

AUMENTO DA CAMPANHA DE LAMINAÇÃO COM USO DA TECNOLOGIA EQUALIZER NO LTQ-2 DA CSN¹

Felipe Gustavo Bernardes²

Luiz Alberto Pereira Campbell³

Marcio Matos dos Santos⁴

Claudia Regina Serantoni⁵

Nilber Bhering Cordeiro⁶

Luciano José Farias Nicodemos⁷

Sebastião José Furtado de Azevedo⁸

Danilo Guelli Gonçalves de Oliveira⁹

Resumo

Atualmente, em grande parte dos laminadores de tiras à quente (LTQ), a extensão das campanhas de laminação está limitada pelo rendimento dos cilindros ICDP ou ICDP microligados aplicados nas últimas cadeiras do trem de acabamento. Uma alternativa de solução deste problema foi testada no laminador LTQ-2 da CSN. O teste consistiu na realização de diversas campanhas de laminação utilizando-se de uma nova tecnologia de cilindros nas cadeiras F5, F6 e F7. Procedeu-se aumento gradativo da campanha de laminação com objetivo de dobrar a extensão das campanhas de laminação. Uma parte importante do trabalho consistiu no monitoramento detalhado das campanhas de laminação com foco na avaliação da necessidade de adaptações para atingir este objetivo. Os resultados apresentados indicam que a solução testada obteve sucesso na duplicação das campanhas nas condições estudadas.

Palavras-chave: Cilindros; Desgaste; Laminação a quente; Produtividade, LTQ.

INCREASING OF ROLLING CAMPAIGN BY MEANS OF IMPLEMENTATION OF EQUALIZER TECHNOLOGY

Abstract

Nowadays, in most of the hot strip mills (HSM), the extension of rolling campaign is limited by the performance of ICDP or ICDP microalloyed rolls applied on the last stands of the finishing mill. An alternative solution to this problem was tested in the LTQ-2 mill from CSN. The test consisted on performing several campaigns using a new technology of rolls on the stands F5, F6 and F7. There was a gradual increase of the rolling campaign aimed at doubling the size of it. An important part of the work consisted on a detailed tracking of the rolling campaign focusing on assessing the needs for adjustments to achieve this goal. The results show that the solution tested reached success on doubling campaigns under the conditions studied.

Key words:

¹ *Contribuição técnica ao 46º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 27 a 30 de outubro de 2009, Santos, SP.*

² *M.Sc. Eng. Mecânica, Gestor de Soluções, Villares Rolls, Pindamonhagaba, SP*

³ *Eng. Metalurgista, Eng. Especialista da oficina de cilindros, CSNI, Volta Redonda, RJ*

⁴ *M. Sc. Eng. Mecânica, Gestor de contas, Villares Rolls, Pindamonhagaba, SP*

⁵ *D. Sc. Eng. Materiais, Supervisora de desenvolvimento, Villares Rolls, Pindamonhagaba, SP*

⁶ *M.Sc Engenharia Metalurgica, Especialista em Siderurgia do LTQ2, CSN, Volta Redonda, RJ*

⁷ *Técnico Metalúrgico, Técnico de Desenvolvimento do LTQ2, CSNI, Volta Redonda, RJ*

⁸ *Eng. Metalurgista, Gerente da Gerência da Oficina de cilindros, CSN, Volta Redonda, RJ*

⁹ *Eng. Metalurgista, Gerente do LTQ2, CSN, Volta Redonda, RJ*

1 INTRODUÇÃO

Em termos de tecnologia de cilindros de trabalho para LTQ o principal avanço observado nos últimos anos foi a implementação de cilindros de aço rápido (HSS) em substituição aos cilindros de ferro alto cromo (HiCr) nas primeiras cadeiras do trem de laminação.⁽¹⁾ Atualmente, a maioria dos laminadores com elevado grau de desenvolvimento utilizam os cilindros HSS nas primeiras cadeiras e os cilindros de ferro fundido indefinido (ICDP) nas últimas. Em alguns poucos casos (principalmente no Japão), os cilindros HSS também são aplicados nas últimas cadeiras, mas ainda assim com algumas restrições de uso.

Os cilindros ICDP também passaram por notável evolução nos últimos anos, incluindo o desenvolvimento dos cilindros ICDP microligados.⁽²⁾ Entretanto, esta evolução ainda é insuficiente uma vez que o tamanho da campanha de laminação é limitado pelos rendimentos apresentados por estes cilindros.

Conforme apresentado em trabalho anterior, tanto a aplicação dos cilindros de HSS quanto os ICDP microligados de última geração trouxeram ao processo de laminação representativos ganhos em termos do custo de cilindros e da qualidade do material laminado. Entretanto, estes ganhos representam apenas cerca de 3% dos ganhos potenciais relacionados ao aumento de produtividade e produção considerando um aumento de 100% no tamanho da campanha de laminação no laminador estudado. Em função disto, a Villares Rolls tem investido anos de desenvolvimento na busca de uma solução que permita estender as campanhas de laminação em LTQ.⁽³⁾

Resultados preliminares mostraram-se bastante promissores neste sentido. Estes resultados foram obtidos por meio da aplicação de uma nova tecnologia de cilindros chamada Equalizer em substituição aos cilindros ICDP no laminador LTQ2 da CSN. Os cilindros foram utilizados em condições similares àquelas experimentadas pelos cilindros ICDP e apresentaram resultados satisfatórios na qualidade superficial dos produtos laminados, estabilidade do processo de laminação, resistência ao desgaste e acidentes de laminação.⁽¹⁾

O trabalho anteriormente publicado tratava-se da realização da primeira etapa do projeto de implementação de uma solução para aumentar a campanha de laminação do LTQ2 da CSN. No presente trabalho, serão apresentados os resultados obtidos na segunda etapa deste projeto, que envolve um processo gradativo de aumento de campanha no laminador LTQ2 da CSN. Além da aplicação da nova tecnologia, realizou-se também um trabalho de monitoramento que se mostrou ser fundamental na garantia do cumprimento dos objetivos do projeto. Os resultados aqui apresentados apontam para o sucesso no aumento do tamanho das campanhas de laminação no LTQ2 da CSN.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido por meio de uma parceria entre a Villares Rolls e a CSN. Os testes foram conduzidos no LTQ2 da CSN e o acompanhamento contou com o apoio de uma equipe de técnicos da Villares Rolls, do LTQ-2 e da oficina de cilindros da CSN. Abaixo segue uma breve descrição do laminador, da oficina de cilindros e dos produtos laminados na CSN.

2.1 LTQ-2

O Laminador de Tiras a Quente da CSN possui capacidade de produção nominal de 5,4 milhões de t/ano de bobinas a quente com espessuras que variam entre 1,2 mm e 12,7 mm e largura de 680 mm a 1.575 mm. A linha é composta de quatro fornos de reaquecimento de placa com capacidade de 250 t/h, quatro laminadores desbastadores, sendo um laminador duo e três quádruplo, quatro laminadores verticais, um trem acabador de sete cadeiras, uma mesa de resfriamento e três bobinadoras

O laminador possui as mais recentes tecnologias para controles de temperatura, dimensão, forma e qualidade superficial das tiras. No trem acabador, dispõe-se de recursos como resfriamento entre cadeiras, controle automático de espessura, força de *bending*, *shifting* e cilindros com perfil em curva para um sistema conhecido como CNP, *Combined Numerical Profile*.

2.2 Oficina de Cilindros

A unidade de cilindros responsável pelo abastecimento do laminador de Tiras a Quente dispõe de instalações e equipamentos compatíveis com o que existe de referência para realização de inspeções e preparações de cilindros. Possui três retificadoras de cilindros com operação manual e três retificadoras automáticas equipadas com *Eddy Current* para detecção de trincas e marcas nos cilindros de trabalho. A tecnologia de ultra-som para detecção de defeitos sub-superficiais e defeitos internos nos cilindros não é instalada nas retificadoras, mas é realizada por uma equipe altamente qualificada que inspeciona os cilindros após o processo de retificação. A equipe de inspeção é de vital importância na garantia da qualidade dos conjuntos de cilindros enviados ao laminador.

2.3 Mix de Produção

O mix de produção do LTQ-2 da CSN é bastante diversificado. Com exceção aos aços inoxidáveis e aos aços *trip*, a CSN produz todos os tipos de produtos que atualmente passam pelas linhas de laminação à quente. Com objetivo de ilustrar este mix de produção, abaixo serão apresentados alguns dados que são referentes à produção dos meses de maio e junho de 2009.

Tabela 1 – Mix de produto por tipo de campanha

| | Tipo de Campanha | | | | | | |
|------------------------------|------------------|------|------|------|------|------|------|
| | E | G | L | M | W | X | Y |
| Bobina cromada | 20% | 0% | 0% | 4% | 22% | 0% | 4% |
| Folha cromada | 2% | 0% | 0% | 1% | 7% | 0% | 1% |
| Bobina de flandres | 50% | 0% | 0% | 16% | 47% | 0% | 9% |
| Folha de flandres | 9% | 0% | 0% | 3% | 15% | 0% | 1% |
| Bobina Embalagem ã Revestida | 1% | 0% | 41% | 1% | 4% | 0% | 0% |
| Bobina Zincada | 5% | 0% | 6% | 11% | 2% | 10% | 35% |
| Bobina Full Hard | 0% | 0% | 33% | 4% | 0% | 9% | 2% |
| Bobina LTF recozida | 3% | 0% | 18% | 8% | 0% | 6% | 24% |
| Bobina a quente | 8% | 0% | 0% | 47% | 3% | 37% | 20% |
| BQ decapada | 1% | 0% | 1% | 5% | 0% | 22% | 3% |
| Bobina Grossa | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% | 16% | 0% |
| Bobina Grossa Acabada | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Total | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% | 100% |

Como prática, a CSN divide as campanhas de laminação em diferentes tipos objetivando uma melhor produtividade e estabilidade do processo. Na Tabela 1

encontram-se apresentados estes tipos de campanha e o mix de produto de cada um dos tipos. Nota-se que as campanhas do tipo E, M e Y são as que apresentam maior diversidade em relação ao tipo de produto produzido.

Na Figura 1 estão apresentadas as relações entre espessura e largura dos materiais produzidos em cada um dos tipos de campanha. É possível observar que, com exceção da campanha tipo X, todas as campanhas apresentam faixas de espessura e largura bem definidas.

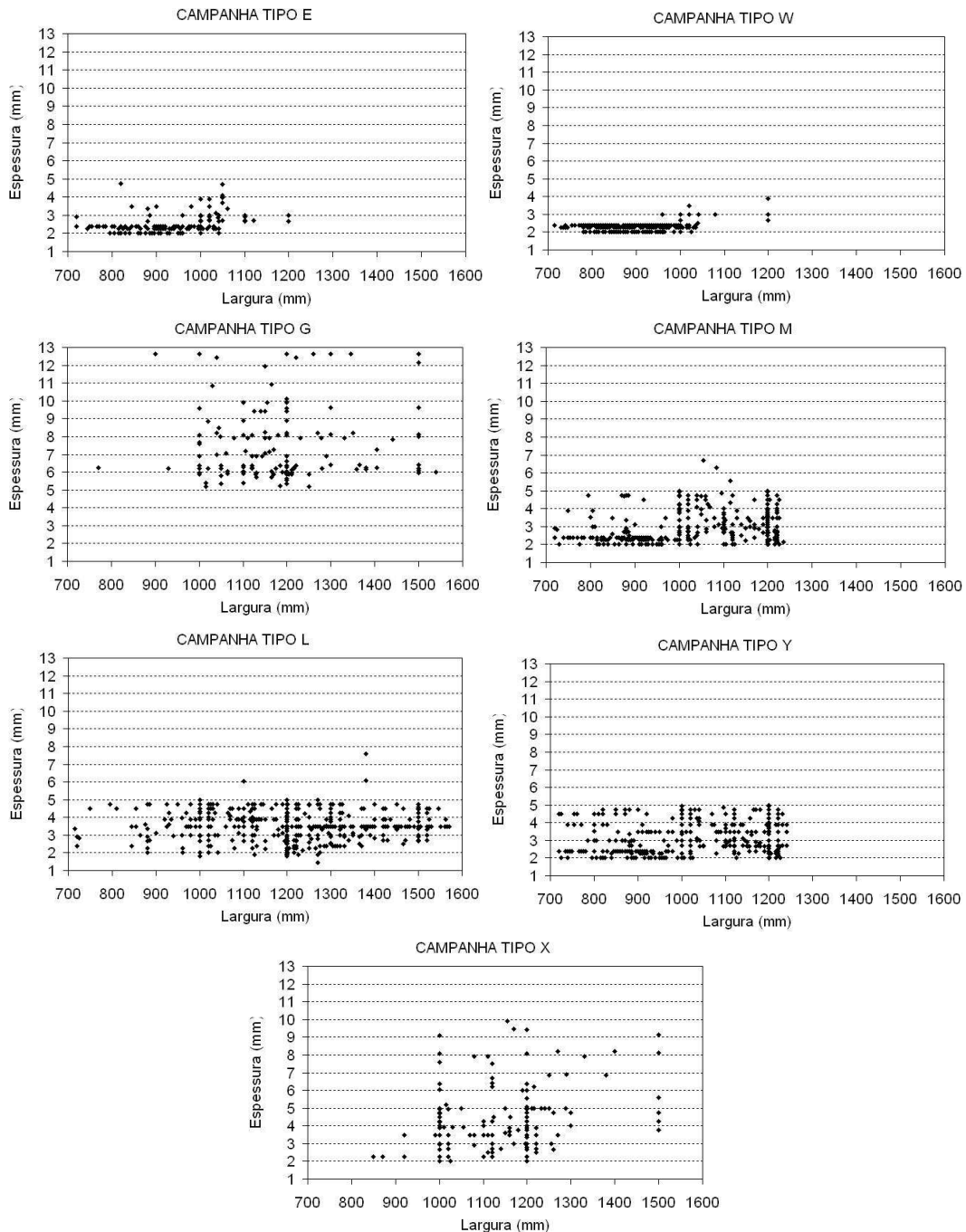


Figura 1 – Relações de espessura x largura produzidas em cada um dos tipos de campanha.

2.4 Extensão da Campanha de Laminação

Os testes consistiram na utilização dos cilindros Equalizer em substituição aos cilindros ICDP nas cadeiras F5, F6 e F7 simultaneamente, em campanhas do tipo E e W. Estas campanhas foram escolhidas por apresentarem baixo índice de acidentes. Normalmente estas campanhas apresentam extensão entre 80 Km e 90 Km. Durante os testes, a campanha foi estendida para até 160 Km.

Inicialmente foram realizadas cinco campanhas com até 96 Km que serviram para observar o comportamento do processo de laminação com a utilização dos cilindros nas 3 últimas cadeiras simultaneamente. Em seguida foram realizadas outras campanhas com quilometragens de 106 Km, 110 Km, 115 Km, 119 Km, 138 Km, 158 Km e 160 Km.

As campanhas de laminação foram monitoradas com relação à ocorrência de incidentes e instabilidades que pudessem causar dificuldades para o processo e/ou desvios de qualidade no produto laminado. Após a laminação monitorou-se também o desgaste dos cilindros, coroa térmica, temperatura, aspecto superficial e rugosidade. Sempre que possível os resultados obtidos foram comparados com aqueles obtidos pelos cilindros ICDP.

3 RESULTADOS

3.1 Desgaste

Apresenta-se, na Figura 2, curvas de desgaste obtidas para os cilindros Equalizer e ICDP após realizações de campanhas de 95 km e 90 km, respectivamente. Nota-se que o desgaste dos cilindros Equalizer foi cerca de 4 vezes menor do que o desgaste dos cilindros ICDP. É possível observar, ainda, que tanto para ICDP quanto para o Equalizer o desgaste observado na cadeira F5 foi significativamente maior do que os obtidos nas cadeiras F6 e F7.

A Figura 3 mostra as curvas de desgaste dos cilindros Equalizer após realização de campanhas com 160 km de extensão. Comparando estes resultados com aqueles apresentados pelos cilindros ICDP na Figura 2, destaca-se que mesmo após realização de campanha com extensão de 160 km os cilindros Equalizer ainda apresentaram desgaste menor do que os cilindros ICDP em campanha de 90 km.

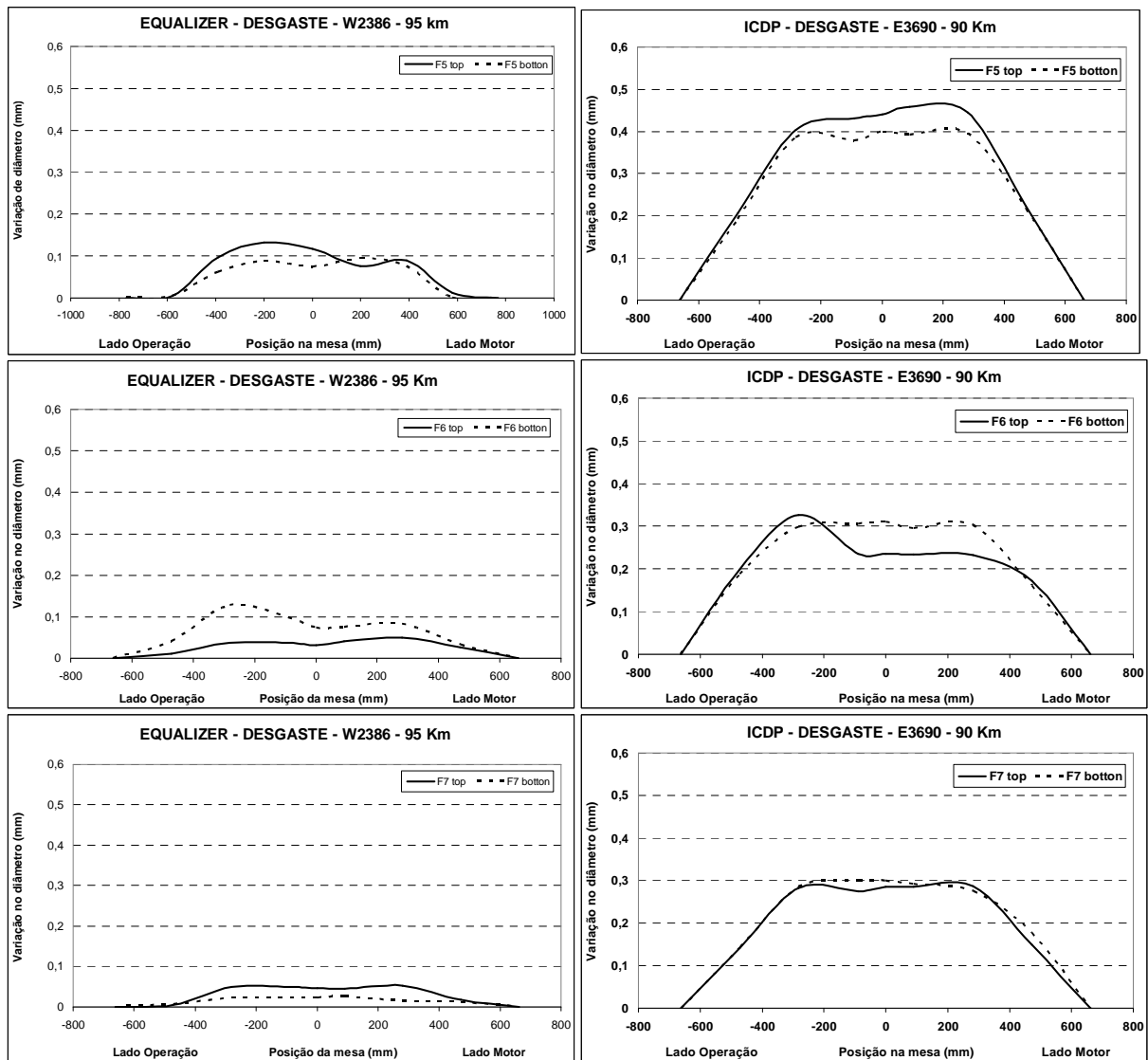


Figura 2 – Desgaste Equalizer x ICDP em campanhas normais.

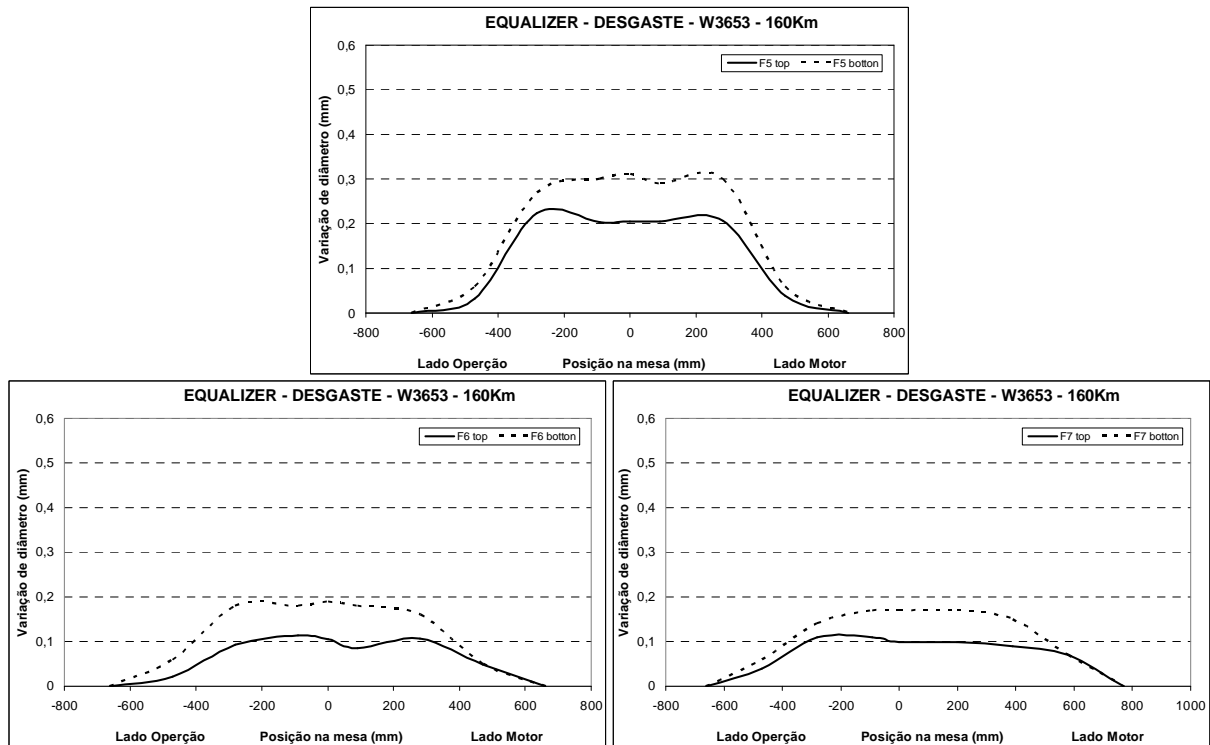


Figura 3 – Desgaste dos cilindros Equalizer após campanha de 160 km.

3.2 Coroa Térmica e Temperatura

A coroa térmica dos cilindros Equalizer, medidas 15 minutos após a realização da campanha de 160 km, está apresentada na Figura 4. Observa-se que a cadeira F5 apresentou o maior valor de coroa térmica quando comparada com as cadeiras F6 e F7. Durante o processo de extensão de campanha, observou-se também que a coroa térmica dos cilindros Equalizer aumentou com o aumento do tamanho da campanha.

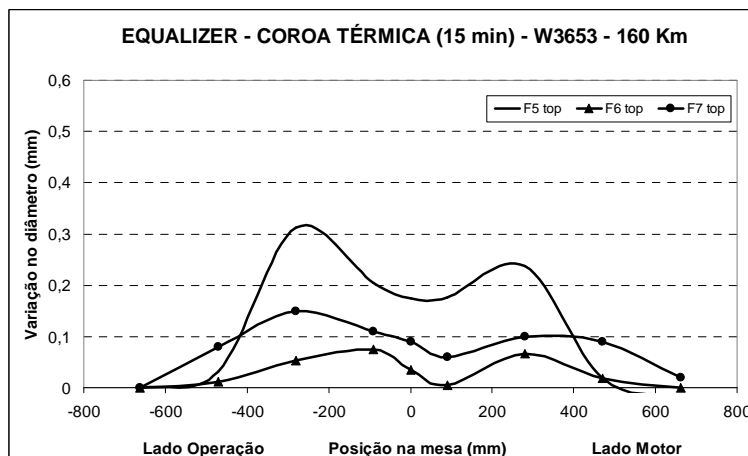


Figura 4 – Coroa térmica dos cilindros Equalizer após campanha de 160 km. Medição realizada 15 minutos após o final da campanha.

Comparando a coroa térmica do Equalizer com a coroa térmica do ICDP após laminação sob condições similares, nota-se maior valor de coroa térmica nos cilindros Equalizer.

A fim de garantir a estabilidade do processo durante a extensão da campanha de laminação, foi necessário realizar alterações na coroa mecânica dos cilindros Equalizer para compensar os maiores valores de coroa térmica apresentados pelo Equalizer.

Em relação à temperatura, não foi possível notar diferença significativa entre o Equalizer e o ICDP (Figura 5). Novamente observa-se que a cadeira F5 se diferencia das restantes, apresentando um valor de temperatura notavelmente maior (em torno de 70°C).

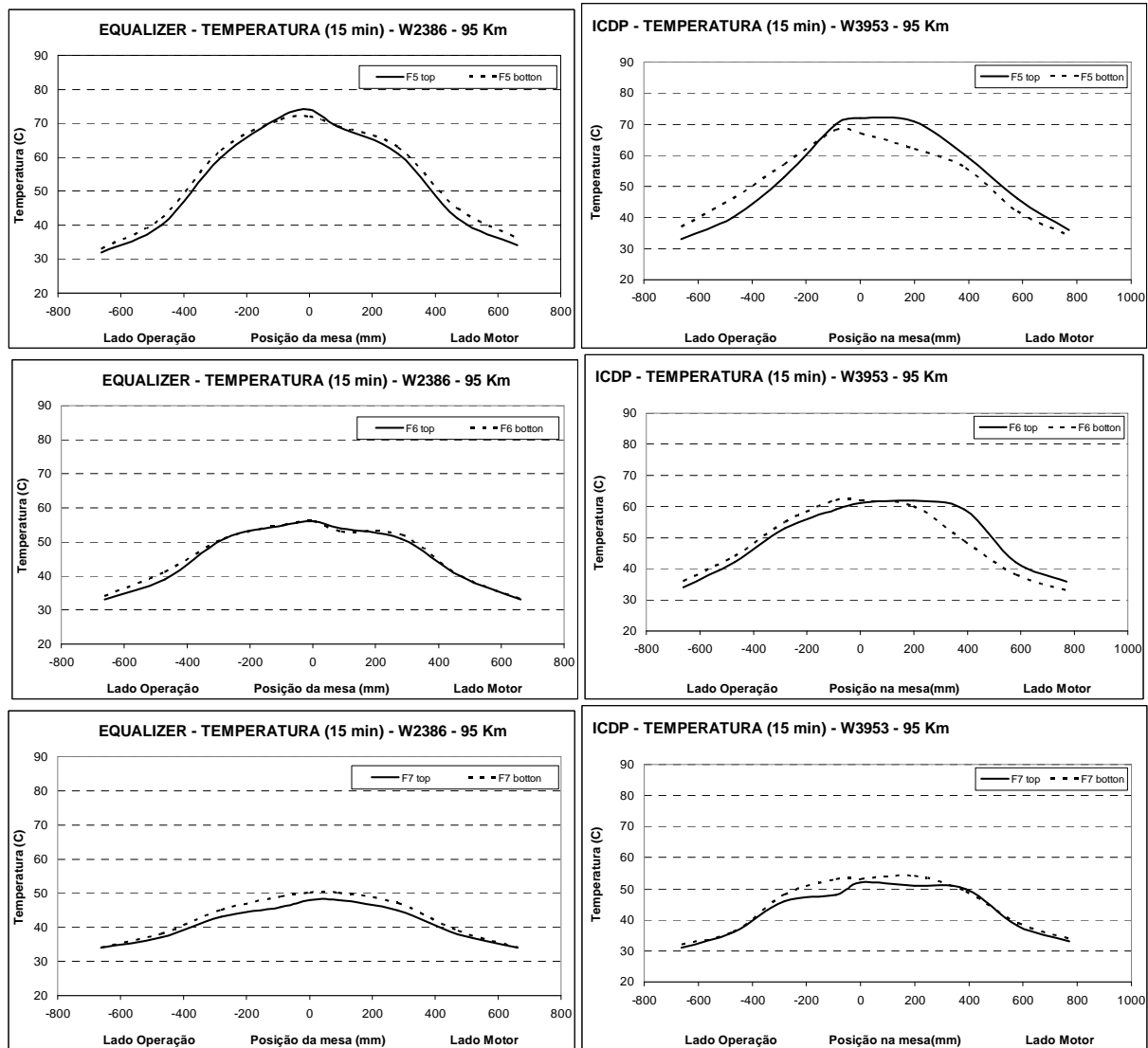


Figura 5 – Temperatura Equalizer x ICDP em campanhas normais.

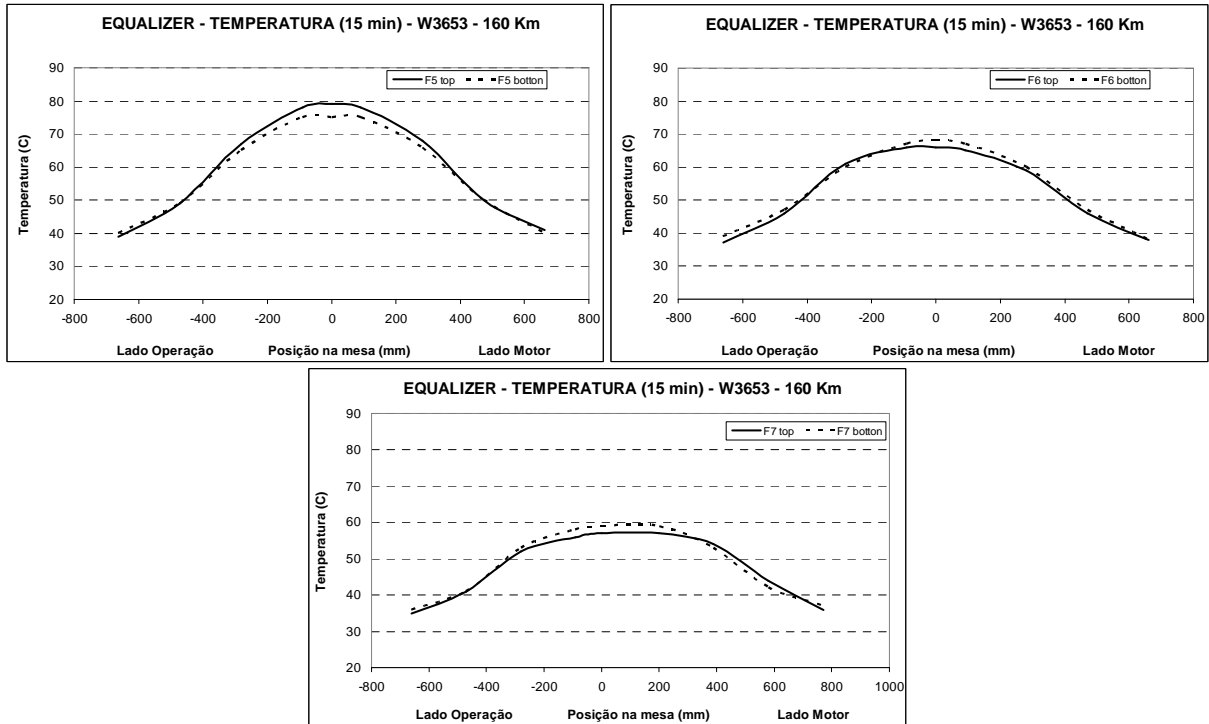


Figura 6 – Temperatura dos cilindros Equalizer após campanha de 160 Km. Medição realizada 15 minutos após o final da campanha.

3.3 Qualidade Superficial

A Figura 8 mostra os resultados de rugosidade dos cilindros Equalizer após campanha de 160 km e dos cilindros ICDP após campanha de 90 km.. Embora haja uma significativa variação nos valores de rugosidade obtidos em cada cilindro, de maneira geral, nota-se que os valores de rugosidade dos cilindros Equalizer após campanha de 160 km apresentaram-se similares aos valores do ICDP após campanha de 90 km.



Figura 7 – Superfície dos cilindros Equalizer utilizados na cadeira F7 após campanha de 160 km.

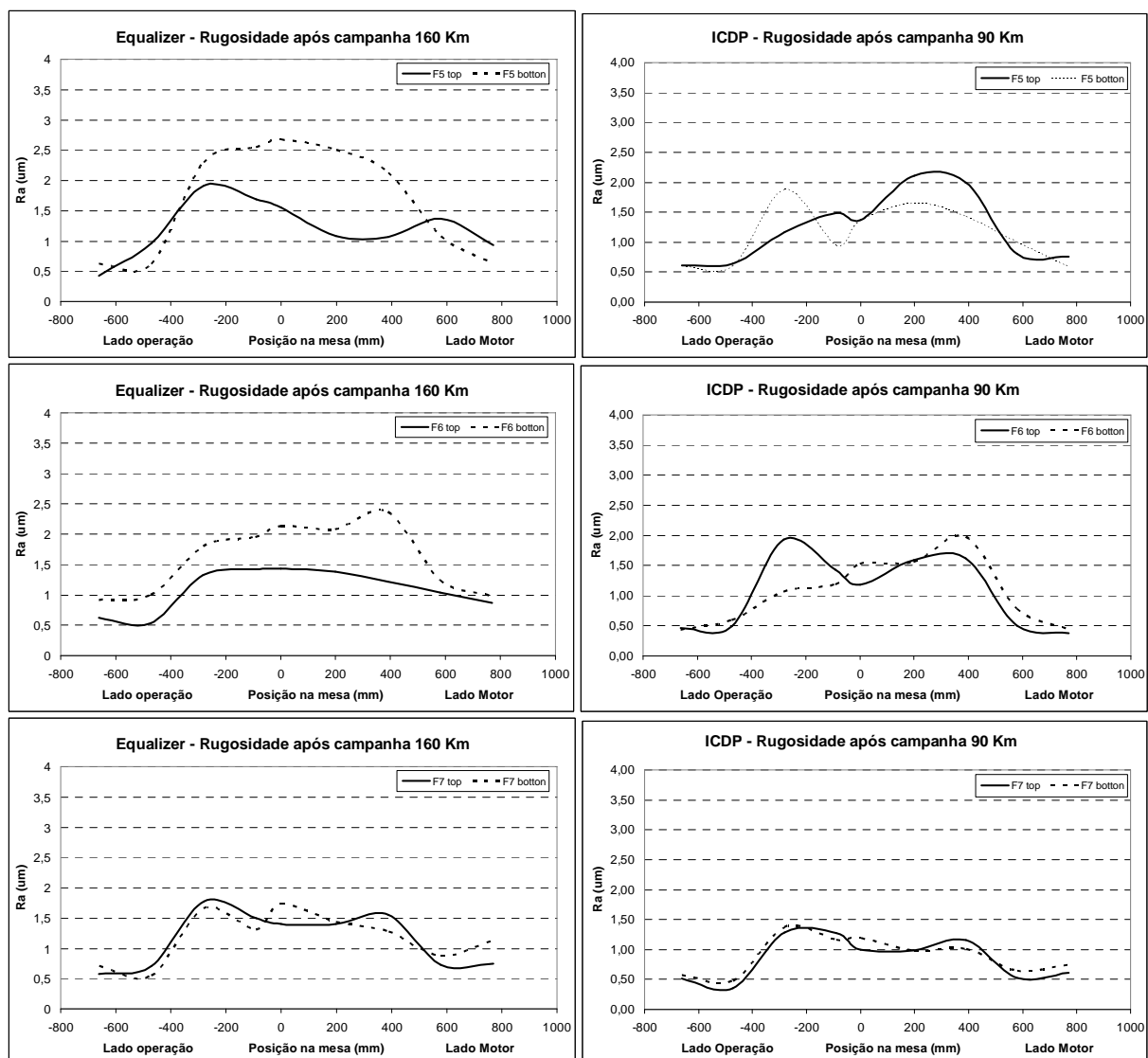


Figura 8 – Rugosidade dos cilindros Equalizer x ICDP.

O aspecto superficial dos cilindros Equalizer ao final da campanha também foi observado. A Figura 7 mostra a superfície de um cilindro Equalizer, utilizado na cadeira F7, após ter realizado uma campanha de 160 Km.

Após laminar 160 km, a superfície dos cilindros Equalizer apresentou-se similar à superfície dos cilindros ICDP em campanhas normais (cerca de 90km). Foram analisados também os índices de rejeição dos produtos produzidos nas campanhas com tamanho estendido. Não foram observados índices fora dos padrões normais estabelecidos pela CSN.

3.4 Rendimento e Incidentes

Durante a realização dos testes de extensão de campanha, assim como já havia ocorrido anteriormente, os cilindros Equalizer estiveram expostos a situações de acidentes durante o processo de laminação. Embora em nenhum dos casos os cilindros Equalizer fossem causadores destes acidentes, houve conseqüências aos cilindros em dois acidentes. Estas conseqüências foram analisadas a fim de caracterizar e comparar o comportamento do Equalizer ao comportamento do ICDP.

As causas dos dois acidentes foram distintas: um deles causado por um “lascamento” de cilindro na cadeira F4 e o outro por uma “rabada” originada por mau funcionamento do parafuso de acionamento da cadeira F6. Em ambos os casos, a consequência experimentada pelos cilindros Equalizer foi a mesma: aderência de material da tira na superfície do cilindro. No primeiro acidente, os cilindros topo e baixo da cadeira F5 apresentaram material aderido e no segundo caso foi a vez de ambos os cilindros da cadeira F6.

As análises realizadas indicaram que a presença de material aderido nos cilindros foi possivelmente originada por sobrecarga localizada na região em que ocorreu a adesão. Algumas evidências levantadas indicam que, em ambos os casos, o material da tira passou dobrado naquelas regiões.



Figura 9 – Superfície dos cilindros Equalizer utilizados na cadeira F7 após campanha de 160 km.

Embora o rendimento, medido freqüentemente em ton/mm, não seja o índice determinante do sucesso deste projeto (os ganhos de produtividade e produção são expressivamente mais significativos do que aqueles relacionados com o consumo de cilindros), é importante destacar que os cilindros Equalizer apresentam resultados bastante superiores em termos de rendimento quando comparados aos ICDP. Os resultados apresentados na Tabela 2 referem-se a todas as campanhas já realizadas com os cilindros Equalizer e fazem parte, portanto, as campanhas realizadas previamente à etapa de extensão de campanha. Os resultados apresentados para o ICDP foram obtidos a partir de análises de cilindros que foram utilizados em período similar.

Tabela 2 – Rendimento dos cilindros Equalizer x ICDP

| | Cadeira | Redimento (ton/mm) | | Utilizações | | | | | | | | | |
|-----------|---------|--------------------|-------|------------------|----|----|----|----|---|----|----|-------|-----|
| | | Sem acidentes | Total | Tipo de campanha | | | | | | | | Total | |
| | | | | E | G | L | M | W | X | Y | Z | | |
| Equalizer | F5 | 13821 | 6778 | 52 | 0 | 0 | 24 | 32 | 0 | 12 | 0 | 120 | 300 |
| | F6 | | | 36 | 54 | 0 | 26 | 24 | 2 | 12 | 0 | 154 | |
| | F7 | | | 12 | 0 | 0 | 0 | 14 | 0 | 0 | 0 | 26 | |
| ICDP | F5 | 5294 | 3842 | 2 | 2 | 10 | 18 | 6 | 2 | 6 | 4 | 50 | 330 |
| | F6 | | | 26 | 8 | 22 | 28 | 16 | 4 | 12 | 30 | 146 | |
| | F7 | | | 18 | 7 | 31 | 30 | 18 | 3 | 16 | 11 | 134 | |

4 DISCUSSÃO

Os resultados de desgaste apresentados mostram que a utilização dos cilindros Equalizer possibilita a duplicação da extensão das campanhas de laminação do LTQ-2 da CSN. Conforme apresentado em trabalhos anteriores, os benefícios associados ao aumento da extensão das campanhas apresentam potencial de ganho de ordens de grandeza superiores àqueles tradicionalmente conseguidos via melhoria da relação rendimento (ton/mm) x preço de cilindros.^(3,4)

De maneira similar os resultados de qualidade superficial e dimensional obtidos também indicam para o sucesso na extensão das campanhas de laminação.

Com relação aos incidentes relatados, em nenhum dos casos o Equalizer foi apontado como a causa dos acidentes. Entretanto, pôde-se observar como conseqüência, em alguns casos, a presença de material aderido na superfície dos cilindros Equalizer. Este comportamento mostrou-se distinto daquele apresentado pelo ICDP nestas condições, uma vez que o ICDP normalmente apresenta trincas mecânicas devido à sobrecarga local, mas não aderência de material.

Embora o índice de casos em que houve aderência de material aos cilindros seja bastante inexpressivo (2 em 300 utilizações), algumas alternativas para evitar este tipo de comportamento estão sendo estudadas como alternativas para o futuro.

O monitoramento detalhado dos testes realizado durante o processo de extensão de campanha se mostrou de fundamental importância no sentido de garantir o sucesso da implementação da solução. Como exemplos deste fato podem citar tanto a adequação realizada na coroa mecânica dos cilindros quanto a análise realizada dos incidentes ocorridos, pois ambos geraram conhecimento necessário para balizar os passos seguintes do trabalho até se alcançar a duplicação das campanhas de laminação.

5 CONCLUSÕES

A aplicação dos cilindros Equalizer associada a um trabalho de acompanhamento da implementação atingiu o objetivo de duplicação das campanhas de laminação nas condições estudadas.

Agradecimentos

À FINEP pelo fomento ao projeto ***Cilindro de alto desempenho para laminação à quente de tiras de aço*** (Convênio FINEP 01.06.1238.00) que serviu de alicerce para este desenvolvimento.

REFERENCIAS

- 1 KERR, E. J., "High Speed Steel work roll at Dofasco", Iron and Steel Maker USA, vol. 27, no. 1, pp. 27-30, Jan. 2000;
- 2 XAVIER, R. R., OLIVEIRA, M. J., MURAD, B., CARVALHO, J. G., "Desenvolvimento de Cilindros para as Últimas Cadeiras do Laminador de Tiras a Quente da CST", 41º Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, ABM, Joinville/SC, 2004;
- 3 BERNARDES, F. G., KRUEGER, W. B., REBELLATO, M. A., CORNÉLIO, G. T., "Gains obtained by the performance equalization from work rolls in the hot strip mill", 2008 SARUC Conference, Witbank Civic Centre, South Africa

- 4 CAMPBELL , L. A. P., AZEVEDO, S. J. F. A., OLIVEIRA, D. G. G., NICODEMOS, L. J. F., BERNARDES, F. G., SERANTONI, C. R., MENDES, M. A. R. S., MELO, M. V., "Desempenho dos cilindros equalizer no laminador de tiras a quente da CSN", 45º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos, ABM, Porto de Galinhas/PE, 2008.