

DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA DE LUBRIFICAÇÃO DE CILINDROS DO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE 2 DA CSN¹

O Atual Estágio da CSN na Utilização de Óleo de Laminação

*Wilton Rogério Rozário*²

*Aquiles Afonso da Silveira*³

*Luciano José de Farias Nicodemos*⁴

*Frederico Carlos de Castro Mourão*⁵

*Marcus Vieira Gribe*⁶

*Rodrigo Xavier Maia Moreira*⁶

Resumo

O presente trabalho visa descrever o atual estágio de implantação do sistema de lubrificação do Laminador de Tiras a Quente nº2 da CSN, apresentar as premissas operacionais estabelecidas para o desenvolvimento das aplicações sem o comprometimento das metas de produção, descrever adaptações ocorridas no modelo supervisor do laminador para a automação das funções de lubrificação dos cilindros e , considerando os fenômenos tribológicos envolvidos, analisar o processo. A metodologia adotada para a análise dos resultados, consiste na comparação dos parâmetros de laminação obtidos nos processamentos de tiras com e sem uso de óleo de lubrificação nos cilindros; sendo os resultados gerados pelo Sistema Concentrador de Dados da Qualidade do LTQ (CDQ). Para um maior detalhamento, avalia-se a influência da lubrificação ao longo do comprimento de tiras laminadas a quente em uma mesma seqüência de laminação e compara-se com seqüências similares produzidas sem o uso da mesma. Também são analisados os desgastes dos cilindros de trabalho para diferentes condições de processo.

Palavras-chave: Laminação; Lubrificação; Cilindros; Desgaste; Força.

LUBRICATION SYSTEM DEVELOPMENT OF HOT ROLLING MILL OF CSN The actual level of CSN in the Roll Bite Lubrification

Abstract

These paper target is the current level of implant lubrication system at CSN's hot strip mill, describes the operational premises set up for the application development without production goals implication and adaptations occurred in the HSM Supervisor and Control System for lubrication automation functions the rolling gap and analyses the behavior of process. The method use to analyze the results compares the parameters of rolling mill obtain in process of strip with or without lubrication oil on roll gap according CSN's quality data system (CDQ). For a better detainment, it checks the influence of lubrications during the length of hot strip at same sequence of rolling mill and compare the material produced.

Key words: Lamination; Lubrication; Roll; Waste; Force.

¹ *Contribuição técnica ao 45º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 21 a 24 de outubro de 2008, Ipojuca - Porto de Gainhas - PE*

² *MSc. em Engenharia Metalúrgica e Engenheiro de Produção da CSN.*

³ *Engenheiro de Automação da CSN.*

⁴ *Técnico Especialista em Laminação da CSN.*

⁵ *Gerente Comercial e Especialista em Sistemas de Lubrificação da Quaker*

⁶ *Graduando em Engenharia Mecânica da UFF*

1 INTRODUÇÃO

O Laminador de Tiras a Quente da Companhia Siderúrgica Nacional tem superado nos últimos anos todos os seus recordes: 7.305t (turno), 18.745t (diário), 461.701t (mensal) e 5.100.108t (anual). O desafio agora é atingir 5,4 milhões de toneladas laminadas por ano, mantendo o elevado nível de qualidade de seus produtos.

Os excelentes resultados têm sido atingidos graças a uma política de desenvolvimento contínuo dos processos e equipamentos, a qual objetiva a maximização dos recursos disponíveis. Um bom exemplo do sucesso da metodologia de gestão da CSN é o projeto de desenvolvimento do sistema de lubrificação do processo de laminação a quente.

Neste artigo é apresentado o atual estágio de desenvolvimento do sistema de aplicação de óleo de laminação do LTQ2 e alguns resultados obtidos que ratificam a viabilidade econômica do empreendimento.

1.1 Conceitos Gerais

A carga de laminação é o parâmetro quantitativo mais importante do processo de laminação, pois afeta parâmetros tais como: sollicitação mecânica dos motores e seus componentes, potência e torque dos motores de acionamento, precisão dimensional e planicidade. Sendo assim, o domínio de seu comportamento é vital à determinação de um esquema de passe que otimize a capacidade de cada cadeira de laminação e seus respectivos motores. Segundo Ekelund, a carga de laminação pode ser representada através da equação:

$$P = \bar{S}W\sqrt{R'(h_i - h_f)Q_e}$$

Onde:

P = carga de laminação

\bar{S} = resistência média a deformação ao longo do arco de contato

W = largura do laminado

R' = raio do cilindro deformado

h_i = espessura inicial do laminado

h_f = espessura final do laminado

Q_e = fator geométrico, função de h_i , h_f , R e coeficiente de atrito μ

Por sua vez, levando-se em consideração que algumas premissas são atendidas, o torque de laminação pode ser considerado como sendo (referência bibliográfica):

$$M = P.d$$

Onde:

$$d = \lambda.\sqrt{R'\Delta h}$$

λ para laminação a quente é de aproximadamente 0,5.

A potência, por sua vez, é determinada por:

$$N = 2.\pi.n.M$$

Onde: n = rotações por minuto

Contudo, a potência a ser fornecida pelo motor é superior a essa, tendo em vista o rendimento mecânico de redutores, transmissores, rolamentos, etc. Portanto:

$$N_{motor} = \frac{N}{\eta}$$

O passo seguinte é determinar os valores de energia ou trabalho associados ao processo de laminação.

$$E = \frac{3600 \cdot N}{h_2 \cdot L_2 \cdot v_2 \cdot \rho} \left[\frac{KW}{t} \right]$$

Onde:

h_2 , L_2 e v_2 são, respectivamente, a espessura, largura e velocidade de saída do esboço laminado e ρ é sua densidade.

Com relação às condições de mordida, observa-se que há vários fatores operacionais influenciando no seu comportamento. Os mais significativos são:

- Coeficiente de atrito entre as superfícies;
- Temperatura das superfícies;
- Diâmetro dos cilindros;
- Velocidade de laminação;
- Redução de espessura.

Os sistemas de lubrificação utilizados nos processos de laminação buscam atenuar os efeitos indesejáveis relacionados com o alto atrito na zona de mordida. A diferença básica entre eles reside no método de aplicação de óleo (aplicação direta e aplicação com água) e nas especificações de seus componentes.

Na CSN, é utilizado o método de aplicação com água por dispersão, o qual consiste em aplicar o óleo disperso em água nos cilindros de trabalho através de um sistema independente do sistema de refrigeração, visando a obtenção de uma lubrificação uniforme de partículas dentro de tamanhos controlados. Nas Figuras 1 e 2, seguem a descrição esquemática do sistema de lubrificação do LTQ2 e a interface de controle e ajuste.

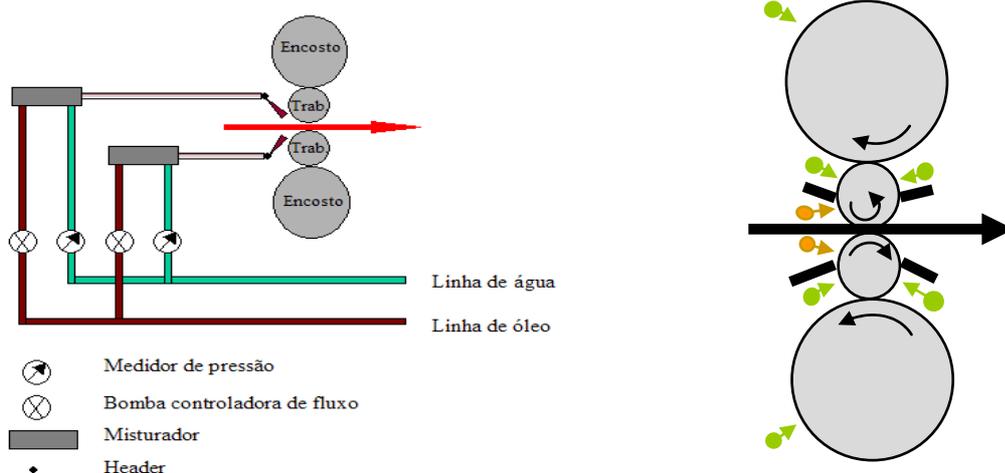


Figura 1 – Descrição esquemática do sistema de lubrificação.



Figura 2 – Interface para ajustes do sistema de lubrificação

Na fase atual de implantação do sistema de lubrificação, a empresa optou pela aplicação do óleo de laminação nas quatro primeiras cadeiras do trem acabador (F1, F2, F3 e F4), tendo sido seu sistema dimensionado para que o processo seja estendido às três demais cadeiras.

O sistema de lubrificação é gerenciado pelo Sistema Supervisório de Controle da Laminação, o qual seleciona, para cada classe de material e seqüência, os instantes de início e fim da aplicação do óleo, bem como as vazões correspondentes. Foram contempladas algumas premissas a fim de se evitar instabilidade no processamento das tiras:

- a) A aplicação do óleo se inicia a partir da quarta bobina da seqüência;
- b) Para que o óleo seja injetado na cadeira é necessário que o material já tenha sido mordido na cadeira posterior;
- c) A aplicação é interrompida instante antes do término do processamento da tira, visando garantir a queima completa do óleo, evitando a patinação da próxima tira no momento da mordida.

2 MATERIAL E MÉTODO

Os procedimentos experimentais adotados neste trabalho objetivaram avaliar a eficácia da utilização da lubrificação no processo de laminação a quente da CSN, focando o comportamento da carga de laminação, o consumo de energia e os desgastes dos cilindros de trabalho.

2.1 Escolha e Preparação dos Materiais Processados

Em conjunto com operação e programação, foram escolhidas as seqüências de laminação cujas larguras de bobina fossem inferiores a 1250 mm, a composição química dos materiais SAE 1006/1008 e a faixa de espessura de 2,00 a 2,40 mm. Esse procedimento visou restringir a variação das condições de processo.

2.2 Características do Óleo Lubrificante

O óleo atualmente utilizado é o Quakerol HB1062 fornecido pela Quaker, tratando-se de um lubrificante à base de óleo mineral, com aditivos sintéticos. Os

elementos lubrificantes presentes no produto asseguram o estabelecimento de um filme de óleo na mordida, capacidade de queima sem deixar resíduos nas tiras e cilindros e, em regime, os aditivos para extrema pressão asseguram a resistência do filme na zona da mordida. Suas principais características são:

- Aparência física: líquido de cor marrom;
- Viscosidade a 40° C (cSt) 80 mm²/s à 100 mm²/s ;
- Valor ácido: 7 mg KOH/g à 12 mg KOH/g;
- Índice de saponificação: 130;
- Ponto de fulgor mínimo 200° ;
- Ponto de inflamação: mínimo 240°C; e
- Densidade relativa a 20/4°C: 0,89 à 0,92.

2.3 Análise de Carga e Potência de Laminação

Os dados das condições de processo e dos comportamentos do laminador foram armazenados no Sistema Concentrador de Dados da Qualidade do LTQ da CSN (CDQ), tendo sido geradas cartas gráficas e dados de engenharia do processo e, a partir deles, foram gerados os dados que compõe o presente artigo.

A seguir, são apresentados os resultados obtidos para dois dos itens, com e sem óleo, monitorados.

Tabela 1 – Dados de processo da seqüência de laminação E9443

	F1	F2	F3	F4
Força média com óleo (t)	1440,32	1356,56	1184,47	1099,20
Força média sem óleo (t)	1558,12	1485,88	1276,27	1121,82
Potência média com óleo (KW)	4918,50	4749,18	5430,45	4585,16
Potência média sem óleo (KW)	5192,65	5401,18	5993,64	5085,18
Velocidade média com óleo (m/s)	1.21	2.02	3.27	4.74
Velocidade média sem óleo (m/s)	1.21	2.02	3.27	4.74
Temperatura média com óleo (°C)	960	952	942	929
Temperatura média sem óleo (°C)	975	965	954	940
Distribuição de carga com óleo (%)	53.67	21.07	12.04	6.02
Distribuição de carga sem óleo (%)	53.67	21.07	12.04	6.02

Tabela 2 – Dados de processo da seqüência de laminação M9480.

	F1	F2	F3	F4
Força média com óleo (t)	1976,74	1803,28	1493,91	1480,08
Força média sem óleo (t)	2061,29	2010,12	1691,94	1609,46
Potência média com óleo (KW)	6449,87	6169,51	6600,03	6600,26
Potência média sem óleo (KW)	6491,73	6473,33	6971,61	6738,92
Velocidade média com óleo (m/s)	1.40	2.26	3.54	5.18
Velocidade média sem óleo (m/s)	1.40	2.26	3.54	5.18
Temperatura média com óleo (°C)	947	941	933	924
Temperatura média sem óleo (°C)	952	945	938	928
Distribuição de carga com óleo (%)	52.20	20.84	12.31	6.91
Distribuição de carga sem óleo (%)	52.20	20.84	12.31	6.91

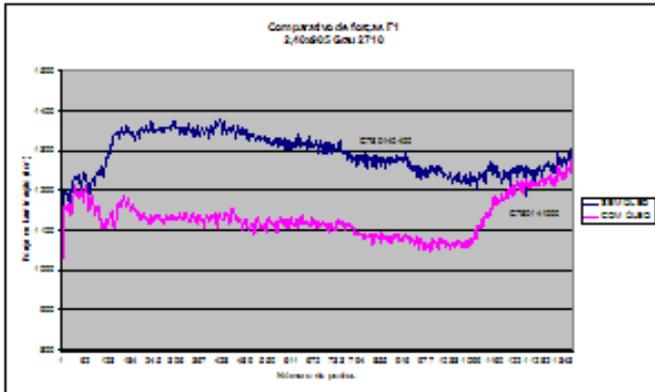


Figura 3 – Comportamento da força na F1

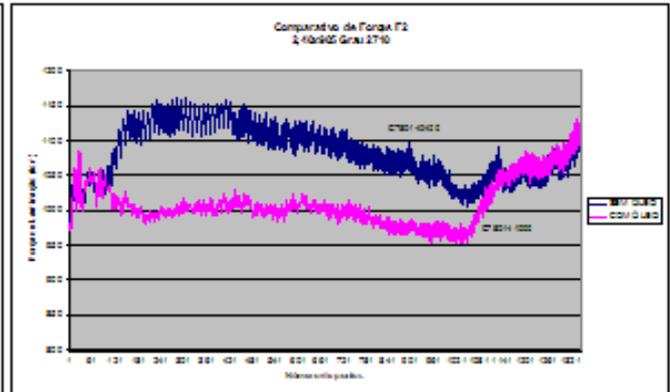


Figura 4 – Comportamento da força na F2

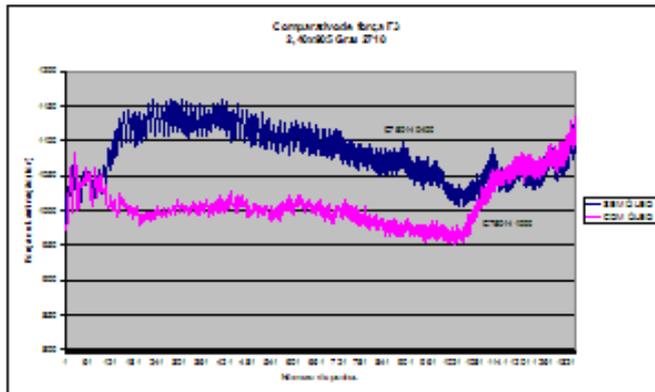


Figura 5 – Comportamento da força na F3

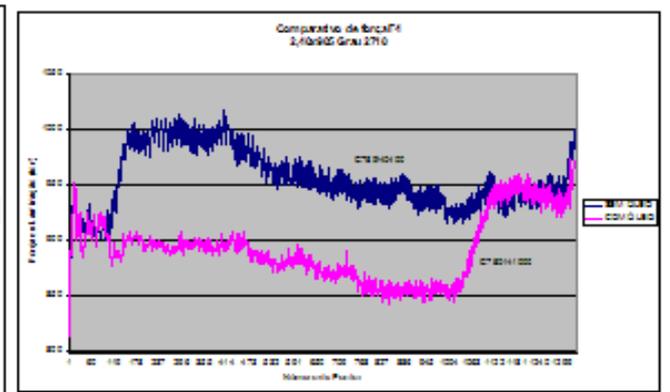


Figura 6 – Comportamento da força na F4

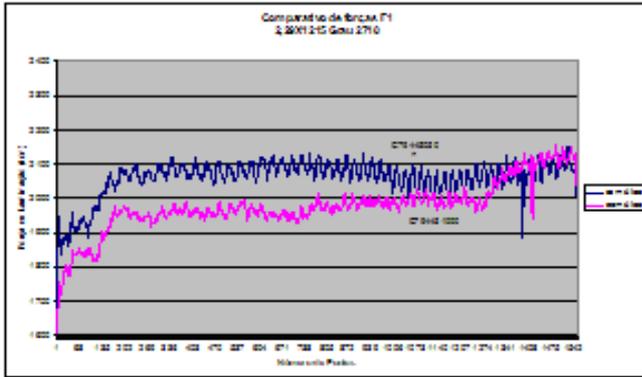


Figura 7 – Comportamento da força na F1

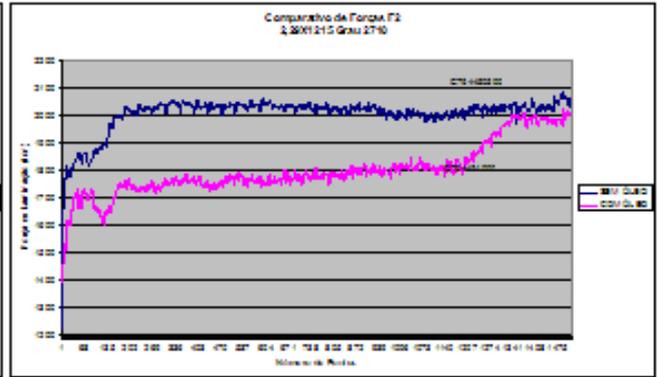


Figura 8 – Comportamento da força na F2

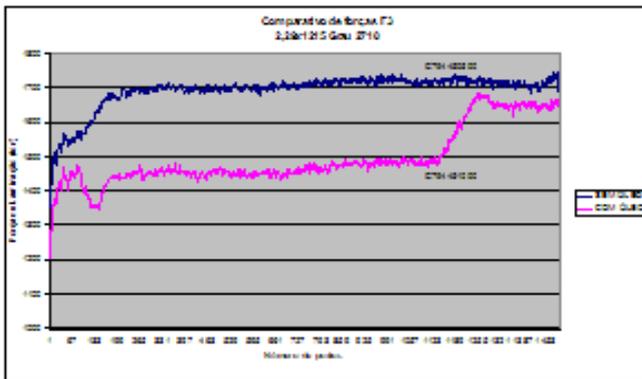


Figura 9 – Comportamento da força na F3

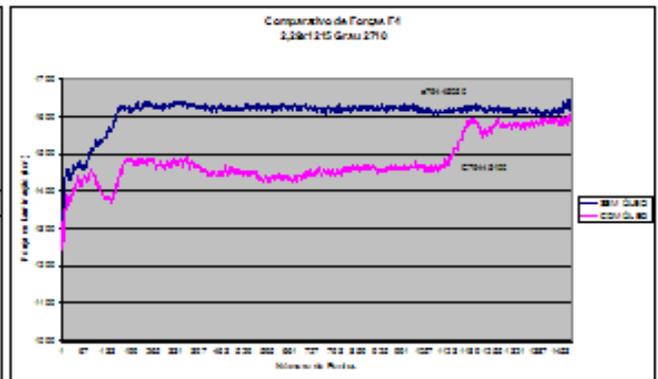


Figura 10 – Comportamento da força na F4

Os valores apresentados ratificam a influência da lubrificação no comportamento das variáveis de processo. No processamento da cauda da tira, observa-se uma elevação das cargas de laminação para os materiais processados com lubrificação. Essa ocorrência representa o procedimento de interrupção da aplicação do lubrificante a fim de garantir a completa queima do óleo antes do atravessamento da tira seguinte e, conseqüentemente, evitar a instabilidade da tira próxima tira.

A seguir são apresentados dados comparativos da redução na carga de laminação para alguns materiais observados e a redução média da potência requerida por cadeira.

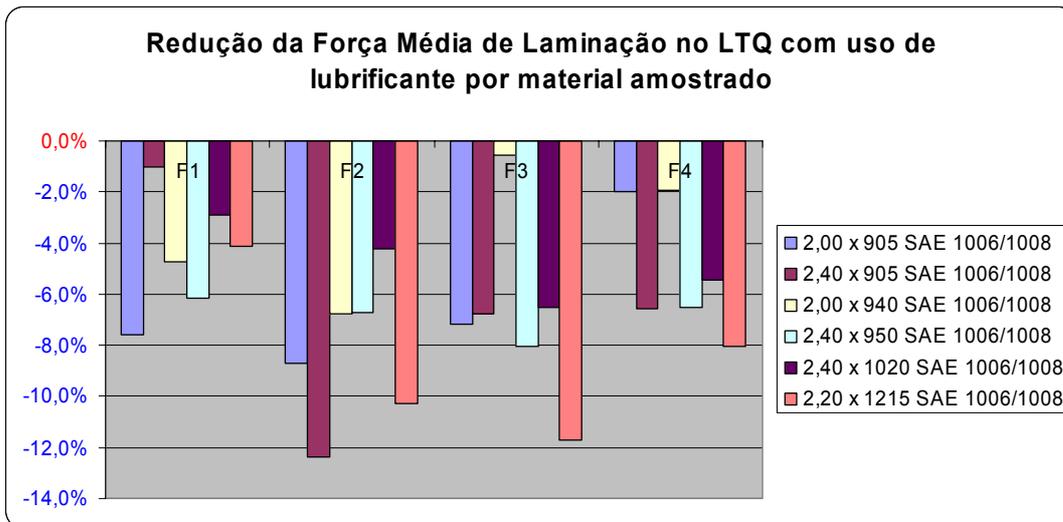


Figura 11 - Percentual médio de redução de forças nas cadeiras por material amostrado

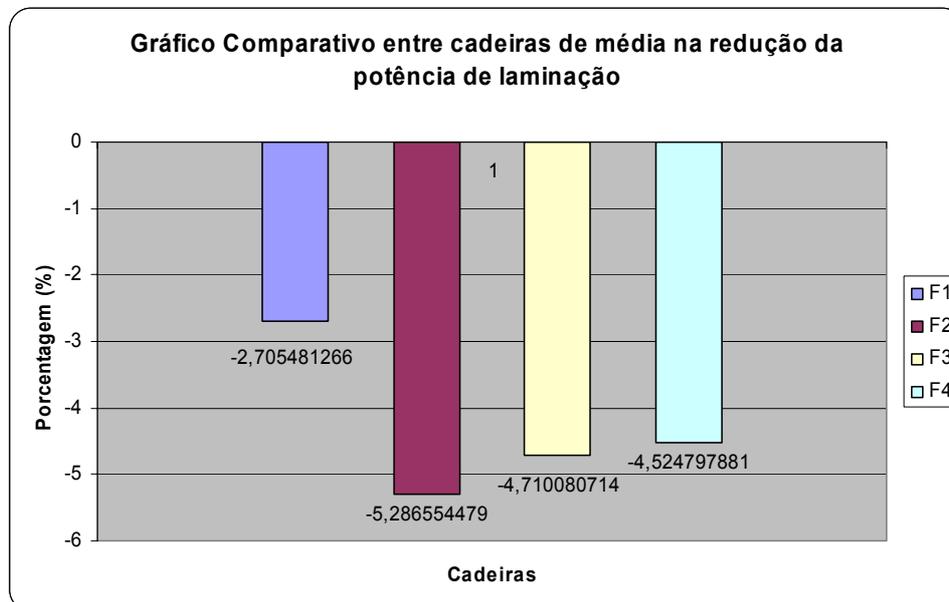


Figura 12 - Percentual da redução média da potência de laminação requerida por cadeira

2.4 Análise do Desgaste dos Cilindros

Para a análise do desgaste dos cilindros de trabalho, foram laminadas seqüências estreitas com quilometragens, pesos e graus de aço similares, com e sem aplicação do lubrificante.

Os materiais foram processados com ritmo de laminação rigorosamente controlado, a fim de neutralizar o efeito dessa variável. Também foram mantidas as mesmas vazões de óleo em cada teste.

Para uma maior precisão, utilizaram-se quatro pares de cilindros, os quais foram mantidos juntos durante as observações. Os materiais dos cilindros utilizados foram aço ferramenta e alto teor de cromo.

Através da medição da retífica, foram obtidos os valores iniciais dos diâmetros dos cilindros ao longo da mesa (vinte pontos de medição), e, após o processo de laminação, estes retornavam para a oficina de usinagem, onde eram feitas novas medições.

Com exceção dos cilindros da 1ª cadeira (F1), os demais cilindros (F2, F3 e F4), por serem CNP, foram usinados na mesma retificadora. Também foram adotados os seguintes procedimentos complementares: controle de temperatura, abaixo de 35° C; calibração dos braços de medição; e substituição dos pinos do braço de medição da retífica.

Os gráficos abaixo apresentam alguns resultados dos desgastes medidos em um par de cilindro utilizado no processamento de duas seqüências, com óleo (CO) e sem óleo (SO).

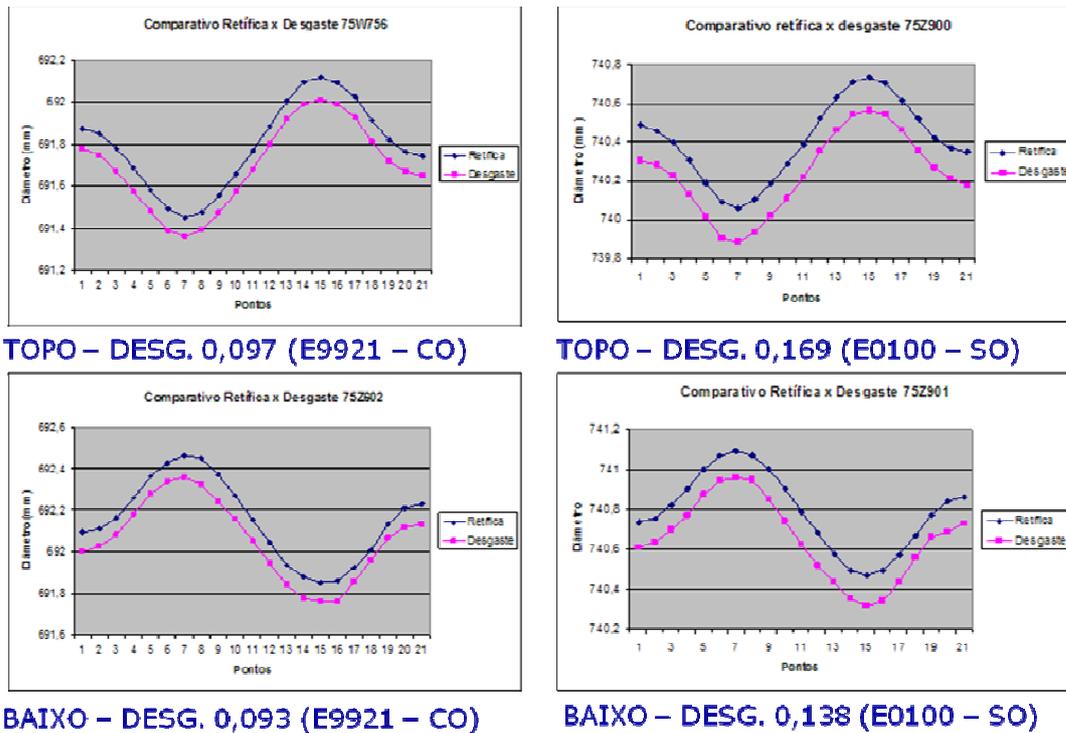


Figura 13 – Perfil de retifica e desgaste de um par de cilindro utilizado CO e SO

Depois de coletados os dados válidos, foram obtidos os resultados (Tabela 3), referentes ao desgaste total e médio por cilindro.

Tabela 3 – Desgaste total e médio por cilindro com e sem óleo

DESGASTE POR CILINDRO						
CADEIRA	POSIÇÃO	DESGASTE TOTAL (mm)		DESGASTE MÉDIO (mm)		GANHO (%)
		SEM ÓLEO	COM ÓLEO	SEM ÓLEO	COM ÓLEO	
F1	TOPO	1,33485	1,00276	0,16685	0,12534	25
	BAIXO	1,17461	0,86483	0,14682	0,10810	26
F2	TOPO	1,12151	0,86625	0,14018	0,10828	23
	BAIXO	0,99108	0,77886	0,12388	0,0973	21
F3	TOPO	0,90703	0,67428	0,11337	0,08422	26
	BAIXO	0,84888	0,59706	0,10611	0,07463	30
F4	TOPO	1,30896	1,05033	0,16362	0,13129	20
	BAIXO	1,07937	0,89481	0,13492	0,11185	17

Após analisados os resultados, notam-se que a redução nos desgastes dos cilindros foram superiores a 20%. Observa-se também que as reduções dos desgastes dos cilindros de trabalho do topo foram superiores àquelas obtidas nos cilindros inferiores.

O gráfico a seguir descreve o comportamento do desgaste médio por cadeira de laminação, processado com e sem óleo de lubrificação.

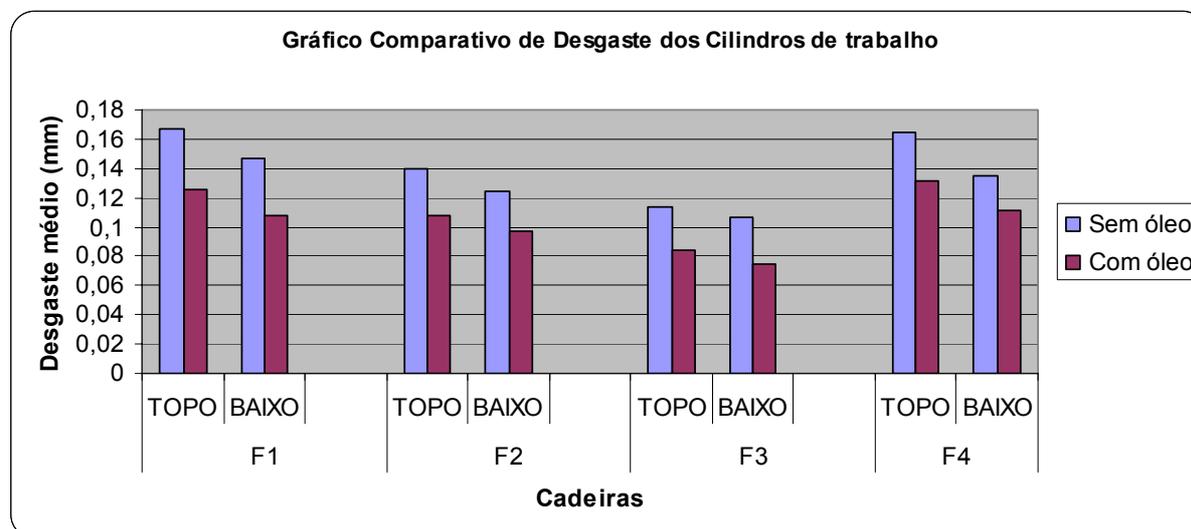


Figura 14 – Desgaste médio por cadeira de laminação (com e sem óleo)

Durante os testes, foram descartados os resultados de 14 seqüências laminadas com e sem óleo de lubrificação devido ao não cumprimento das premissas estabelecidas. As não conformidades observadas foram:

- Alteração no ritmo de laminação;
- Erros de medição de cilindros (temperatura alta, desgaste e não calibração dos pinos dos braços de medição);
- Perfis de retífica e desgaste traçados em máquinas diferentes daquelas preestabelecidas.

3 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos até esse estágio da implantação do sistema de lubrificação do LTQ#2 da CSN foram satisfatórios. Com relação ao processo, verificaram-se reduções na força de laminação em torno de 6 %. O retorno econômico estimado para a redução de energia foi de 4 %. Observou-se uma redução no desgaste dos cilindros de trabalho na ordem de 20%. Quanto aos materiais, os cilindros de aço ferramenta tiveram uma melhor performance que os cilindros de alto cromo com a aplicação do óleo de laminação.

Portanto, os resultados demonstraram a viabilidade técnica-econômica desta tecnologia, gerando uma considerável redução nos custos da empresa e justificando o investimento na ampliação do sistema de lubrificação para as demais cadeiras do laminador de acabamento e, conseqüentemente, viabilizando o aumento da campanha de laminação. Outra alternativa ainda em estudo é a ampliação do sistema também para as cadeiras do trem desbastador, laminadores verticais e horizontais.

REFERÊNCIAS

- 1 LENSKI, E.V.; ROZÁRIO, Wilton Rogério; "Modelo do Atrito Hidrodinâmico na Laminação a Frio, 1998.
- 2 HELMAN, Horacio; CETLIN, Paulo Roberto; "Fundamentos da Conformação mecânica dos Metais", edição 2005.
- 3 ROBERTS, W.L; "Hot Rolling of Steel".
- 4 BHUSHAN, Bharat; GUPTA, B.K; "Handbook of tribology", McGRAW-HILL, INC. Edição 1991.
- 5 GORNI, Antônio Augusto.; "A deformação dos metais e o processo de laminação", ABM, São Paulo 1985.
- 6 Laminação de produtos planos de aço – ABM, agosto de 2006.
- 7 CORDEIRO, Nilber Bhering; ALVES, Mario Marcio Barbosa; "Controle de Coroa em tiras laminadas a quente através do uso de sistema de Shift e Bending". Seminário de Laminação da ABM, 26 a 28 de Outubro de 2004, Joinville/SC.
- 8 STEINER, D; LIQUET, D; NICOLOUDIS, G; UIJDEBROEK, H; DEPAEPE, A; HERMAN. J.C; " Otimização da lubrificação dos cilindros de trabalho no laminador de tiras a quente". CRM, Bélgica, 2000 Associação Técnica de Metalurgia.
- 9 BREYER, J. P; SKOCZYNSKI, R. J; WALMAG, G; " Implementation of high speed steel work rolls on the 2050 mm hot strip mill at iscor Vanderbijlpark", 39th ABM Rolling Seminar.
- 10 FILHO, C. S.P; ARAÚJO, S. A; FERREIRA, J. A. R; MORONE, C; REBELLATO, M.A; CARVALHO, M. A; SINATORA, A; BOCCALINI, M, J; " Desenvolvimento de cilindros em aço rápido para LTQ", 26° Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM, Belo Horizonte, MG, Setembro de 1999.