

# PLANO DE RELUBRIFICAÇÃO DE UMA LINHA DE LAMINAÇÃO A FRIO\*

Antônio Carlos Ataíde<sup>1</sup>  
Alan de Sousa Pereira<sup>2</sup>  
Alysson Patrick Menezes Marques<sup>3</sup>

## Resumo

O presente trabalho tem por objetivo revisar o atual plano de lubrificação de um laminador a frio modelo Sendzimir, tendo como foco principal determinar por meios analíticos, a confiabilidade dos processos de relubrificação à graxa de mancais de rolamento. Para a determinação dos parâmetros de relubrificação do restante dos conjuntos, que não são mancais de rolamento, foi realizada a consulta dos catálogos dos fabricantes para a determinação dos intervalos e quantidades, conforme recomendação destes. Para a realização deste trabalho, foi necessária uma extensa revisão bibliográfica, de normas e literaturas referentes a este tema. No final deste, objetiva-se a obtenção de um aumento da confiabilidade dos equipamentos, além de uma redução de custo com mão de obra e lubrificante durante os períodos de relubrificação.

**Palavras-chave:** Lubrificação; Relubrificação; Confiabilidade.

## PLAN OF RELUBRICATION OF A LINE OF COLD LAMINATION

### Abstract

This present project aims to review the current plan of lubrication of a cold rolling line. This project focused on determining, by analytical means, the reliability of the relubrication processes to bearing grease. For the determination of the relubrication parameters of the remaining assemblies, which are not rolling bearings, the manufacturer's catalogs were consulted for the determination of intervals and quantities, as recommended by them. For the accomplishment of this work, it was necessary an extensive bibliographical revision, of norms and literatures referring to this subject. At the end of this project, the objective is to obtain an increase in the reliability of the equipment, in addition to a reduction of cost with labor and waste of lubricating fluid during the periods of relubrication.

**Keywords:** Lubrication; Relubrication; Reliability.

<sup>1</sup> Engenharia mecânica, Mestre em Engenharia Mecânica, Engenheiro Mecânico, Gerencia de Engenharia de Equipamentos, Aperam, Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup> Estudante de Engenharia Mecânica, Bacharel, Estagiário, Manutenção, Aperam, Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup> Estudante de Engenharia Mecânica, Bacharel, Estudante, Unileste, Coronel Fabriciano, Minas Gerais, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação dos instrumentos e ferramentas consta desde os indícios de formação de civilização. A partir de meados de 1950, surge na indústria Norte Americana o termo manutenção. Essa palavra foi substituída por conservação na França de maneira progressiva [1].

A globalização dos mercados é instalada tornando a concorrência industrial bastante acirrada, exigindo que esta aumente seu desempenho técnico e qualitativo, de modo a se fazerem competitivas em escala mundial [1].

Com a crescente evolução do mercado industrial foi necessário que as indústrias produzissem cada vez mais com menor custo e em menos tempo, para se obter um melhor desempenho. A busca pela redução de falhas passou a ser pauta nas pequenas e grandes empresas. No início esperava-se o equipamento falhar para gerar a manutenção, o que muitas vezes causava prejuízos incalculáveis, como acidentes com vítimas fatais, financeiros, como uma grande parada de um equipamento de vital importância para o processo produtivo.

A partir de estudos decorrentes na história, verificou-se que para o equipamento operar com a máxima eficiência possível, fazia-se necessário reduzir ao máximo as entropias presentes nos sistemas.

Com relação aos equipamentos industriais, o que gera maior perda de energia é a força de atrito, que é definida como a força que se opõe ao movimento de um corpo sobre o outro [2]. Mesmo antes do conhecimento profundo sobre tribologia (ciência que estuda o atrito) já temos grandes e concretos indícios da preocupação incessante sobre a redução dessa força [3]. Com a evolução dos estudos sobre o assunto verificou-se que existe dois tipos de atrito: atrito fluido e sólido, sendo que a energia necessária para realização do trabalho com o atrito fluido é consideravelmente menor em relação ao sólido [2]. Desde então passou a ser estudado os lubrificantes, pois a inserção de um filme fluido entre corpos diminui expressivamente o coeficiente de atrito.

Neste trabalho foi realizado um estudo relacionado a um plano de lubrificação de um laminador a frio modelo Sandzimir, com vista à elevação da confiabilidade, bem como uma redução de custo.

O trabalho (estudo) consistiu no levantamento de dados, tais como, carregamentos, contexto operacional, etc. de todos os conjuntos e subconjuntos, de forma a formular todo cálculo empírico a fim de ajustar a frequência de lubrificação e a qualidade da lubrificante.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento utilizado neste estudo foi um laminador de bobinas a frio modelo Sandzimir. Onde se objetivou realizar um estudo para a aplicação de uma nova metodologia de lubrificação, visando o aumento da confiabilidade e a redução de custos com lubrificantes.

Para a realização, foi analisada uma série de literaturas especializadas em relubrificação de mancais de rolamento.

Os conjuntos dos equipamentos analisados neste estudo foram: bobinadeiras de papel, desbobinadeira, bobinadeira, mancais moveis, acoplamentos, desempenadeiras, acionamento por eixos cardan e rolos puxadores.

De modo que a metodologia para o estudo destes pode ser vista na figura 1.

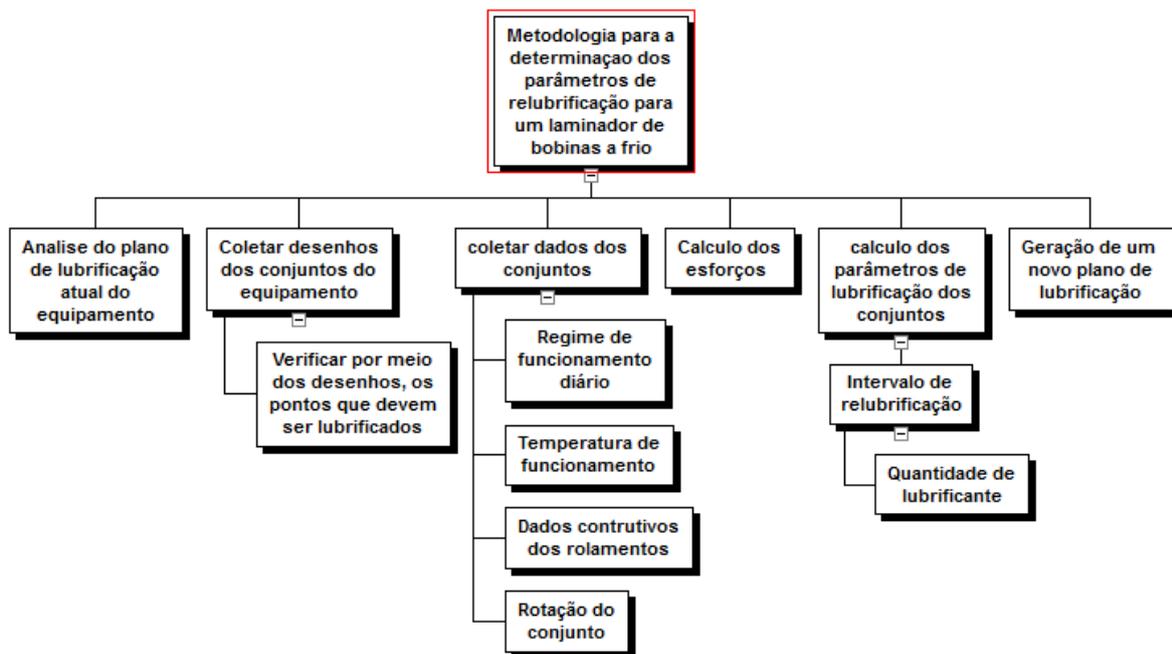


Figura 1. Metodologia de relubrificação.

**Analisar o atual plano de lubrificação:** A análise do atual plano de lubrificação consistiu em verificar principalmente, os intervalos de relubrificação para os conjuntos do laminador de bobinas, e as quantidades de graxa que eram aplicadas nestes intervalos;

**Coletar desenhos dos conjuntos:** A coleta de desenhos dos conjuntos teve vários objetivos, dentre eles:

- Localizar os pontos de lubrificação;
- Entender o funcionamento do equipamento;
- No caso dos rolamentos, verificar modelo e características;
- Analisar as dimensões do equipamento.

**Características funcionais dos conjuntos:** Para a determinação de um novo plano de lubrificação, é de suma importância analisar os seguintes pontos:

- **Regime de trabalho do equipamento:** A análise do regime de trabalho do equipamento irá influenciar diretamente no intervalo de relubrificação dos conjuntos, uma vez que um equipamento trabalhando 3 horas por dia terá um intervalo de relubrificação superior de um mesmo equipamento trabalhando 24 horas por dia;
- **Temperatura de funcionamento:** Segundo [3] a viscosidade de um fluido lubrificante, é uma medida que varia diretamente com a temperatura, de modo que em ambientes com elevadas temperaturas acima de 75°C, o intervalo de relubrificação tendera a diminuir;

**Dados construtivos do rolamento:** A Análise dos dados construtivos do rolamento tem como objetivo as seguintes verificações:

- Diâmetro externo, interno e largura do rolamento, para a determinação da quantidade de lubrificante a ser aplicada nos períodos de relubrificação;
- Análise da capacidade de carga dinâmica do rolamento;
- Análise da rotação máxima de trabalho do rolamento lubrificado a graxa.

**Calcular esforços atuantes:** Se falando em mancais de rolamento, normalmente se consegue fazer o uso de vigas isostáticas ou hiperestáticas para o cálculo das forças radiais e axiais atuantes sobre os rolamentos;

**Determinação da quantidade e intervalos de relubrificação:** Para a determinação dos intervalos de relubrificação dos conjuntos foi utilizada a (equação 1) .

$$T = K * \left( \frac{14 * 10^6}{n * d^2} - 4 * d \right)$$

Onde:

n: Rotação do rolamento;

d: Diâmetro interno do rolamento;

K: Fator de segurança;

T: Período de relubrificação em horas.

Onde o fator de segurança K poderá ser determinado em função da (equação 2) :

$$K = F1 * F2 * F3 * F4 * F5 * F6 * F7$$

De modo que os parâmetros de F1 a F7 podem ser determinado com base na tabela 1:

**Tabela 1.** Fatores de segurança para determinação dos intervalos de relubrificação

Parâmetros de correção do período de relubrificação		
Influência da poeira e umidade	Média	F1= 0,7 a 0,9
	Forte	F1= 0,4 a 0,7
	Muito Forte	F1= 0,1 a 0,4
Influência da vibração	Média	F2= 0,7 a 0,9
	Forte	F2= 0,4 a 0,7
	Muito Forte	F2= 0,1 a 0,4
Influência da temperatura	Média (até 75°C)	F3= 0,7 a 0,9
	Forte (de 75°C a 85°C)	F3= 0,4 a 0,7
	Muito Forte (acima de 85°C)	F3= 0,1 a 0,4
Influência da relação de carga	P/C=0,1 a 0,15	F4= 0,7 a 0,9
	P/C=0,15 a 0,25	F4= 0,4 a 0,7
	P/C=0,25 a 0,35	F4= 0,1 a 0,4
Influência da forma construtiva do rolamento	Rolamentos de esferas, autocompensadores e de contato angular	F5= 1 a 1,6
	Rolamentos de rolos cilíndricos, de agulhas e cônicos	F5= 3 a 4
	Rolamentos axiais	F5= 5 a 6
Influência do fluxo de ar através do rolamento	Sem fluxo	F6= 0,7 a 0,9
	Pouco fluxo	F6= 0,5 a 0,7
	Fluxo forte	F6= 0,1 a 0,5
Influência da perca proveniente de defeitos advindos de vedações	n/N=0,1 a 0,15	F4= 0,7 a 0,9
	n/N=0,15 a 0,25	F4= 0,4 a 0,7
	n/N=0,25 a 0,35	F4= 0,1 a 0,4

Na tabela 1 as variáveis apresentadas são:

N: Rotação máxima do rolamento;

P: Carga dinâmica equivalente aplicada sobre o rolamento;

C: Capacidade de carga dinâmica do rolamento.

Para a determinação da quantidade de lubrificante a ser aplicado nos períodos de relubrificação deve se fazer uso da (equação 3) :

$$G = 0,005 * D * B$$

Onde:

G= quantidade de lubrificante em gramas;  
D= Diâmetro externo do rolamento;  
B= Largura do rolamento.

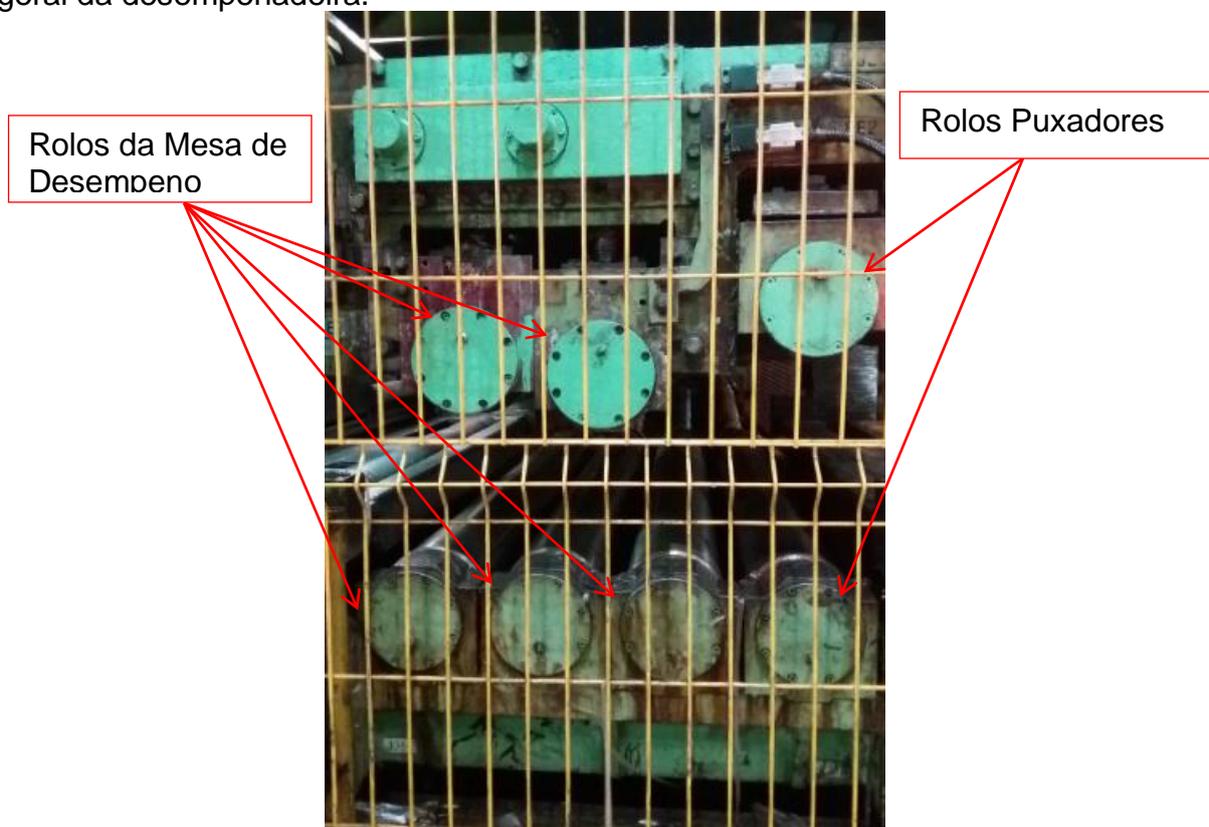
A determinação dos parâmetros de relubrificação de todos os conjuntos seguiu a mesma metodologia.

**Gerar novo plano de relubrificação:** Uma vez determinado o intervalo e a quantidade de lubrificante a serem aplicados nos períodos de relubrificação, pode ser gerado um novo plano de relubrificação que seja confiável e seguro.

## 2.1 EXEMPLO DE APLICAÇÃO DESTA METODOLOGIA

Como exemplo de aplicação da metodologia, será apresentado abaixo a aplicação em um conjunto do laminador, que é a desempenadeira.

A desempenadeira é um equipamento mecânico que tem como função de desempenar as pontas inicial e final da bobina de aço. A figura 2 mostra a vista geral da desempenadeira.



**Figura 2.** Desempenadeira.

A desempenadeira possui o plano relubrificação, conforme pode ser visto na tabela 2:

Tabela 2. Atual plano de relubrificação da desempenadeira

<b>Atual plano de lubrificação da Desempenadeira</b>			
<b>Atividade</b>	<b>Pontos</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Intervalo</b>
Relubrificação	Acionamento por cardan	30 gramas	84 dias
Relubrificação dos mancais de rolamento	Rolos puxadores superiores e inferiores	130 gramas	84 dias
Relubrificação dos mancais de rolamento	Rolos da mesa de desempenho	130 gramas	84 dias
Relubrificação	Guias deslizantes	10 gramas	84 dias

### 2.1.1 PROPOSTA DE PLANO DE RELUBRIFICAÇÃO PARA A DESEMPENADEIRA

Para a determinação de um plano de relubrificação mais eficiente e confiável, foi utilizada a metodologia conforme pode ser vista na figura 1, de modo que os seus respectivos desenhos foram analisados para verificar a localização de todos os pontos de lubrificação, e para verificar nos caso dos mancais de rolamento, qual a forma construtiva destes.

Onde nos casos dos mancais de rolamento, verificou se conforme a tabela 3 as características construtivas dos rolamentos da desempenadeira:

Tabela 3. Características dos rolamentos da desempenadeira

<b>CARACTERÍSTICAS DOS ROLAMENTOS DA DESEMPENADEIRA</b>	
<b>Tipo de Rolamento</b>	SKF 22217 E
<b>Capacidade de Carga Dinâmica (C)</b>	291 KN
<b>Rotação Máxima do Rolamento</b>	5600 RPM
<b>Largura do Rolamento (B)</b>	36 mm
<b>Diâmetro Externo do Rolamento</b>	150 mm
<b>Diâmetro Interno do Rolamento</b>	85 mm

As características de trabalho deste conjunto podem ser observadas na tabela 4:

**Tabela 4.** Características de trabalho destes rolamentos

<b>CARACTERÍSTICAS DE TRABALHO</b>	
<b>Regime de trabalho diário</b>	3 horas
<b>Rotação de trabalho</b>	36 RPM

O rolo puxador da desempenadeira é deslocado verticalmente por um cilindro com uma unidade de alimentação com pressão de 60 Kgf/cm<sup>2</sup>, enquanto os rolos da mesa de desempenho são também submetidos por um cilindro com pressão de 30 Kgf/cm<sup>2</sup>.

De modo que para se determinar a carga aplicada sobre os rolamentos dos puxadores e da mesa de desempenho, deve se calcular a força que o cilindro faz sobre os rolos. Sabendo que para determinar a pressão pode-se utilizar a equação 4:

$$P = \frac{F}{A}$$

Podendo assim determinar a força por meio da (equação 5):

$$F = P * A$$

Onde:

F: Força exercida pelo cilindro;

A: Área do êmbolo do cilindro;

P: Pressão do cilindro.

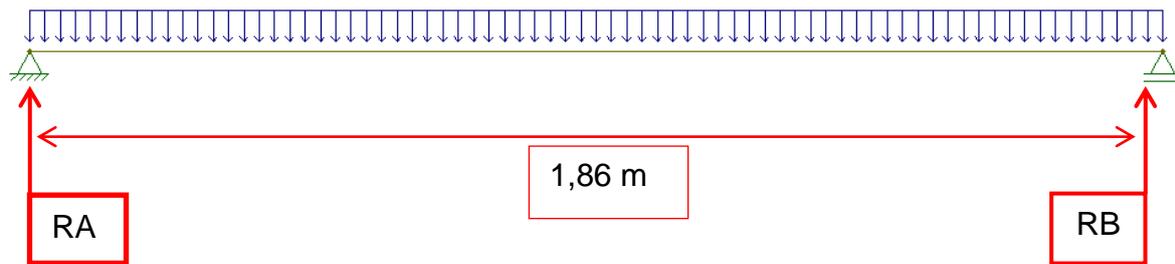
A tabela 5 apresenta as cargas aplicadas sobre os rolos puxadores e sobre os rolos da mesa de desempenho:

**Tabela 5.** Características dos cilindros

<b>Características dos cilindros</b>				
	Pressão	Diâmetro do êmbolo	Área	Força
Rolos Puxadores	60 Kgf/cm <sup>2</sup>	140 mm	15393,8 mm <sup>2</sup>	90,6 KN
Rolos da mesa de desempenho	35 Kgf/cm <sup>2</sup>	280 mm	61575,2 mm <sup>2</sup>	211,4 KN

Tendo as forças aplicadas sobre os rolos, foi possível determinar por meio de vigas isostáticas os esforços atuantes nos rolamentos.

Logo com base na figura 3, pode-se observar as reações de apoio atuando sobre os rolos puxadores:



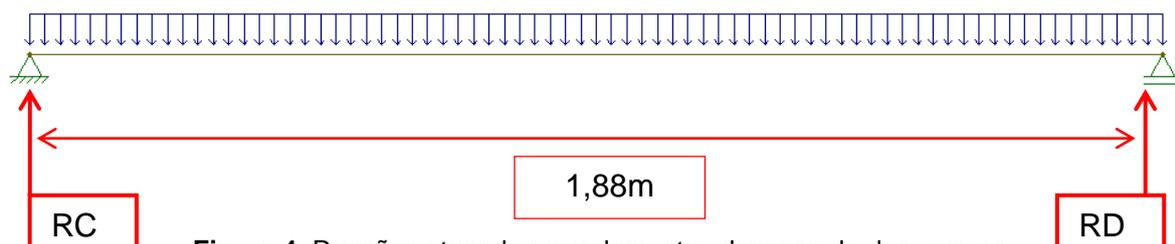
**Figura 3.** Esforços atuando nos rolamentos dos rolos puxadores

De modo que para se determinar RA e RB, deve se fazer uso das equações de equilíbrio:

$$\begin{aligned}\Sigma Fy &= 0 \\ RA + RB &= 50,98KN \\ \Sigma MB &= 0 \\ -RA * 1,86m + 90,6KN * 0,93m &= 0 \\ RA &= 47,4KN \\ RB &= 47,4KN\end{aligned}$$

Para a determinação da carga atuante sobre os rolos da mesa de desempenho, deve se dividir a carga encontrada na tabela 5 por dois, uma vez que essa força atua de forma distribuída sobre dois cilindros.

Podendo assim determinar a carga atuante sobre os rolamentos da mesa de desempenadeira, também considerando esta como uma viga isostática, conforme pode ser visto na figura 4:



**Figura 4.** Reações atuando nos rolamentos da mesa de desempenho

De modo que para se determinar RC e RD, também por meio das reações de equilíbrio:

$$\begin{aligned}\Sigma Fy &= 0 \\ RC + RD &= 105,7 KN \\ \Sigma MB &= 0 \\ -RC * 1,86m + 90,6KN * 0,93m &= 0 \\ RC &= 52,8KN \\ RD &= 52,8KN\end{aligned}$$

Tendo-se determinado as reações atuantes sobre os mancais de rolamento, é possível determinar os parâmetros de relubrificação para os rolos da mesa de desempenho e para os rolos puxadores.

A Determinação do fator de segurança K para os rolos pode ser vista na tabela 6:

**Tabela 6.** Determinação do fator de segurança K  
Determinação do fator de segurança K

	Mesa de desempenho	Rolos puxadores
F1	0,7	0,7
F2	0,7	0,7
F3	0,7	0,7
F4	0,2	0,2
F5	1,1	1,1
F6	0,7	0,7
F7	0,7	0,7
	K = 0,0369	K = 0,0369

Tendo-se determinado o fator de segurança K para ambos os rolos, torna se possível a determinação do intervalo de relubrificação.

Determinação do intervalo de relubrificação para os rolos puxadores:

$$T = 0,0369 * \left( \frac{14 * 10^6}{36 * 85^{\frac{1}{2}}} - 4 * 85 \right)$$

T= 1569 h.

Determinação do intervalo de relubrificação para a mesa de desempenho:

$$T = 0,0369 * \left( \frac{14 * 10^6}{36 * 85^{\frac{1}{2}}} - 4 * 85 \right)$$

T= 1569 h.

A quantidade poderá ser determinada por meio da equação 3, onde esta quantidade será a mesma para ambos os rolos:

$$G = 0,005 * 36 * 150$$

G = 32 gramas.

O eixo cardan conforme recomendação dos fabricantes poderá ter sua relubrificação com intervalo de aproximadamente 180 dias.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a realização do plano do restante dos conjuntos do laminador de bobinas, a metodologia utilizada foi a mesma da desempenadeira, na qual foi alvo de exemplo anteriormente.

A tabela 7 nos revela um comparativo entre a quantidade de lubrificante utilizada, no plano original e no plano proposto.

**Tabela 7.** Comparação entre as quantidades de lubrificante utilizadas nos conjuntos do Laminador anualmente

<b>Comparativo da quantidade de lubrificante utilizado nos conjunto em gramas</b>					
		<b>Antes</b>		<b>Depois</b>	
		<b>Frequência Anual</b>	<b>Quantidade (Gramas)</b>	<b>Frequência Anual</b>	<b>Quantidade (Gramas)</b>
<b>Bobinadeira Direita</b>	<b>Rolo Prendedor</b>	4	40	2	34
	<b>Ponta Rotativa</b>	4	1000	4	413
<b>Bobinadeira Esquerda</b>	<b>Rolo Prendedor</b>	4	40	2	34
	<b>Ponta Rotativa</b>	4	1000	4	413
<b>Desbobinadeira</b>	<b>Rolo Prendedor</b>	4	200	1	32
	<b>Ponta Rotativa</b>	4	400	2	140
<b>Desempenadeira</b>	<b>2 Rolos Puxadores</b>	4	640	1	128
	<b>5 Rolos da Mesa</b>	4	800	1	160
	<b>7 Cardans</b>	4	210	2	210
<b>Carro de Bobinas</b>	<b>Carro de Bobinas</b>	4	100	1	100
<b>Cadeira de Laminação</b>	<b>Rolo Puxador</b>	4	260	1	100
	<b>Eixo Intermediário</b>	4	200	1	64
	<b>Cardans</b>	4	60	2	60

A tabela 8 nos revela o tempo aproximado de aplicação de lubrificante em cada um dos conjuntos:

**Tabela 8:** Tempo médio de aplicação de lubrificante por conjunto

<b>Comparativo da quantidade de lubrificante utilizado nos conjunto em gramas</b>					
		<b>Antes</b>		<b>Depois</b>	
		<b>Frequência Anual</b>	<b>Tempo</b>	<b>Frequência Anual</b>	<b>Tempo</b>
<b>Bobinadeira Direita</b>	<b>Rolo Prendedor</b>	4	10 minutos	2	10 minutos
	<b>Ponta Rotativa</b>	4	30 minutos	4	30 minutos
<b>Bobinadeira Esquerda</b>	<b>Rolo Prendedor</b>	4	10 minutos	2	10 minutos
	<b>Ponta Rotativa</b>	4	30 minutos	4	30 minutos
<b>Desbobinadeira</b>	<b>Rolo Prendedor</b>	4	10 minutos	1	10 minutos
	<b>Ponta Rotativa</b>	4	30 minutos	2	30 minutos
<b>Desempenadeira</b>	<b>2 Rolos Puxadores</b>	4	40 minutos	1	40 minutos
	<b>5 Rolos da Mesa</b>	4	70 minutos	1	70 minutos
	<b>7 Cardans</b>	4	40 minutos	2	40 minutos
<b>Carro de Bobinas</b>	<b>Carro de Bobinas</b>	4	20 minutos	1	20 minutos
<b>Cadeira de Laminação</b>	<b>Rolo Puxador</b>	4	10 minutos	1	10 minutos
	<b>Eixo Intermediário</b>	4	10 minutos	1	10 minutos
	<b>Cardans</b>	4	10 minutos	2	10 minutos

Com base no comparativo da tabela 7 e 8, pode-se observar que atualmente seria utilizado cerca de 19800 gramas de lubrificante em um ano. Enquanto no plano de

lubrificação proposta, objetiva se utilizar uma quantidade 4844 gramas de lubrificante em um ano, gerando uma economia de 14956 gramas de lubrificante. No plano atual seria gasto cerca de 21 horas para a execução do trabalho, enquanto no plano proposto este tempo ira diminuir para 10 horas.

Considerando o preço do lubrificante R\$ 5,5 o Kg, conseguimos uma economia anual de R\$ 81,95 reais de lubrificante. E considerando R\$ 60 reais o valor da mão de obra terceirizada conseguiu uma economia de 11 horas, o equivalente a R\$ 660 reais.

Economizando um total de R\$ 741 reais anualmente com o laminador de bobinas.

#### 4 CONCLUSÃO

A necessidade de se produzir mais e melhor, exige de que os segmentos industriais ajam de forma competitiva, procurando produzir com o máximo de eficiência possível. Para produzir mais, as empresas necessitam que seus equipamentos apresentem confiabilidade. A elaboração de um plano de lubrificação de qualidade, que apresente segurança ao equipamento, é um dos pilares, para que este mantenha-se operante de forma competitiva e sustentável em um cenário que já não mais permite desperdícios.

Espera-se que com a aplicação desta metodologia em todos os laminadores da linha de laminação a frio, se obtenha um significativo aumento da confiabilidade, além da diminuição do custo.

#### Agradecimentos

Gostaria de agradecer a Aperam South América, por ter viabilizado a execução deste trabalho, além de fornecer todos os recursos necessários para que o mesmo pudesse ser concluído com êxito.

#### REFERÊNCIAS

- 1 RIBEIRO, José Luis Duarte. Confiabilidade e Manutenção Industrial. São Paulo: Campus, 2009. 288 p.
- 2 ROUSSO, José. Manual de lubrificação industrial. São Paulo: Confederação Nacional da Indústria, 1982.
- 3 STOETERAU, R. L. **Tribologia e Lubrificação**. Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004.
- 4 GRUPO SKF. Catálogo de Rolamentos de Esferas – 2015. Cajamar, 2015. 1388 p.
- 5 ROLAMENTOS FAG LTDA. Rolamentos FAG – 1999. Santo Amargo. 720 p.
- 6 NEALE, Michael J. Tribology handbook. 2. ed. Boston: Planta Tree, 1995. 582 p.