

**A manutenção de componentes como fator crítico no processamento de soja e seus
desdobramentos**

**The maintenance of components as a critical factor in the processing of soybeans and
their unfolding**

**El mantenimiento de componentes como factor crítico en el procesamiento de soja y sus
consecuencias**

Recebido: 27/04/2020 | Revisado: 28/04/2020 | Aceito: 03/05/2020 | Publicado: 10/05/2020

Darlan Marques da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6657-825X>

Universidade de Rio Verde, Brasil

E-mail: darlan@unirv.edu.br

Ivo Campos Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0189-4363>

Universidade de Rio Verde, Brasil

E-mail: ivo.campos.andrade@hotmail.com

Jordania Louse Silva Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5744-6607>

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

E-mail: jordania@ufam.edu.br

Rodrigo Francisco Borges Lourenço

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7772-6438>

Universidade Estadual Paulista, Brasil

E-mail: rodrigoborges@unirv.edu.br

Giancarlo Ribeiro Vasconcelos

Universidade de Rio Verde, Brasil

E-mail: giancarlo@unirv.edu.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5731-8835>

Resumo

A manutenção é considerada um fator crítico nos mais diversos campos e está associada a várias técnicas. Entre as técnicas preventivas existentes, o plano de lubrificação garante uma boa operacionalidade dos componentes. O presente estudo foi realizado em uma agroindústria beneficiadora de soja localizada no Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil, no qual foi identificado e proposto um plano de lubrificação dos dispositivos. Além disso, foi elaborado um levantamento entre o número de aplicações de graxa, quantidade de graxa aplicada (g) e temperatura (°C) dos componentes (mancais), e sugerido um modelo de regressão multivariada. O estudo foi realizado a partir do acompanhamento das rotinas de trabalho do setor de manutenção em uma linha de armazenamento de soja, com o auxílio de uma câmera termográfica FLIR modelo E8. A proposta implementada no estudo conseguiu reduzir os custos de homem-hora e de materiais de consumo, e melhorar a confiabilidade dos equipamentos pelo indicador temperatura (°C).

Palavras-chave: Manutenção preditiva; Redução de custos; Lubrificação; Regressão multivariada.

Abstract

Maintenance is considered a critical factor in the most diverse fields and is associated with several techniques. Among the existing preventive techniques, the lubrication plan guarantees a good operability of the components. The present study was carried out in a soy processing agribusiness located in the Southwest of the State of Goiás, Brazil, in which a device lubrication plan was identified and proposed. In addition, a survey was prepared between the number of grease applications, the amount of applied grease (g) and temperature (°C) of the components (bearings), and a multivariate regression model was suggested. The study was carried out from the monitoring of the work routines of the maintenance sector in a soy storage line, with the aid of a FLIR thermographic camera model E8. The proposal implemented in the study was able to reduce the costs of man-hours and consumables, and improve the reliability of equipment by the temperature indicator (°C).

Keywords: Predictive maintenance; Reduction of costs; Lubrication; Multivariate regression.

Resumen

El mantenimiento se considera un factor crítico en los campos más diversos y está asociado con varias técnicas. Entre las técnicas preventivas existentes, el plan de lubricación garantiza una buena operabilidad de los componentes. El presente estudio se llevó a cabo en un negocio

de procesamiento de soja ubicado en el suroeste del estado de Goiás, Brasil, en el que se identificó y propuso un plan de lubricación de dispositivos. Además, se preparó una encuesta entre el número de aplicaciones de grasa, la cantidad de grasa aplicada (g) y la temperatura (°C) de los componentes (rodamientos), y se sugirió un modelo de regresión multivariante. El estudio se realizó a partir del monitoreo de las rutinas de trabajo del sector de mantenimiento en una línea de almacenamiento de soja, con la ayuda de una cámara termográfica FLIR modelo E8. La propuesta implementada en el estudio fue capaz de reducir los costos de horas hombre y consumibles, y mejorar la confiabilidad de los equipos mediante el indicador de temperatura (°C).

Palabras clave: Mantenimiento predictivo; Reducción de costos; Lubricación, Regresión multivariante.

1. Introdução

A produção e o processamento de grãos têm grande expressão na economia mundial. O Brasil é um dos principais produtores deste setor que é um dos que mais gera empregos atualmente (Lima et al., 2019). Dentro deste contexto, a Região Centro-Oeste brasileira tem como principal atividade econômica a agroindústria, segmento que requer alto investimento em novas tecnologias (Garcia et al., 2018; Sauer, 2018).

O processo de beneficiamento de grãos, movimentação de cereais, esmagamento, extração, armazenagem e desativação são feitos por máquinas que necessitam de grande atenção durante a operação e especialmente na manutenção (Wang, 2016). Este cenário requer ações que venham a melhorar o desempenho dos processos produtivos, evitando que haja desperdícios, e fomentem a produtividade, como boas práticas de manutenção.

O setor de conservação e manutenção deve estar alinhado às necessidades da indústria para que não haja prejuízo à qualidade do processo, como também evite que ocorram paradas na produção, o que acarretaria em uma série de problemas organizacionais, como o não atendimento à demanda (Dui et al., 2019). Um programa de manutenção inadequado pode levar, por exemplo, a má lubrificação dos componentes que pode levar ao colapso de equipamentos prejudicando todo o processo (Azam et al., 2019).

É essencial um bom planejamento da disponibilidade dos equipamentos para se obter uma produção que atenda as expectativas gerenciais e as metas propostas à linha de produção. Este planejamento é garantido pela manutenção que, segundo Martinod et al. (2018), é o conjunto de ações efetivas que auxiliam no bom funcionamento e de maneira correta dos

componentes. Enquanto Khatab et al. (2018) destacam que este termo está associado a conservação periódica de equipamentos através de uma variável (tempo), repondo e reparando os componentes que estejam estragados ou se degradando, que possa levar a não operação do equipamento em condições operacionais naturais.

Neste contexto, a manutenção preditiva propõe o acompanhamento periódico das máquinas com base na coleta e análise de dados de uma amostragem ou de uma supervisão geral. Isso auxilia em descobrir os intervalos de falhas, antecipa eventuais problemas e evita custos com as manutenções corretivas (Nguyen & Medjaher, 2019). A falta ou a má execução da manutenção preditiva pode levar a paradas não planejadas, incorrendo em custos operacionais com colaboradores, atrasos de entregas, entre outros fatores (Otani & Machado, 2008). A utilização correta da manutenção preditiva pode gerar ganhos no tempo produção, este que influencia no custo do produto final (Li et al., 2019).

Existem diversos estudos na área de manutenção, pois a mesma auxilia na redução de custos (Odolinski & Boysen, 2019), no aumento da disponibilidade de equipamentos (Erkoyuncu et al., 2018), na diminuição do risco de acidente dos operadores de maquinários (Camden et al., 2019) e na melhoria da eficiência industrial (Erkoyuncu et al., 2017). Estes fatores mencionados refletem intrinsecamente no processo das empresas e afetam a sua competitividade frente aos concorrentes.

Visto isso, o objetivo desta pesquisa é melhorar e adequar um processo de lubrificação de mancais em uma empresa beneficiadora de grãos (soja) localizada no centro-oeste goiano, reduzindo os gastos onerados (R\$), tanto com mão de obra quanto com o uso de graxa. Além disso, o estudo propõe um modelo de regressão multivariada para analisar as variáveis em estudo (número de aplicações de graxa, quantidade de graxa aplicada (g) e a temperatura (°C)).

2. Metodologia

Uma pesquisa visa trazer conhecimentos novos para a sociedade segundo Pereira et al. (2018) e uma das técnicas é por meio do estudo de caso que procura descrever de forma detalhada o fenômeno em foco. Nesta pesquisa foi realizado um estudo de caso em uma agroindústria de processamento de grãos localizada no Sudoeste do Estado de Goiás, Brasil. A empresa estudada atua há 37 anos no mercado e presa pela qualidade de suas operações, buscando uma maior eficiência. As observações ocorreram no período de agosto de 2018 até fevereiro de 2019, e a empresa estudada forneceu dados que auxiliaram nas análises.

Foram realizadas avaliações nas máquinas referentes ao tempo de trabalho (h/dia), temperatura (°C), quantidade de graxa (g), meios operacionais e meios de conservação. Levaram-se em conta os impactos causados por uma possível falta de gestão e controle de manutenção.

Inicialmente, foi feita a análise das máquinas trabalhando sem lubrificação programada, que acontecia sem seguir o manual dos componentes, e posteriormente com um cronograma de lubrificação proposto pelos envolvidos na pesquisa e o manual. Planos de manutenção e lubrificação são utilizados por grande parte das indústrias mundiais, também na área de processamento de grãos. O funcionamento dos equipamentos e seus componentes foram monitorados e, foram analisadas: a temperatura de trabalho e o intervalo de lubrificação. A rota de lubrificação era feita sem o devido planejamento, apesar de ser realizada toda semana, mas de forma aleatória, fazendo uma rotatividade na execução das áreas produtivas do colaborador, gastando em média 2 (dois) dias de mão de obra para executar a área produtiva em estudo. O colaborador finalizava todas as áreas de lubrificação dentro de uma semana, fazendo com que ele executasse as atividades semanalmente. Vale destacar que o colaborador era responsável por três áreas produtivas (Linha 1, Linha 2 e Linha 4), entretanto o estudo foi realizado apenas na Linha 4 devido deter mais equipamentos em relação as demais linhas.

Foi utilizada uma câmera termográfica FLIR modelo E8, Figura 1, para mensuração da temperatura. As quantidades de graxa e temperatura foram medidas de segunda-feira a sexta-feira. O equipamento utilizado consegue identificar a temperatura via cores, e aponta os valores máximos e mínimos dos componentes em seu meio de funcionamento. A temperatura máxima indicada é de 70°C.

Figura 1 - A imagem da câmera FLIR modelo E8.



Fonte: Autores (2019).

O equipamento foi utilizado para acompanhar o uso de graxa, levando em consideração rolamentos e mancais (peça, em geral de metal, com rebaixo cilíndrico ou esférico onde se aloja a ponta do eixo girante de uma máquina; ou rolamentos).

Com o planejamento proposto, as execuções das lubrificações passaram a ser quinzenais, atendendo às especificações do manual sobre a quantidade necessária de graxa por mancal.

Os dados obtidos por este equipamento puderam auxiliar no diagnóstico de falhas em elementos mecânicos pela oscilação de temperatura. Com estes dados e juntamente com o suporte dos softwares @Minitab17 e o @Excel2010, criou-se um modelo de regressão multivariada, com as três variáveis (número de aplicações, temperatura (C°) e quantidade de graxa (g)), chegou-se a projeção de economicidade do custo para o setor, considerando a política quinzenal proposta.

3. O Processo na Empresa em Estudo

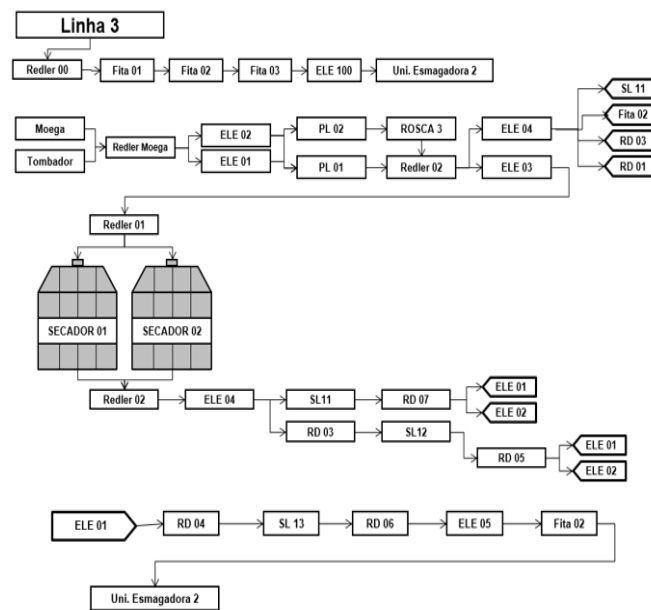
Dentro da empresa estudada, o processo de armazenagem de soja ocorre especificamente na Linha 4. Este cereal é a matéria-prima utilizada na indústria de óleo, onde ocorre o esmagamento da soja e extração de óleo bruto.

O produto chega por meio de caminhões que passam por uma triagem e vistorias, para que seja pesado e, analisada a qualidade dos grãos.

Após esta etapa, os caminhões são encaminhados para um tombador localizado no Armazém Linha 3, a soja é descarregada sobre uma moega que é a estrutura que realiza a recepção de produtos a granel onde se localiza o TC 01 (Transportador de Corrente) que conduz o produto por meio de outros equipamentos levando para o Armazém Linha 4.

Na Figura 2 é possível visualizar o esquema que representa o processo de transporte, secagem e armazenagem de soja da Linha 4.

Figura 2 - O processo no setor industrial estudado (Linha 4).



Fonte: Autores (2019).

Nesse local, o produto pode fazer dois trajetos antes de ser armazenado: passar pelas Pré-Limpezas (PL01, PL02) e ir para os Secadores (SC01, SC02), ou seguir diretamente para os Secadores. Isso depende da quantidade de impurezas analisada no início do processo. A passagem pelo secador é para que o produto seja armazenado de forma segura e atenda as exigências da Indústria de Óleo, nas quais a umidade deve ser de 9,5 % a 10,5%.

Após armazenados nos Silos 1, 2 e 3, com capacidade de 15.500 toneladas cada, a soja é levada para a indústria de óleo para atender a demanda de produção na seguinte sequência de equipamentos: Elevador de Canecas 05 (EL05), Transportador de Corrente 15 (TC15), Transportador de Corrente 16 (TC16), Transportador de Corrente 17 (TC17), até a indústria. Cada equipamento possui de 2 a 4 mancais. Os mancais são bases de apoio fixas para eixos com rolamentos (PENG et al., 2019). O eixo trabalha dentro do mancal e geralmente este é bipartido. No caso deste estudo, trabalhou-se com mancais SN, cujo modelo é demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Mancal SN.



Fonte: Autores (2019).

O modelo possui um espaço vazio entre o rolamento e a superfície do mancal para que ocorra a lubrificação com a graxa. A parte destacada na Figura 3 trata-se de um bico onde é colocada a graxa que é o lubrificante adotado com a função de preservar o rolamento, diminuir o atrito e manter a temperatura estável.

4. Resultados e Discussão

No período de 13 de agosto a 28 de setembro de 2018, juntamente com as atividades do colaborador responsável por engraxar os mancais, foi monitorado o serviço e coletado os resultados que podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1 – Informativo da linha de armazenamento e secagem sobre os equipamentos sem planejamento.

Nº do item	Equipamentos	Texto do item de lista técnica	Relubrificação (g)	Nº de aplicações	Temperatura média (C°)
1	TC00011-L4	MANCAL HSBM34	176	22	40
2	TC00011-L4	MANCAL SN 516	40	5	49
3	TC00010-L4	MANCAL HSBM34	176	22	39
4	TC00010-L4	MANCAL SN 516	40	5	52
5	TC00009-L4	MANCAL SN 526	160	20	57
6	TC00009-L4	MANCAL SN 516	40	5	55
7	TC00005-L4	MANCAL SN 526	160	20	52
8	TC00005-L4	MANCAL SN 516	40	5	41
9	TC00006-L4	MANCAL SN 526	160	20	45
10	TC00006-L4	MANCAL SN 516	40	5	47
11	TC00012-L4	MANCAL SN 522	128	16	59
12	TC00012-L4	MANCAL F 210	96	12	61
13	EL00004-L4	MANCAL SNH 520	96	12	46
14	EL00004-L4	MANCAL ST 207	40	5	51
15	EL00006-L4	MANCAL SNH 530	248	31	57
16	EL00006-L4	MANCAL SNH 513	40	5	48
17	EL00008-L4	MANCAL SNH 516	40	5	44
18	EL00007-L4	MANCAL SNH 518	72	8	55
19	EL00007-L4	MANCAL SNH 530	248	31	39
20	EL00005-L4	MANCAL SNH 520	96	12	44
21	TC00008-L4	MANCAL SNH 518	64	8	52
22	EL00002-L4	MANCAL SNH 524	144	18	41
23	EL00002-L4	MANCAL SNH 518	64	8	53
24	TC00014-L4	MANCAL SN 522	128	16	47
25	TC00013-L4	MANCAL SN 522	128	16	39
26	TC00017-L4	MANCAL SN 522	128	16	51
27	TC00002-L4	MANCAL HSBM34	224	28	41
28	TC00002-L4	MANCAL SN516	40	5	46
29	TC00016-L4	MANCAL SN 522	136	17	67
30	TC00003-L4	MANCAL HSBM34	232	29	50
31	TC00003-L4	MANCAL SN516	40	5	41
32	TC00015-L4	MANCAL HSBM34	224	28	51
33	TC00015-L4	MANCAL SN516	40	5	43
34	TC00004-L4	MANCAL SN 522	128	16	49
35	TC00007-L4	MANCAL SN 518	64	8	37
36	TC00007-L4	MANCAL F 209	72	9	39
37	EL00008-L4	MANCAL ST 207	40	5	40
38	EL00005-L4	MANCAL ST 207	40	5	45
39	TC00016-L4	MANCAL F 210	96	12	41
40	TC00014-L4	MANCAL F 210	96	12	52
41	TC00013-L4	MANCAL F 210	96	12	41
42	TC00017-L4	MANCAL F 210	96	12	39
43	TC00004-L4	MANCAL F 210	96	12	42
44	SOP1SC1-L4	MANCAL SN 517	40	5	71
45	SOP2SC1-L4	MANCAL SN 517	40	5	72
46	SOP3SC1-L4	MANCAL SN 517	40	5	65
47	REF1SC1-L4	MANCAL SN 511	56	7	65
48	REF2SC1-L4	MANCAL SN 511	56	7	69
49	REF3SC1-L4	MANCAL SN 511	56	7	62
50	SOP1SC2-L4	MANCAL SN 517	40	5	69
51	SOP2SC2-L4	MANCAL SN 517	40	5	73
52	SOP3SC2-L4	MANCAL SN 517	40	5	75
53	REF1SC2-L4	MANCAL SN 511	56	7	69
54	REF2SC2-L4	MANCAL SN 511	56	7	67
55	REF3SC2-L4	MANCAL SN 511	56	7	58

Fonte: Empresa estudada (2019).

Observa-se na primeira coluna da Tabela 1 o código do equipamento; na segunda coluna o nome do equipamento retratado; na terceira, tem-se o texto do item da lista técnica e na coluna adjacente, à direita, encontra-se a quantidade de lubrificação da semana (g), posteriormente a quantidade de aplicações necessárias por rota semanal, e por último a temperatura média no período da análise (°C). Todos os valores médios foram observados no intervalo de acompanhamento, este período de observação permitiu mensurar as quantidades de graxa utilizadas sem que houvesse planejamento para tal.

Foi constatado desperdício de graxa e aumento da temperatura logo após a atividade de relubrificação. O excesso de graxa causa sobreaquecimento, levando a danos nas vedações e no rolamento. O colaborador não tinha conhecimento que o excesso de graxa era prejudicial ao equipamento. Apesar do aumento da temperatura, o limite máximo indicado de 70°C, foi atingido e nesses casos não chegou haver colapso dos equipamentos.

Observou-se que, além do desperdício de material utilizado, eram realizados retrabalhos. Desta forma, para controle de quantidade usada, foram feitas amostragens de aplicação da graxa na bomba e foram realizadas cinco aplicações em cada amostra. As cinco amostragens foram coletadas com os seguintes valores: (1) 40.87 g, (2) 39.43 g, (3) 37.21 g, (4) 41.13 g e (5) 41.21 g. É possível visualizar na Figura 4 os registros fotográficos de pesagem das cinco amostras.

Foi aplicada em média 7.99 g de graxa por bomba. Isso foi definido de acordo com o catálogo da FCM/SNH, fabricante dos componentes em estudo. Em boas condições operacionais, baixo nível de contaminação e baixas temperaturas de trabalho, “o primeiro sinal da necessidade da relubrificação é o superaquecimento do componente; a quantidade de relubrificação varia de 20% a 7.5% da área interna do mancal” (FCM, 2001, p. 3).

Com base nas observações in loco e nos dados coletados, foi proposto que a lubrificação que era feita semanalmente, passasse a ser feita quinzenalmente. Dessa maneira, aumentou-se o intervalo e se alterou as quantidades de graxa, com o objetivo de eliminar desperdícios, diminuir os retrabalhos e reduzir as temperaturas dos mancais.

Em relação à temperatura do mancal, vários fatores a influenciam como a temperatura do equipamento, se trabalha ou não com vapor ou produto quente, temperatura ambiente, velocidade de rotação, vedação, horas de funcionamento, condições de montagem, vida útil do rolamento, dentre outros (Hiremath & Reddy, 2017). Segundo Ma et al. (2018), a temperatura constitui um parâmetro que deve ser considerado e controlado em todo e qualquer programa de manutenção, visando manter os componentes operando em condições satisfatórias. Na Figura 4 seguinte ilustram-se algumas amostras colhidas sendo pesadas em

balança.

Figura 4 - Imagens das amostras colhidas e pesada de 1 a 5.



Fonte: Empresa estudada (2019).

Todas as temperaturas foram medidas no mesmo período de tempo, sendo realizadas em horário comercial das 08h às 18h e em boas condições de operação com temperatura ambiente e lubrificante sem contaminação com o produto processado. No primeiro momento não existia nenhum controle sobre o serviço de lubrificação, este era feito por um colaborador sem treinamento ou conhecimento técnico para a execução deste trabalho.

Para que fosse avaliado o plano de lubrificação proposto, foram realizados os mesmos métodos, como o acompanhamento do colaborador com a bomba de graxa. Após as lubrificações, a temperatura foi medida no período de 7 de janeiro a 16 de fevereiro de 2019, e as médias obtidas estão disponíveis na Tabela 2.

Tabela 2 – Informativo da linha de armazenamento e secagem sobre os equipamentos após a nova proposta.

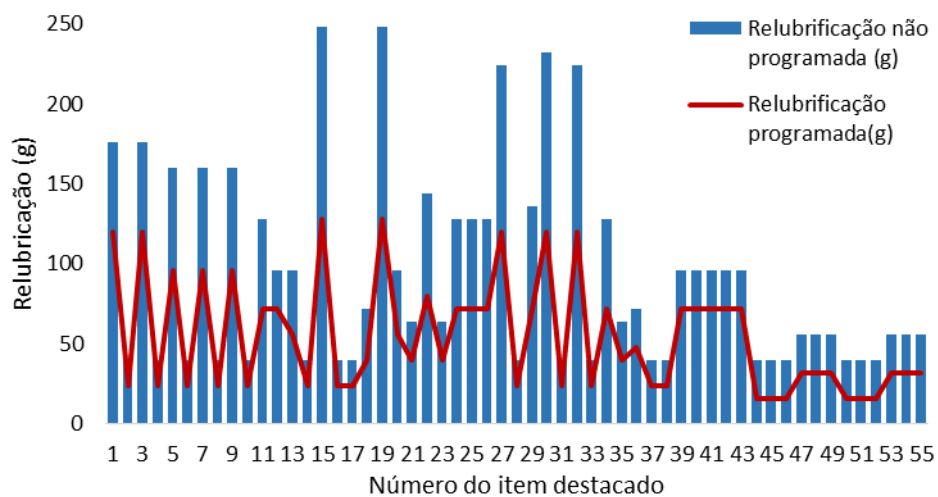
Nº do item	Equipamentos	Texto do item de lista técnica	Relubrificação (g)	Nº de aplicações	Temperatura média (C°)
1	TC00011-L4	MANCAL HSBM34	120	15	40
2	TC00011-L4	MANCAL SN 516	24	3	45
3	TC00010-L4	MANCAL HSBM34	120	15	39
4	TC00010-L4	MANCAL SN 516	24	3	50
5	TC00009-L4	MANCAL SN 526	96	12	49
6	TC00009-L4	MANCAL SN 516	24	3	46
7	TC00005-L4	MANCAL SN 526	96	12	51
8	TC00005-L4	MANCAL SN 516	24	3	43
9	TC00006-L4	MANCAL SN 526	96	12	41
10	TC00006-L4	MANCAL SN 516	24	3	39
11	TC00012-L4	MANCAL SN 522	72	9	47
12	TC00012-L4	MANCAL F 210	72	9	51
13	EL00004-L4	MANCAL SNH 520	56	7	42
14	EL00004-L4	MANCAL ST 207	24	3	44
15	EL00006-L4	MANCAL SNH 530	128	16	44
16	EL00006-L4	MANCAL SNH 513	24	3	41
17	EL00008-L4	MANCAL SNH 516	24	3	44
18	EL00007-L4	MANCAL SNH 518	40	5	49
19	EL00007-L4	MANCAL SNH 530	128	16	41
20	EL00005-L4	MANCAL SNH 520	56	7	44
21	TC00008-L4	MANCAL SNH 518	40	5	46
22	EL00002-L4	MANCAL SNH 524	80	10	43
23	EL00002-L4	MANCAL SNH 518	40	5	47
24	TC00014-L4	MANCAL SN 522	72	9	39
25	TC00013-L4	MANCAL SN 522	72	9	40
26	TC00017-L4	MANCAL SN 522	72	9	42
27	TC00002-L4	MANCAL HSBM34	120	15	38
28	TC00002-L4	SN516	24	3	44
29	TC00016-L4	MANCAL SN 522	72	9	50
30	TC00003-L4	MANCAL HSBM34	120	15	53
31	TC00003-L4	MANCAL SN516	24	3	41
32	TC00015-L4	MANCAL HSBM34	120	15	42
33	TC00015-L4	MANCAL SN516	24	3	49
34	TC00004-L4	MANCAL SN 522	72	9	47
35	TC00007-L4	MANCAL SN 518	40	5	39
36	TC00007-L4	MANCAL F 209	48	6	36
37	EL00008-L4	MANCAL ST 207	24	3	38
38	EL00005-L4	MANCAL ST 207	24	3	41
39	TC00016-L4	MANCAL F 210	72	9	40
40	TC00014-L4	MANCAL F 210	72	9	38
41	TC00013-L4	MANCAL F 210	72	9	45
42	TC00017-L4	MANCAL F 210	72	9	37
43	TC00004-L4	MANCAL F 210	72	9	40
44	SOP1SC1-L4	MANCAL SN 517	16	2	72
45	SOP2SC1-L4	MANCAL SN 517	16	2	68
46	SOP3SC1-L4	MANCAL SN 517	16	2	64
47	REF1SC1-L4	MANCAL SN 511	32	4	66
48	REF2SC1-L4	MANCAL SN 511	32	4	69
49	REF3SC1-L4	MANCAL SN 511	32	4	67
50	SOP1SC1-L4	MANCAL SN 517	16	2	67
51	SOP2SC1-L4	MANCAL SN 517	16	2	71
52	SOP3SC1-L4	MANCAL SN 517	16	2	69
53	REF1SC1-L4	MANCAL SN 511	32	4	66
54	REF2SC1-L4	MANCAL SN 511	32	4	66
55	REF3SC1-L4	MANCAL SN 511	32	4	66

Fonte: Empresa estudada (2019).

Em relação a Tabela 2 com a Tabela 1, foi modificado o período de lubrificação tornando-se quinzenal, alterando a quantidade de graxa aplicada e a temperatura dos equipamentos. A quantidade de graxa por equipamento é dada por meio da: quantidade de aplicações multiplicadas por 7.99 g.

Comparando o antigo método de lubrificação que era realizado semanalmente com graxa em excesso e o plano proposto, constatou-se a redução no consumo de lubrificante em 2.110 gramas totalizando 41,22%, redução da utilização da mão de obra em 50% e a redução na temperatura dos componentes como pode ser visualizado na Figura 5.

Figura 5 – Comparativo da lubrificação antes e depois da ação proposta.



Fonte: Autores (2019).

Pela análise da Figura 5, é possível observar o comparativo entre a execução da lubrificação sem planejamento (barras em azul) e pós-planejamento (linhas em vermelho), em relação ao número do item destacado (podendo ser considerado como o código do mancal), conforme o seu respectivo nome nas Tabelas 1 e 2. A temperatura elevada se dava pelo excesso de graxa no mancal, causando um aquecimento maior nos primeiros dias de trabalho após a lubrificação.

O aumento de temperatura dos equipamentos pode ser percebido durante o funcionamento pela emissão de calor da superfície. De acordo com Visnadi & Castro (2019), o aumento ou redução da temperatura seguida de choques mecânicos e fricções podem reduzir a resistência do material, pois afeta diretamente as suas propriedades mecânicas.

Com os dados coletados, foi possível desenvolver um modelo de regressão linear multivariada para verificar a previsibilidade de quantas aplicações seriam necessárias para a

atual proposta da melhoria, considerando a quantidade de graxa (g) e a temperatura (°C). Quando verificada a aderência aos parâmetros de acordo com p-valores do modelo, a variável temperatura (°C) não apresentou um p-valor significativo de acordo com o erro $\alpha = 5\%$, obtendo valor $\alpha > 0,05$. Para Sapra e Nundy (2018), o p-valor é uma das ferramentas inferenciais mais utilizadas dentro da ciência estatística para orientar a pesquisa em vários domínios científicos, mensurando a significância do resultado ao teste aplicado.

Tal fato foi solucionado propondo um modelo de regressão multivariado, com a incógnita temperatura sendo elevada a segunda ordem, resultando em uma função preditiva que pode ser visualizada na Eq. (1).

$$y(x_1, x_2) = 2,79943 * 10^{-15} + 0,125x_1 - 4,12081 * 10^{-19} x_2^2 \quad (1)$$

Onde, $y(x_1, x_2)$ representa o número de aplicações em função da quantidade de graxa (g) e da temperatura (°C); x_1 a variável quantidade de graxa necessária de acordo com o tamanho do mancal; x_2 é a respectiva temperatura (°C) medida pela câmera termográfica FLIR modelo E8.

Todos os valores da Eq. (1) encontram-se na Tabela 3. A degradação da graxa é o resultado de uma resposta ao estresse de cisalhamento deste elemento ao trabalho mecânico, às temperaturas e aos efeitos ambientais por meio da entropia irreversível gerada por essas interações que não conservam as propriedades do elemento (Osara & Bryant, 2019). Os parâmetros foram todos satisfatórios, com p-valores $< 0,05$ (5,08829E-13, 0 e 1,79037E-06).

Tabela 3 - Função preditiva, com o intercepto, relubrificação (g) e temperatura (°C).

	Coeficientes	P-valor
Interseção	2,79943E-15	5,08829E-13
Relubrificação (g)	0,125	0
Temperatura média (C°)	-4,12081E-19	1,79037E-06

Fonte: Autores (2019).

Para verificar a validade do modelo, fez-se necessário verificar o R^2 . De acordo com Dutta e Das (2019), o R^2 serve para averiguar em percentagem o quanto o modelo consegue explicar os dados, podendo ser nomeado como a coeficiente de determinação. O valor para esta variável ajustada foi igual a 1, adequando perfeitamente o modelo proposto aos dados

coletados de acordo com Tabela 4.

Tabela 4 - Estatística de regressão para verificar a aderência pelo R^2 ajustado.

	Valor
R múltiplo	1
R-Quadrado	1
R-quadrado ajustado	1
Erro padrão	5,88901E-16
Observações	55

Fonte: Autores (2019).

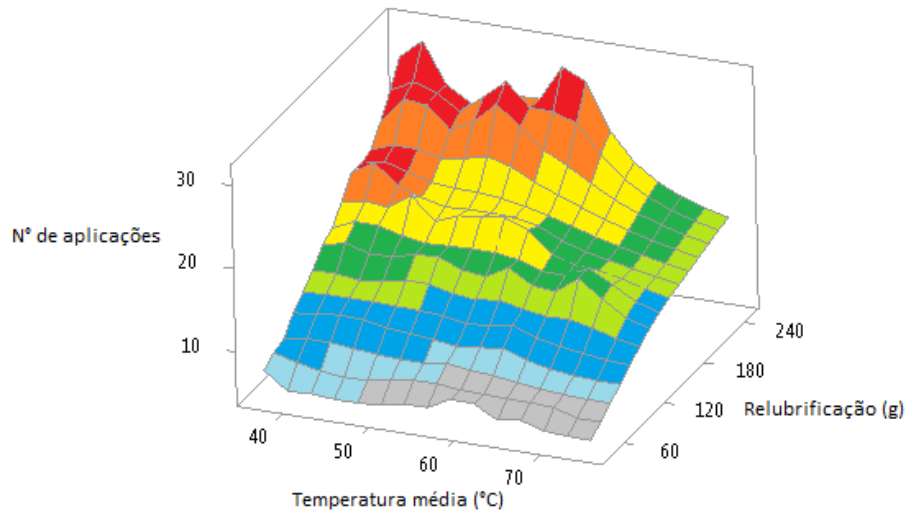
Já quando se observa a relação entre o número de aplicações e a relubrificação, apresenta-se uma relação positiva. Gan et al. (2019) destacam que a geração de calor em regime de lubrificação é determinada como função da carga aplicada, velocidade de deslizamento e ao coeficiente de atrito, tendo o período de rotação como indicação na influência das características térmicas no risco de escoriação.

Desta forma, uma temperatura regular e mais baixa garantirá uma vida útil maior da peça, aumentando o intervalo de falha, diminuindo a parada de equipamentos e reduzindo homem-hora. Observa-se, para os equipamentos, uma redução de custo pela metade.

A Figura 6 demonstra a relação entre as variáveis estudadas (temperatura média em °C, quantidade (n°) de aplicação e a relubrificação (g)). Pode-se denotar quanto maior a temperatura, menor a quantidade de aplicações.

Para Xie e Liu (2020), a graxa excedente leva os componentes rolantes, antes de iniciarem o processo giratório, começam a deslocar a graxa para a parte externa da pista, o que acarreta na perda de energia e acréscimo de temperatura, resultando em uma oxidação química acelerada e particiona o óleo do espessante.

Figura 6 – Visualização gráfica da relação entre a temperatura (°C), relubrificação (g) e ao número de aplicações.



Fonte: Próprios autores (2019).

Ainda sobre a Figura 6, pode-se denotar que a melhor região concentra-se sobre a área que apresenta menores temperaturas, fazendo com que o equipamento não sobreaqueça, menores números de aplicações e de relubrificação, mas que atenda às necessidades mínimas para um bom funcionamento operacional dos equipamentos e concilie com uma menores de custos, decaindo sobre a região do canto inferior frontal. As colorações tem relação com quantidade de dados que caem sobre a respectiva área, tendo a vermelha a maior quantidade de dados até chegar a cinza, com a menor quantidade. Concluindo-se que a maioria dos dados encontra-se quando tem menor temperatura e maiores aplicações de lubrificante.

Durante o período da pesquisa o valor da grama da graxa custava R\$ 0,024, e eram utilizados 5.118 gramas, com o custo de R\$122,83 em cada rota de lubrificação. Com o novo método e seguindo as especificações do fabricante, reduziu-se o consumo de graxa para 3.008 gramas, com custo de R\$72,19 em cada rota de lubrificação, diminuindo 58,77% de consumo.

Comparando a primeira e segunda análises, foi alcançada uma redução de custo em homem-hora. Com todos encargos, o valor do colaborador de lubrificação é de R\$ 21,53 por hora para empresa. Em uma projeção mensal, o custo para essa área era de R\$ 1377.92, no método proposto, reduziu-se para R\$ 688.96, o que significou uma redução mensal de 50%. Vilarinho et al. (2018) denotam a importância de verificar todas as possibilidades de melhorias em processos, como um fator oportunístico para obter ganhos significativos sobre os custos industriais.

Considera-se ainda necessário fazer um planejamento futuro em relação à vida útil dos equipamentos, para evitar danos ou perda na produção, o que é muito comum nesse tipo de segmento da empresa. Segundo os gestores do setor sob investigação, tem-se um alto nível de desgaste e quebras, contabilizando aproximadamente 20 paradas, por serem máquinas que trabalham consideravelmente grande parte do ano para a atividade.

5. Considerações Finais

Com a implementação e utilização de técnicas de manutenção preditiva que é a análise de dados foi inserido um plano de lubrificação que provem das técnicas preventivas, onde foi reduzido o custo com lubrificante e mão de obra e, conseqüentemente, podendo diminuir as paradas inesperadas e aumentando a produtividade.

A utilização de planos de manutenção adequados a partir de estudos foi eficaz na redução de horas improdutivas, podendo redirecioná-las para manutenção preventiva e análise de equipamentos.

O estudo agrega mais valor ao serviço prestado por parte do setor de manutenção, pois a redução de temperatura dos equipamentos em 5,52 % na média, faz com que aumente o intervalo de falha e a vida útil dos componentes citados será maior, diminuindo as manutenções corretivas.

Sabe-se que houve uma redução de 50% na mão de obra e 58,77% no consumo de graxa por mês o que gera uma projeção anual de redução total de R\$ 9133,80. Isso mostra a viabilidade de se ter um planejamento mais minucioso para as demais áreas operacionais, a fim de maximizar os lucros da empresa.

Referências

Acomp. Safra Bras. Grãos (2018). *Safra 2017/18 - Sexto levantamento*, Brasília, v. 6, p. 140.

Disponível em:

<http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/18_03_09_14_46_58_grao_marco_2018.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2020.

Azam, A, Dorgham, A, Morina, A, Neville, A & Wilson, MCT. (2019). A simple deterministic plastoelastohydrodynamic lubrication (PEHL) model in mixed lubrication. *Tribology International*. 131(1): 520-529. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2018.11.011>

- Camden, MC, Flintsch, AM, Hickman, JS, Bryce, J, Flintsch, G & Hanowski, RJ. (2019). Prevalence of operator fatigue in winter maintenance operations. *Accident Analysis & Prevention*. 126(1): 47-53. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.01.009>
- Dui, H, Li, S, Xing, L & Liu, H. (2019). System performance-based joint importance analysis guided maintenance for repairable systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 186(1): 162-175. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.02.021>
- Erkoyuncu, JÁ, Amo, IFD, Mura, MD, Roy, R & Dini, G. (2017). Improving efficiency of industrial maintenance with context aware adaptive authoring in augmented reality. *CIRP Annals*. 66(1): 465-468. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.04.006>
- Erkoyuncu, JÁ, Khan, S., Eiroa, AL, Butler, N, Rushton, K, & Brocklebank, S. (2017). Perspectives on trading cost and availability for corrective maintenance at the equipment type level. *Reliability Engineering & System Safety*. 168(1): 53-69. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.05.041>
- FCM, SNH. (2001). Catálogo Eletrônico Ve-001-SNH. Disponível em: <http://www.rolamentoscbf.com.br/novo/downloads/FCM-CAIXAS-SNH.pdf>. Acesso em: 05 maio 2020.
- Gan, L, Xiao, K, Wang, J, Pu, W & Cao, W. (2019). A numerical method to investigate the temperature behavior of spiral bevel gears under mixed lubrication condition. *Applied Thermal Engineering*. 147(1): 866-875. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.125>
- Garcia, MS, Vilpoux, OF & Cereda, MP. (2018). Distributed electricity generation from sugarcane for agricultural irrigation: A case study from the midwest region of Brazil. *Utilities Policy*. 50(1): 207-210. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2017.09.010>
- Gunderson, MA, Boehlje, MD, Neves, MF & Sonka, ST. (2018). Agribusiness Organization and Management. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*. pp. 51-70, 2014. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00117-0>

Hiremath, N & Reddy, DM. (2017). Experimental Studies to Assess Surface Wear Using Grease Degradation, Bearing Temperature and Statistical Parameter of Vibration Signals in a Roller Bearing. *Materials Today: Proceedings*. 4(1): 8370-8377.

<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.07.180>

Khatab, A, Diallo, C, Venkatadri, U, Liu, Z & Aghezzaf, EH. (2018). Optimization of the joint selective maintenance and repairperson assignment problem under imperfect maintenance. *Computers & Industrial Engineering*. 125(1): 413-422.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.09.012>

Li, J, Chen, Y, Zhan, Y, & Huang, H. (2019). Availability modeling for periodically inspection system with different lifetime and repair-time distribution. *Chinese Journal of Aeronautics*. <https://doi.org/10.1016/j.cja.2019.03.025>

Lima, M, Silva, CA, Rausch, L, Gibbs, HK & Johann, JA. (2019). Demystifying sustainable soy in Brazil. *Land Use Policy*. 82(1): 349-352.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.12.016>.

Lopes, HS, Lima, RS, Leal, F & Nelson, AC. (2017). Scenario analysis of Brazilian soybean exports via discrete event simulation applied to soybean transportation: The case of Mato Grosso State. *Research in Transportation Business & Management*. 25(1): 66-75.

<https://doi.org/10.1016/j.rtbm.2017.09.002>

Ma, R, Liu, H & Chen, Z. (2018). Calculation method for the residual stability bearing capacity under axial compression of steel tube members exposed to a high temperature. *Thin-Walled Structures*. 132(1): 475-493. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.09.011>

Martinod, RM, Bistorin, O, Castañeda & LF, Rezg, N. (2018). Maintenance policy optimization for multi-component systems considering degradation of components and imperfect maintenance actions. *Computers & Industrial Engineering*. 124(1): 100-112.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.07.019>

Nguyen, KTP & Medjaher, K. (2019). A new dynamic predictive maintenance framework using deep learning for failure prognostic. *Reliability Engineering & System Safety*. 188(1): p 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.03.018>

Odolinski, K & Boysen, HE. (2019). Railway line capacity utilization and its impact on maintenance costs. *Journal of Rail Transport Planning & Management*. 9(1): 22-33. <https://doi.org/10.1016/j.jrtpm.2018.12.001>

Otani, M & Machado, W. (2008). A proposta de desenvolvimento de gestão de manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. *Revista Gestão Industrial*. Paraná, 4(2): 3-4.

Peng, S, Ding, H, Zhang, G, Tang, J & Tang, Y. (2019). New determination to loaded transmission error of the spiral bevel gear considering multiple elastic deformation evaluations under different bearing supports. *Mechanism and Machine Theory*. 137(1): 37-52. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2019.03.013>

Pereira, AS et al. (2018). *Metodologia da pesquisa científica*. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Acesso em: 6 maio 2020. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_Metodologia-Pesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1.

Sauer, S. (2018). Soy expansion into the agricultural frontiers of the Brazilian Amazon: The agribusiness economy and its social and environmental conflicts. *Land Use Policy*. 79(1): 326-338. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.08.030>

Vilarinho, S, Lopes, I & Sousa, S. (2018). Developing dashboards for SMEs to improve performance of productive equipment and processes. *Journal of Industrial Information Integration*. 12(1): 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2018.02.003>

Wang, T. (2016). Soybean: Processing. *Encyclopedia of Food Grains*. 3(2): 489-496. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00172-8>.

Xie, Z & Liu, H. (2020). Experimental research on the interface lubrication regimes transition of water lubricated bearing. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 136(1): 106522. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106522>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

Darlan Marques da Silva – 20%

Ivo Campos Andrade – 20%

Jordania Louse Silva Alves – 20%

Rodrigo Francisco Borges Lourenço – 20%

Giancarlo Ribeiro Vasconcelos – 20%