústrias do setor sucroalcooleiro, pois geram oportunidades de melhorias e redução de custos operacionais. A ausência de metodologias preditivas e preventivas na indústria de modo geral, pode comprometer seriamente os ativos das empresas e aumentar significativamente os custos resultando na diminuição de competitividade no mercado. Muitos dos componentes de utilizados em uma indústria sucroalcooleira oferecem oportunidades de acompanhamento preditivo através de diferentes estratégias. O objetivo do presente trabalho é utilizar um estudo de caso para comprovar a eficiência das metodologias já citadas. Como objeto de estudo, foi utilizado um redutor do sistema de moagem o qual foi acompanhado através das técnicas de análises de óleo e vibração em suas operações. Através dos resultados das análises, ficou caracterizado a necessidade da troca de componentes de forma antecipada como forma de prevenir a propagação das falhas nos componentes adjacentes, o que ratifica a hipótese de que aplicação de técnicas avançadas de manutenção contribui para a redução dos custos operacionais. Neste sentido, espera-se que o este trabalho possa contribuir com o leitor na compreensão sobre as melhores práticas no complexo contexto da manutenção industrial apresentando elementos e argumentos que corroboram com autores e pesquisadores da área.

**Palavras-chave:** análise de vibração. análise de óleo. manutenção preditiva. manutenção em redutores.

## **ABSTRACT**

Predictive maintenance activities such as oil analysis or vibration analysis play an important role in the context of industries in the sugar and alcohol sector, as they generate opportunities for improvement and reduction of operating costs. The absence of predictive and preventive methodologies in the industry in general, can seriously compromise companies' assets and significantly increase costs resulting in decreased competitiveness in the market. Many of the components used in a sugarcane industry offer opportunities for predictive monitoring through different strategies. The aim of this work is to use a case study to prove the efficiency of the methodologies. As an object of study, a grinding system gear reducer was used, which was followed through the techniques of oil and vibration analysis in its operations. Through the analysis results, the need to exchange components in advance was characterized as a way to prevent the propagation of failures in adjacent components, which confirms the hypothesis that the application of advanced maintenance techniques contributes to the reduction of operating costs. In this sense, it is hoped that this work can contribute to the reader's understanding of best practices in the complex context of industrial maintenance, presenting elements and arguments that corroborate authors and researchers in the field.

**Keywords:** vibration analysis. oil analysis. predictive maintenance. gear reducer maintenance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Relação geral de diagnosticos de falhas das vibrações.....	10
Figura 2 – Equipamentos utilizados na análise de óleo .....	11
Figura 3 - Interior de um redutor e suas engrenagens .....	12
Figura 4 – Exemplo de engrenamento de um redutor .....	13
Figura 5 – Redutor utilizado no estudo de caso .....	13
Figura 6 – Dados de análise de vibração .....	14
Figura 7 – Redutor após a manutenção realizada.....	15

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Resultado das análises de óleo no período de acompanhamento ..... 14

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	9
<b>2</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	10
2.1	Manutenção Corretiva	10
2.2	Manutenção Preventiva	11
2.3	Manutenção Preditiva	11
2.4	Tecnologia Aplicada a Manutenção Preditiva	11
2.5	Análise de Óleo e Ferrografia	13
2.6	Redutores	14
2.7	Estudo de Caso	15
<b>3</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	18
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>	19

## 1 INTRODUÇÃO

Em setores industriais o atrito e desgaste em redutores são fatores que tendem a prejudicar a operação e a produção levando a grandes perdas com o tempo. Por isso adota-se metodologias de manutenção compatíveis com as melhores práticas industriais. Estas ferramentas consistem na definição e no planejamento antecipado das intervenções utilizando como base informações coletadas de forma contínua ou intermitente. Os dados coletados podem ter diversas origens como temperatura, sinais de vibração, presença de elementos de desgaste em óleos lubrificantes, entre outros. Tais técnicas, podem ser aplicadas em diversos tipos de equipamentos e componentes. O setor sucroalcooleiro, o qual é um dos principais responsáveis pelos bons resultados da agroindústria brasileira, apresenta uma grande gama de estratégias de manutenção dos seus ativos. Enquanto alguns grupos já se valem das tecnologias desenvolvidas para o acompanhamento da vida útil de máquinas e equipamentos, outras empresas ainda fundamentam suas atividades em conceitos ultrapassados, tendo como principais atividades a manutenção corretiva planejada e a manutenção preventiva sistemática (com base no tempo). Essa discrepância metodológica empregada por empresas do mesmo setor são alguns dos fatores que levam a falta de competitividade e, em alguns casos, a parada das atividades em função dos altos custos operacionais.

Diversos componentes e máquinas utilizados em usinas podem ser acompanhados utilizando sensores para o monitoramento de parâmetros em tempo real ou de forma intermitente. Um deles, o qual é objeto de estudo deste trabalho, é um conjunto redutor. Este tipo de dispositivo tem como objetivo transmitir movimento reduzindo a rotação de saída do motor possibilitando que outros componentes possam operar na faixa projetada. No caso do redutor em estudo, a aplicação está associada ao funcionamento da moenda, a qual é responsável pelo processo de moagem da cana-de-açúcar e extração do caldo para os processos subsequentes. Para a análise dos dados preditivos, utiliza-se a porcentagem de ferro no óleo lubrificante e sensores para identificar o nível de vibração dos componentes. No presente trabalho, utilizou-se dados coletados de uma indústria, nos quais pequenas alterações nas engrenagens do redutor foram observadas. Durante um período de seis meses, o acompanhamento ocorreu através de amostras de óleo e medição

intermitente dos níveis de vibração. Com a ajuda de um software específico para a gestão da manutenção, o acompanhamento foi realizado de modo a identificar o comportamento mecânico ajudando nas escolhas das melhores decisões. Portanto, entende-se que a manutenção preditiva é uma forma estratégica que pode contribuir para o faturamento e lucratividade da empresa se mostrando eficaz para o processo produtivo.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

Cada vez mais, empresas utilizam recursos tecnológicos para melhorar seu desempenho e o monitoramento de máquinas e equipamentos. A tecnologia e a manutenção preditiva estão cada vez mais baseadas em algoritmos de análise que conseguem prever futuras falhas nas máquinas com maior antecedência. A manutenção preditiva aliada à tecnologia também pode evitar que os equipamentos sejam utilizados até o momento em que falharem, com outras diversas vantagens no processo.

### **2.1 Manutenção Corretiva**

A manutenção corretiva pode ser classificada de duas formas: manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva emergencial. No tipo planejado, a manutenção corretiva ocorre quando o defeito apresentado não impede o equipamento de realizar suas funções para o qual foi projetado, portanto não interfere na produtividade. Sendo assim, este defeito pode ser alocado no cronograma de manutenção, não interferindo nas atividades já programadas. Já o tipo emergencial ocorre quando o defeito afeta de maneira parcial ou total na produtividade do equipamento reduzindo sua capacidade e performance, portanto deve ser corrigida o mais rápido possível. A manutenção emergencial é um grande problema para os setores de manutenção pois, além de apresentar um custo médio mais alto, também interfere no planejamento das atividades dos mantenedores. (LAGO, 2007).

## **2.2 Manutenção Preventiva**

Mais popular hoje em dia, a manutenção preventiva é executada e planejada enquanto o equipamento não apresenta falhas, assim para que não seja interrompido inesperadamente diminuindo a probabilidade de falhas das máquinas ou equipamentos. Pessoa (2018) mostra que a manutenção preventiva pode ser definida de algumas formas como: baseada no tempo (TBM), localização de falhas (FFM), manutenção baseada em risco (RBM) e manutenção baseada em condição (CBM).

## **2.3 Manutenção Preditiva**

Manutenção visa as condições reais do funcionamento das máquinas e equipamentos, dados com base no desgaste ou atrito. Essa manutenção também envolve controlar o rendimento ou operação, é a atuação realizada com base na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece a uma sistemática. Também é conhecida como manutenção sob condição ou manutenção com base no estado do equipamento. É baseada na tentativa de definir o estado futuro de um equipamento ou sistema, por meio dos dados coletados ao longo do tempo por uma instrumentação específica, verificando e analisando a tendência de variáveis do equipamento.

## **2.4 Tecnologia Aplicada na Manutenção Preditiva**

Para Almeida (2018), as técnicas preditivas devem ter seu foco voltado para a averiguação de um modo de falha, a fim de potencializar a confiabilidade, bem como a precisão de diagnóstico. Em suma, embora variadas, as medidas e métodos podem ser combinados e utilizados em conjunto, análise de vibração é uma das técnicas mais completas para detectar defeitos mecânicos e é obrigatória em todos os programas de manutenção preditiva. A análise de vibração é voltada sobretudo para detectar defeitos como desbalanceamentos de massa, empenamentos e desalinhamentos de eixos, desgastes dos rolamentos, desgastes das engrenagens, lubrificações deficientes e irregularidades elétricas nos motores.

Figura 1 Relação geral de diagnósticos de falhas das vibrações.

CAUSA	FREQÜÊNCIA	VARIÁVEL	AMPLITUDE	OBSERVAÇÃO
Desbalanceamento	1 X rpm	d	Proporcional ao desbalanceamento. Maior no sentido radial	Geralmente aparece no primeiro harmônico
Desalinhamento ou eixo torto	1/2/3/4 X rpm	d	Grande em direção axial (maior que 50% da amplitude, radial)	Desalinhamento entre mancais ou entre ambas metades do "manchón"
Folga nos mancais	½ X rpm	d	Grande no sentido vertical	Como a freqüência é menor que ½ rpm a fase pode ser variável
Falta de firmeza mecânica	2 X rpm	d	Instável	Geralmente afeta o alinhamento
Correias frouxas	1 X rpm	d	Instável	
Engrenagens defeituosas	alta, número de dentes X rpm	a/d	"blips"	Freqüência entre 15000 e 40000 rpm
Almofadas antifrictão deterioradas	Alta	a	"blips"	A freqüência alcança valores maiores do que os registrados para engrenagens ou rolamentos
Rolamentos deteriorados	Alta	a	"blips"	Freqüência entre 15000 e 40000 rpm
Lubrificação	Alta	a	-	A amplitude se modifica notadamente em função da lubrificação
Eixo torcido	1 X rpm	d	Grandes valores no sentido axial	A amplitude pode se apresentar de forma pulsátil

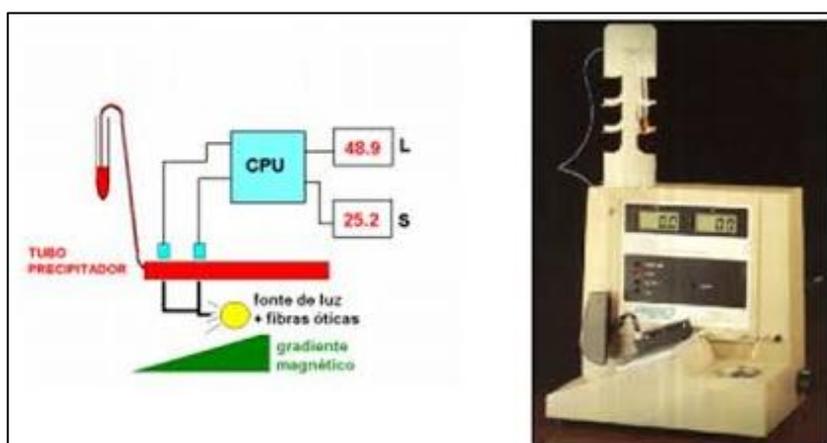
Fonte: [www.manutencaoemfoco.com.br](http://www.manutencaoemfoco.com.br)

## 2.5 Análise de Óleo e Ferrografia

A análise dos óleo permite identificar os primeiros sintomas de desgaste de um componente. A identificação é feita a partir do estudo da quantidade de partículas, A análise de óleo identifica e contabiliza a quantidade de partículas metálicas e de contaminação externa presente no óleo, permitindo, assim, não somente quantificar o desgaste, mas também indicar a provável peça desgastada através da contabilização das partículas de elementos de liga tamanho, forma e composição, que fornecem informações precisas sobre as condições das superfícies em movimento sem a necessidade de se desmontar o conjunto a qual estas partes pertencem (NEPOMUCENO, 2014).

De acordo com Baldissarelli e Fabro (2019), a ferrografia consiste na determinação da severidade, modos e tipos de desgaste em máquinas por meio da identificação da morfologia, acabamento superficial, coloração, natureza e tamanho das partículas encontradas em amostras de óleos ou graxas lubrificantes de qualquer viscosidade, consistência e opacidade.

Figura 2 – Equipamentos utilizados na análise de óleo.



Fonte: [www.manutencaoemfoco.com.br](http://www.manutencaoemfoco.com.br)

## 2.6 Redutores

Os redutores de engrenagens permitem ajustar as características da fonte de rotação de acordo com a necessidade do sistema acionado, aumentando o momento, diminuindo a velocidade de rotação, com o mínimo de perdas de potência. A transmissão por engrenagens apresenta um elevado rendimento, comparativamente com outros sistemas de transmissão mecânica, pode-se definir um redutor de velocidade como um conjunto de engrenagens que operam dentro de uma caixa metálica, usualmente chamada de carcaça. É utilizado quando se deseja aumentar o torque de saída e reduzir da rotação de um acionador (OTANI e MACHADO, 2008).

Engrenagens cilíndricas são usualmente utilizadas em transmissões entre eixos paralelos, podendo possuir dentes retos, helicoidais paralelos ou cruzados. As de dentes retos são mais baratas e mais utilizadas em baixa rotação. As helicoidais normalmente trabalham com cargas mais pesadas, maiores velocidades e quando se tem a necessidade de menores ruídos (FERREIRA – 2013)

Figura 3 – Interior de um redutor e suas engrenagens.



Fonte: [www.manutençãofoco.com.br](http://www.manutençãofoco.com.br)

Figura 4 – Exemplo de um engrenamento de um redutor.



Fonte: [www.manutençãofoco.com.br](http://www.manutençãofoco.com.br)

## 2.7 Estudo de Caso

O estudo de caso foi realizado em uma empresa de grande porte do setor sucroalcooleiro e teve como foco o acompanhamento das operações de um dos redutores do sistema de moagem, o qual está ilustrado na figura 5. As ferramentas preditivas para o monitoramento foram o nível de metais de desgaste do no óleo lubrificante e o nível de vibração, o qual foi realizado em tempo real. As figuras 6 e 7 mostram os resultados obtidos durante o tempo de acompanhamento das operações.

Figura 5 – Redutor utilizado no estudo de caso.



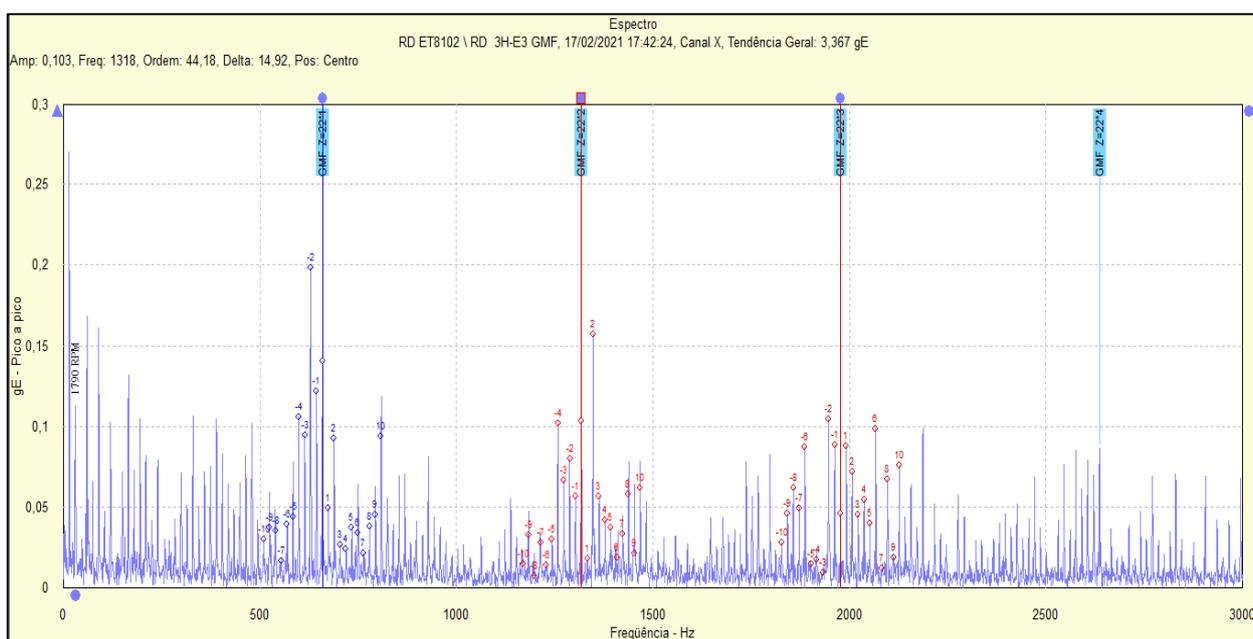
Fonte: Próprio autor.

Tabela 1 – Resultado das análises de óleo no período de acompanhamento.

Dados da Amostra								
Amostra	Status	Coleta	Resultado	Período	P/amostra	Troca?	Adição	Fe(ppm)
2000134761	Atenção	11/11/2020	09/12/2020			NÃO		182
2000172493	Anormal	28/09/2020	15/10/2020			NÃO		185
2000173088	Anormal	03/08/2020	18/08//2020			NÃO		204
2000111779	Normal	02/06/2020	29/06/2020			NÃO		120
1700107004	Normal	25/06/2018	16/10/2018			NÃO		37

Fonte: Próprio autor.

Figura 6 – Dados de análise de vibração.



Fonte: Próprio autor.

Através do acompanhamento e dos resultados fornecidos, foi possível escolher o melhor período para a realização da filtragem do óleo lubrificante, o que garantiu a redução de custos comparado ao sistema de manutenção preventiva sistemática. Outro fator importante foi o acompanhamento através da análise de vibração. Os dados da figura 6 mostram um aumento no nível de vibração entre as frequências harmônicas durante o período de safra. Utilizando os dados, foi possível identificar uma falha prematura no pinhão do sistema de transmissão. Toda via, o defeito foi acompanhado constantemente, o que possibilitou a programação da parada para a troca dos componentes no período de entressafra, garantindo a produtividade no

processo de moagem da cana-de-açúcar. A figura 8 mostra o resultado da manutenção após a troca dos componentes com defeitos.

Figura 7 – Redutor após a manutenção realizada.



Fonte: Próprio autor.

### **3 CONCLUSÕES**

O objetivo deste tipo de manutenção é determinar o tempo correto da necessidade da manutenção, eliminando paradas desnecessárias para inspeção e aumentar o tempo de disponibilidade dos equipamentos. No estudo de caso utilizado, verificou-se que a metodologia, de fato, tem a capacidade de reduzir as paradas emergenciais corretivas, o que impede o aumento dos danos e otimiza a vida útil dos componentes. Toda empresa busca produzir com qualidade, evitando perdas e maximizando o lucro. Para tal, é necessário que as empresas invistam em tecnologia nos setores de manutenção, garantindo maior produtividade e competitividade. Em síntese, pode-se concluir que o estudo de caso contribuiu para expor de forma sucinta os conceitos envolvidos na aplicação da metodologia de análise de falhas voltadas para garantir a qualidade dos serviços prestados na área de recuperação de equipamentos e máquinas operando de forma eficiente, e ainda, mostrar como as ações corretivas, preventivas e preditivas podem evitar quebras inesperadas, apresentando recomendações no sentido de manter o bom funcionamento, Embora o objetivo principal, portanto, são a redução de custos de manutenção e também o aumento da produtividade.

#### 4 REFERÊNCIAS

- [1] - LAGO, D. F. **Manutenção de redutores de velocidade pela integração das técnicas preditivas de análise de vibrações e análise de óleo lubrificante**. 2007.
- [2] - PESSOA, J. M. N. et al. **A análise de óleo e suas implicações no processo de manutenção preditiva de máquinas industriais**. In: 14ª Semana de Ciência & Tecnologia 2018-CEFET-MG. 2018.
- [3] - ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. Saraiva Educação SA. 2018.
- [4] - NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de manutenção preditiva-vol. 1**. Editora Blucher, 2014.
- [5] - BALDISSARELLI, L.; FABRO, E. **Manutenção preditiva na indústria 4.0**. Scientia cum Industria, v. 7, n. 2, p. 12-22, 2019.
- [6] - OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. **Revista Gestão Industrial**, v. 4, n. 2, p. 1-16, 2008.
- [7] - ALMEIDA, M. T.; GÓZ, R. D. S. **Análise de Vibrações I - Medidas e Diagnósticos**. Itajubá: Fupai, 2003.
- [8] - ARAÚJO, Rodrigo. **Análise de Falha Aplicada a Redutores de Velocidade com Perda de Lubrificante por Vazamento**. Instituto Superior de Tecnologia, São João Del Rei, 2011.
- [9] - FERREIRA, Tiago Daniel Torrinha dos Santos. **Falhas e avarias em veios de redutores industriais: causas vs. efeitos**. 2013. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências e Tecnologia.