

REDUÇÃO DO CONSUMO DE CILINDROSICDP NO LAMINADOR DE TIRAS A QUENTE DA ARCELORMITTAL TUBARÃO*

Vinícius Antonio Ramos Pin¹
Thiago Firmino Pereira²
Fabio Luiz Vale de Souza³
Bruno Brunoro Grecco⁴
Júlio Cesar Fracalossi⁵
Diego Gabriel Andrade⁶
Luiz Carlos Favaro Zanon⁷
Paulo Rodrigues dos Santos Junior⁸

Resumo

Diante de um mercado cada vez mais exigente e seletivo, é necessária uma análise minuciosa de cada etapa dos processos com o objetivo de se alcançar altos níveis de desempenho. Além de um grande fator de importância no processo de laminação, devido o seu elevado preço, os cilindros de laminação representam um dos principais itens no custo de produção de bobinas a quente. Outro fator responsável por uma grande parcela do consumo anormal de cilindros são os incidentes indesejáveis no laminador (sucatas e estiramentos) que são causados pela falta de estabilidade operacional. Sendo assim, é importante a busca por um processo estável e otimizado para a obtenção de um produto final de melhor qualidade e com menor custo. Utilizando a metodologia 6 sigma, observou-se oportunidades de melhoria no processo de liberação e retificação de cilindros, bem como meios para garantia da estabilidade operacional, que permitiram a redução do consumo de cilindros e consequentemente o custo de produção.

Palavras-chave: Laminação; Cilindros de Laminação; Sucatas; Estiramentos; Retificação em Cilindros; 6 Sigma

REDUCTION OF ICDP ROLL CONSUMPTION IN HOT STRIP MILL AT ARCELORMITTAL TUBARAO

Abstract

Faced with an increasingly demanding and selective market, a thorough analysis of each stage of the processes is required in order to achieve high levels of performance. In addition to a large factor of importance in the rolling process, due to its high price, the roll represent one of the main items in the cost of producing hot coils. Another factor responsible for a large portion of the abnormal roll consumption are undesirable incidents at the mill (Cobbles and Ripped Tails) that are caused by the lack of operational stability. Therefore, it is important to search for a stable and optimized process to obtain a final product of better quality and at a lower cost. Using the methodology 6 sigma was observed opportunities for improvement in the process of release and gridding roll, as well as means for ensuring the operational stability, allowing it to reduce the consumption of rolls and therefore the cost of production.

Keywords: Rolling; Roll; Cobbles; Ripped Tail; Roll Gridding; Six Sigma.

- ¹ *Engenheiro Mecânico, Especialista de Oficina de Cilindros, Gerência de Controle de Processo de Produção de Bobinas a Quente e Acabamento de Produtos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*
- ² *Engenheiro em Metalurgia e Materiais, Especialista de Laminação, Gerência de Controle de Processo de Produção de Bobinas a Quente e Acabamento de Produtos, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*
- ³ *Engenheiro Eletricista, MSc., Especialista de Engenharia Elétrica, Gerência de Engenharia Manutenção, ArcelorMittal Tubarão, Serra, ES, Brasil.*
- ⁴ *Engenheiro de Produção, Especialista de Confiabilidade de Manutenção Mecânica, Gerência de Área Manutenção de Laminação de Tiras a Quente Forno e Áreas Auxiliares, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*
- ⁵ *Engenheiro de Controle e Automação, Especialista de Controle e Processo, Gerência de Área Manutenção de Laminação de Tiras a Quente Forno e Áreas Auxiliares, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*
- ⁶ *Engenheiro de Produção, Supervisor de Oficina de Cilindros, Gerência de Área de Operação de Laminação de Tiras a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*
- ⁷ *Engenheiro de Produção, Técnico de Ensaios não Destrutivos, Gerência de Área de Operação de Laminação de Tiras a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*
- ⁸ *Técnico em Mecânica, Operador de Retífica de Cilindros, Gerência de Área de Operação de Laminação de Tiras a Quente, ArcelorMittal Tubarão, Serra, Espírito Santo – Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

A ArcelorMittal Brasil S/A, responsável pela produção de 11 milhões de Toneladas de aços planos e longos têm concentrado os seus esforços em sistemas de melhoria contínua visando o aumento da produtividade das operações, redução de custos de insumos e matérias primas, para se tornar uma empresa cada vez mais eficiente e competitiva no mercado.

Para tal, em 2017 a ArcelorMittal Tubarão reiniciou o programa 6sigma, onde foram desenvolvidos projetos para solução de problemas e/ ou melhoria de processos.

No processo de laminação de tiras a quente (LTQ), foram elaborados dois projetos visando a redução de consumo de cilindros de laminação do tipo ICDP (Indefinite Chill Double Pour), utilizados nas cadeiras 4 a 6 do Trem Acabador da ArcelorMittal Tubarão.

Um projeto com foco na melhoria dos procedimentos de liberação e retificação de cilindros, e outro trabalho com foco na estabilidade operacional do Trem Acabador para redução de sucatas e estiramentos.

1.1 Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão

O Laminador de Tiras a Quente da ArcelorMittal Tubarão é composto por 1 laminador de desbaste e 1 laminador trem acabador composto por 6 cadeiras de laminação do tipo 4-HI. Cada laminador, possui 2 cilindros de trabalho e 2 cilindros de encosto, conforme figura 1.

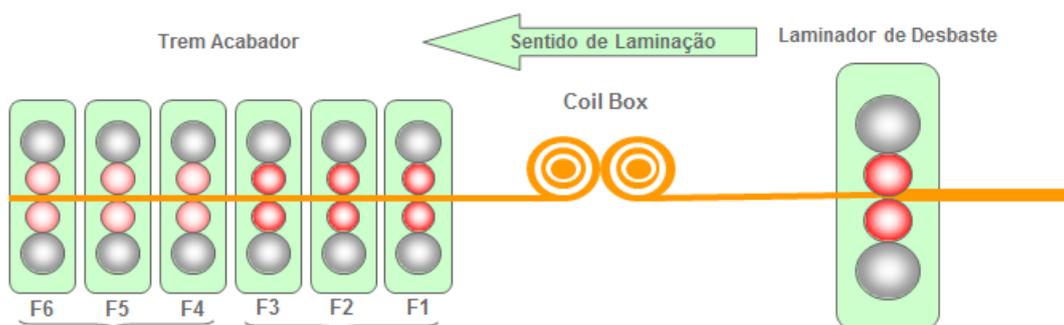


Figura 1. Processo de laminação da ArcelorMittal Tubarão.

1.2 Cilindros de Laminação

O processo de laminação por definição é um processo de conformação no qual o material é forçado a passar entre dois cilindros, girando em sentidos opostos, espaçados entre si com uma abertura menor que a espessura do material a ser conformado. Os Cilindros de laminação são ferramentas de conformação mecânica, cujas propriedades mecânicas e metalúrgicas são ajustadas para a aplicação a que se destinam (conformar o material laminado), conforme figura 2.

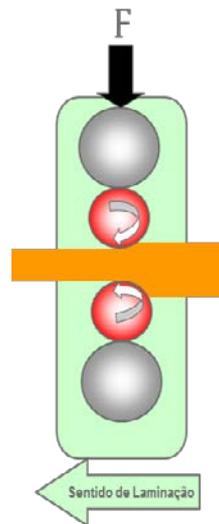


Figura 2. Processo de Laminação através da conformação da tira com cilindros.

No laminador da ArcelorMittal Tubarão, os cilindros de laminação são confeccionados por dois tipos de processo de fabricação, sendo:

- 1) Cilindros de encosto => Aço forjado 5% Cr
- 2) Cilindros de Trabalho => HSS (dupla centrifugação)
ICDP (dupla centrifugação)

1.2.1 Cilindros de Trabalho

As condições operacionais no processo de laminação a quente e os requisitos de qualidade requeridos pelo produto exigem que os cilindros de trabalho tenham características antagônicas. É preciso aliar, em uma mesma peça, alta tenacidade com boa resistência ao desgaste. Sendo assim, os cilindros são fabricados geralmente com dois tipos de materiais diferentes. O núcleo em ferro fundido nodular e a casca em ferro fundido indefinido (ICDP). O material da casca é rico em carbonetos distribuídos em uma matriz martensítica, proporcionando uma alta resistência ao desgaste, conforme figura 3.



Figura 3. Cilindro de laminação

Os cilindros de trabalho sofrem também deformações mecânicas importantes que merecem ser comentadas. A flexão ocorre devido às altas cargas de laminação aplicadas nas extremidades dos cilindros de encosto que por sua vez são transmitidas para os cilindros de trabalho. Eles também estão sujeitos ao

achatamento (*flattening*). Essa deformação nada mais é do que a deformação elástica dos cilindros devido à pressão envolvida entre as regiões de contato entre cilindro de encosto x cilindro de trabalho x tira, conforme figuras 4a e 4b.

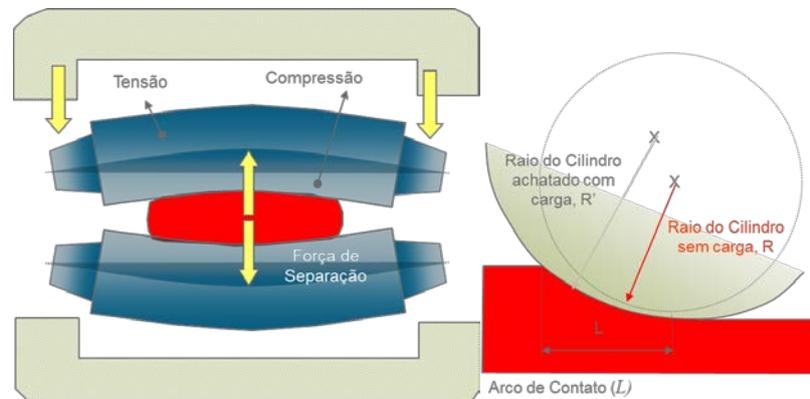


Figura 4. (a) Forças envolvidas nos cilindros (b) Achatamento do cilindro

Outro tipo de deformação sofrida pelos cilindros é a dilatação térmica que acontece ao longo de sua campanha no laminador, devido ao aquecimento acumulativo, principalmente na região central da sua mesa onde se dá o maior aporte térmico. Além de todos os fenômenos sofridos pelos cilindros de trabalho, descritos acima, eles também são submetidos a condições severas durante sua operação. Tais condições anormais são classificadas como acidentes e que podem variar desde uma ponta fria que pode levar a uma simples marca em sua superfície até um rompimento de tira seguido de colamento em toda a sua mesa. Nestes casos de acidentes mais graves há inevitavelmente ocorrência de trincas profundas, levando a grandes perdas de camada útil do cilindro ou até a sua quebra, gerando prejuízos operacionais.

2DESENVOLVIMENTO

A partir de 2009, observa-se uma elevação da performance de cilindros em função do aumento de produção, a partir de 2012 essa elevação é ainda maior alcançando valores de até 84% a mais em relação a meta de consumo de cilindros.

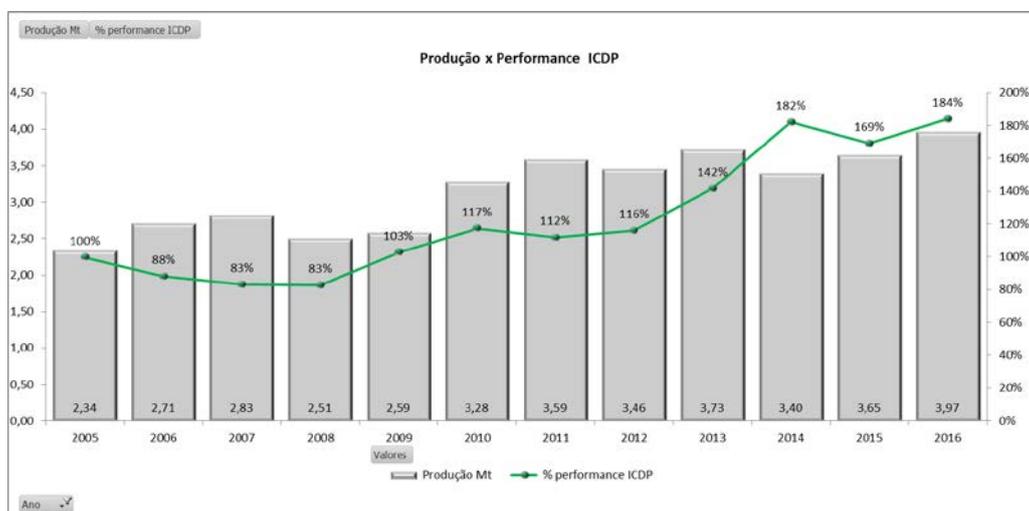


Figura 5. Consumo de Cilindros ao longo dos anos

Os cilindros de laminação possuem uma vida útil limitada em decorrência do desgaste desenvolvido na operação a que estão sujeitos. Utiliza-se o termo desgaste de cilindro para indicar a deterioração de sua superfície. A vida útil do cilindro pode ser reduzida drasticamente, devido ocorrências de sucatas ou estiramentos que comprometem a integridade do mesmo. Alguns itens que foram avaliados nesse artigo e que impactam no consumo, são:

- 1) Motivada troca de cilindros (Sucatas; Estiramentos; Marcas; Colamento);
- 2) Temperatura de trabalho dos cilindros;
- 3) Material do cilindro;
- 4) Tecnologia de fabricação;
- 5) Campanha de laminação (Largura; Espessura; Resistência da tira);

Em 2016, foram avaliadas as trocas de cilindros de trabalho ICDP, e constatou-se que 50% foram devido à troca planejada, e 50% não planejada, figura 6.

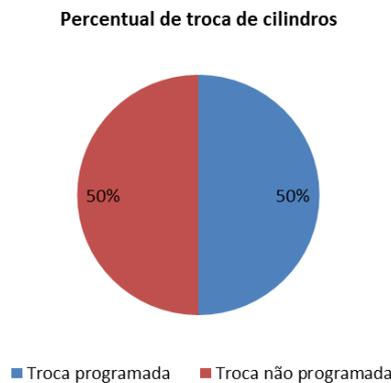


Figura 6. % de trocas de Cilindros ICDP

Após avaliação das trocas não planejadas, foram identificadas que: 32% das trocas foram devido Estiramentos, 11% Sucatas, 5% Marcas e 2% Repuxado, figura 7.

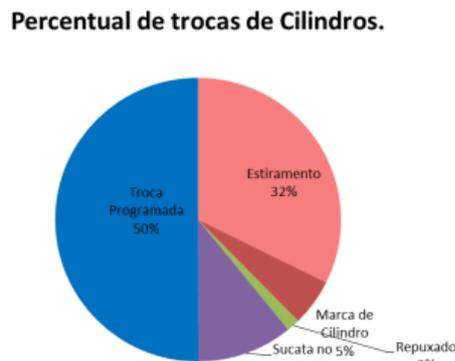


Figura 7. % de trocas de Cilindros ICDP

As trocas não planejadas impactaram em 58,2% o consumo de cilindros sendo a principal causa os cilindros envolvidos em ocorrências de estiramentos, seguida por sucatas no Trem Acabador, ver figura 8.

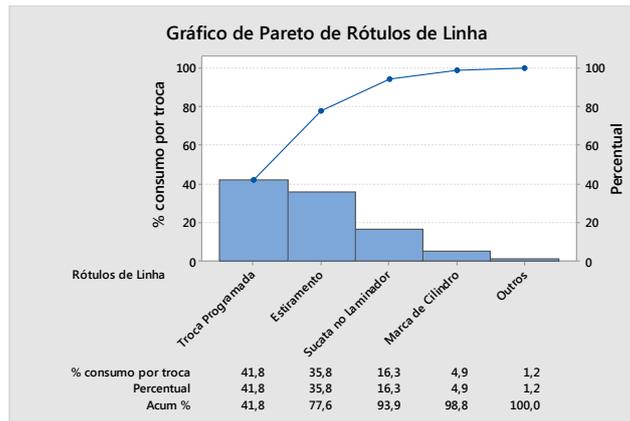


Figura 8.Consumo por motivo de trocas de Cilindros ICDP

Dentre os motivos de consumo de cilindros, 59% foram normais e 41% não normais, sendo 28% devido à mudança de estrutura, ver figura 9.

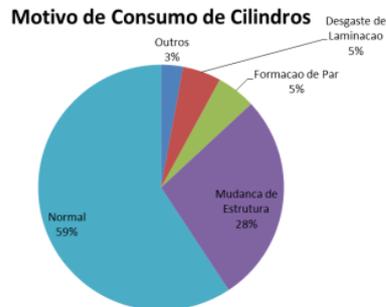


Figura 9.Consumo por Motivo de consumo de cilindros

Após avaliação do consumo de cilindros por cadeira, foi verificado que a cadeira F6 apresenta o maior consumo devido trocas não planejadas, figura 10.

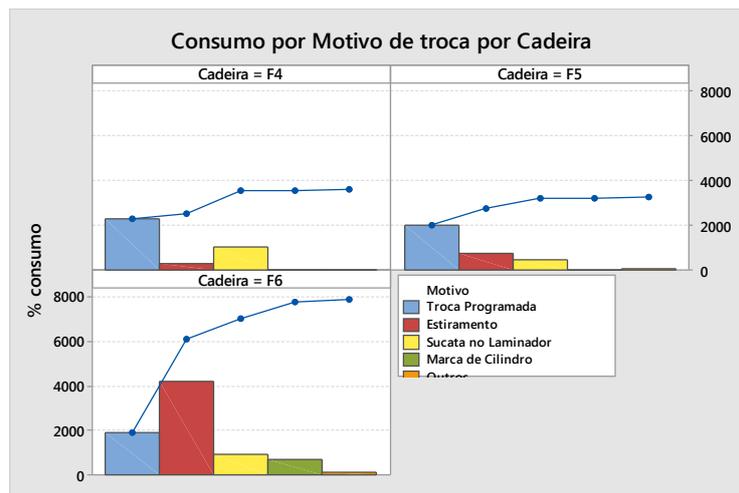


Figura 10.Motivo de consumo de cilindros por cadeira

2.1 Metodologia

Através de um brainstorming, chegou-se a um diagrama de espinha de peixe com objetivo de explorar e identificar as potenciais causas raízes de consumo de cilindros. Com intuito de quantificar as prioridades das causas que afetam ou não o

consumo de cilindros foi desenvolvida uma matriz de Causa x Efeito. Posteriormente elaborou-se uma matriz de Esforço x Impacto para definição de quais causas seriam atacadas primeiramente ou quais não seriam atacadas no projeto, exemplo de matriz Esforço x Impacto, figura 11.

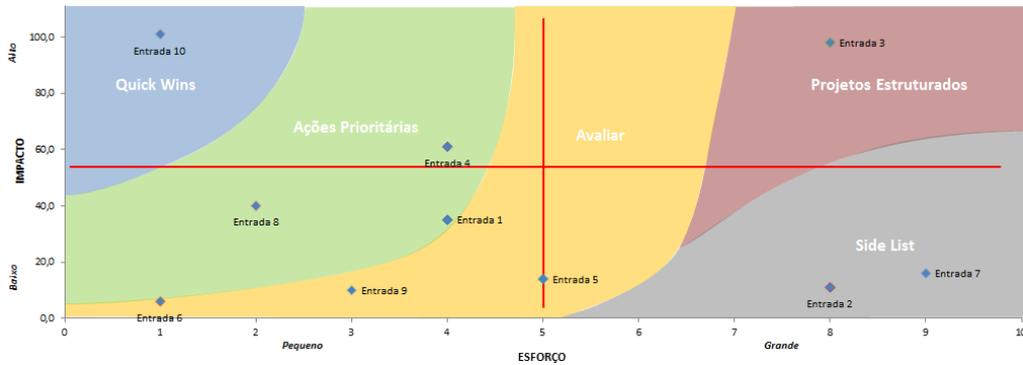


Figura 11. Matriz de Esforço x impacto.

De acordo com a matriz, foi priorizada a realização de análises de defeitos de cilindros antes, durante e após retificação através do ensaio por *EddyCurrent*. Com base nas avaliações do sistema de medição foi estabelecido parâmetros liberação de defeitos em função da cadeira de laminação onde o cilindro será utilizado, posição do defeito na mesa do cilindro e tipo decampanha de laminação.

2.1.1 Avaliação do sistema de medição de defeitos superficiais (*EddyCurrent*).

Ao se aplicar tensão variando no tempo em circuito elétrico, a corrente circulante gerará o campo magnético variante o qual poderá induzir tensões de correntes em outros materiais, uma vez aplicado campo magnético variável em um material condutor, a partir disso ocorre à geração de corrente, chamada *eddycurrent*, figura 12.

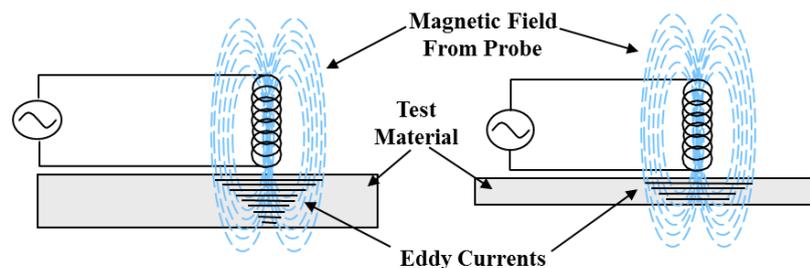


Figura 12. Método de medição por eddycurrent.

No momento da geração do campo magnético, o sistema consegue interpretar os possíveis defeitos no material sendo uma trinca ou simplesmente uma variação do campo magnético, mais conhecido como *bruisse*.

Essa variação do campo magnético pode ser gerada por:

- 1) Diferença de dureza superficial do material do cilindro;
- 2) Microporosidade superficiais;
- 3) Concentração ou agrupamento de carbonetos superficiais;
- 4) Magnetismo superficial;

Após estudos realizados no equipamento e baseado no conhecimento da técnica do *eddycurrent*, foi possível determinar diferentes características para diferentes tipos de materiais de cilindros de laminação, para cada qual apresentou uma resposta quanto ao defeito interpretado pelo equipamento. Nas figuras 13a a 13c, são apresentados três tipos de materiais diferentes “A”, “B” e “C” utilizados para análise, e determinados tamanhos e tipos de trincas similares aos testes, bem como a padronização da velocidade e deslocamento do fluxo de corrente, para garantir a mínima influência da medição.



Figura 13. (a) Resposta de eddycurrent do material “A”. (b) material “B”. (c) material “C”.

Em análise aos gráficos, a barra em vermelho representa a trinca no material, e as barras em verde representam quão permeável é o material (valores em absoluto). Portanto, conclui-se que tanto o campo, quanto a permeabilidade do material são influenciados na medição.

Ao se analisar o gráfico do material “A”, identificamos uma permeabilidade de medição inferior, em comparação ao material “C”.

Para confirmar tal fato, foram elaborados ensaios por materiais de cilindros de laminação em função a corrente de eddycurrent, após os ensaios os dados foram analisados e identificadas às respostas diferentes, conforme figura 14.

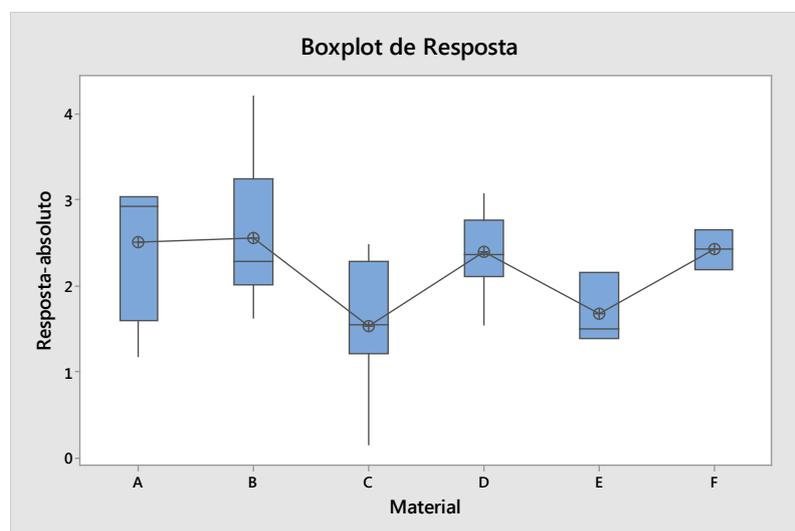


Figura 14. Resposta de eddycurrent em função de material de cilindro.

A partir desse resultado, foram definidas normas para liberação dos cilindros em função ao tipo de material, fabricante, tipo de defeito, localização e cadeira.

Principais ações para controle de avaliação de defeitos em cilindros foram:

- Criação de fluxogramas para interpretação e avaliação de defeitos em cilindros;
- Padronização do setup de retificação;
- Regras de formação de par de cilindros;

2.2 Trocas não planejadas por Sucatas

Durante a produção de tiras a quente no Trem Acabador, a sucata é um dos incidentes mais indesejáveis, e que consiste na interrupção instantânea do processamento do material dentro do laminador. Podendo ser causado por diversos fatores de processo, operacionais ou de manutenção.

Existem vários tipos de sucatas podendo ser consequência de um rompimento da tira ou simplesmente pela parada do Trem Acabador. No primeiro caso os cilindros de laminação podem ser danificados pela passagem de partes dobradas da tira. Porém, em qualquer tipo de ocorrência de sucata os cilindros são comprometidos pelo contato localizado com a tira por um tempo prolongado, podendo gerar trincas térmicas (Figura 15). A retirada de sucatas do interior do Trem Acabador, também é um processo que pode danificar os cilindros.



Figura 15. Trincas térmicas na superfície dos cilindros de trabalho devido contato prolongado com a tira quente, em função de parada do material no gap dos cilindros (sucata).

As sucatas são uma das principais causas para o aumento do consumo anormal de cilindros de trabalho em um laminador de tiras a quente. Sendo assim, faz-se necessário um trabalho entre operação e manutenção para que esse tipo de incidente seja evitado ao máximo.

No gráfico abaixo Figura 16, é possível observar a partir de 2014, uma redução nas ocorrências de sucatas no Trem Acabador, mesmo com o aumento de produção. Tal redução contribuiu para a diminuição de consumo anormal de cilindros de trabalho, em aproximadamente 40% no último ano.

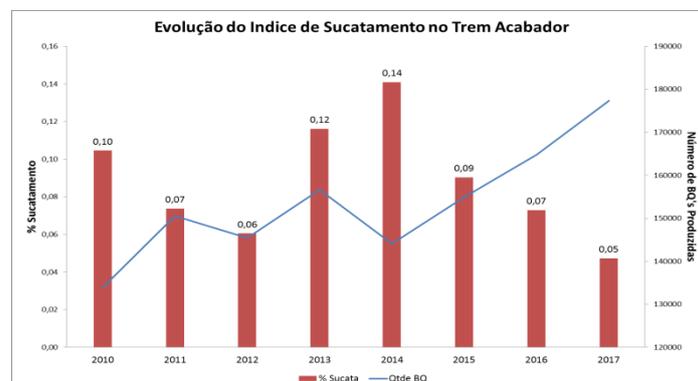


Figura 16. Evolução Anual, desde 2010, do índice de sucateamento no Trem Acabador.

2.3 Trocas não planejadas por Estiramentos.

Outro incidente comum e indesejável durante a produção de tiras a quente no Trem Acabador, são os estiramentos (Figura 17), e que consiste no movimento lateral da cauda da tira, que colide contra a guia de entrada da cadeira, fazendo com que a tira rasgue.

Além do estiramento outros tipos de problemas podem ocorrer durante a passagem da cauda da tira pelo Trem Acabador e que podem causar danos aos cilindros de laminação: Rabadas, Repuxados, Rompimento de cauda por carga de laminação elevada, entre outros. Tais ocorrências causam marcas graves nos cilindros, que demandam maior corte na retifica, aumentando o consumo anormal de cilindros.



Figura 17. Exemplo de estiramento grave na cauda da tira.

No gráfico abaixo Figura 18, é possível observar que em 2017, houve uma redução nas ocorrências de estiramentos no Trem Acabador, mesmo com o aumento de produção de bobinas a quente. Após trabalho iniciado no primeiro Semestre de 2017, sob a metodologia 6 Sigma, houve uma redução significativa das ocorrências (Figura 19). Tal redução contribuiu para a diminuição de consumo anormal de cilindros de trabalho, em 2017 em aproximadamente 50 %.

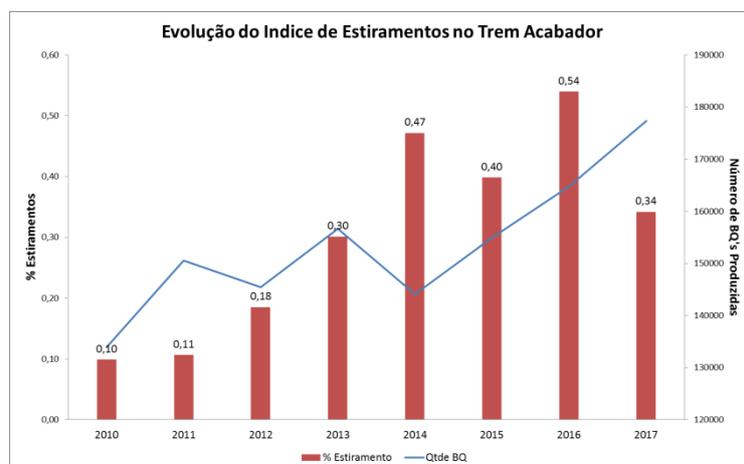


Figura 18. Evolução Anual, desde 2010, do índice de estiramentos no Trem Acabador.

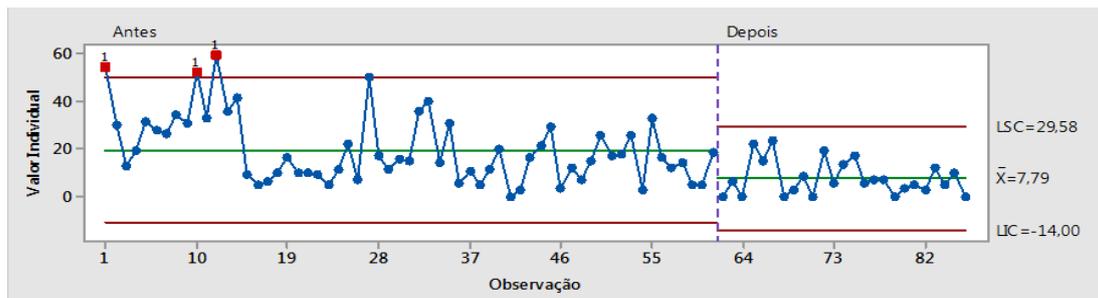


Figura 19. Carta de Controle Antes e Depois das ações para controle de Estiramento (2017).

Principais ações para controle de ocorrências de sucatas e estiramentos no Trem Acabador:

- Criação de um grupo Setorial do Trem Acabador com participação de representantes da operação, processo, manutenção elétrica e mecânica, engenharia e oficina de cilindros, com reuniões semanais para tratar das ocorrências da semana;
- Melhoria no controle de folgas e alinhamento das guias de entrada das cadeiras do Trem Acabador;
- Acompanhamento de cedagem das cadeiras para identificar problemas de geometria / falta de paralelismo / folgas ou atrito excessivo entre componentes;
- Ajuste de velocidades de laminação;
- Implantação de sistema de controle de desvio de força na tira;
- Modificações na malha de controle de espessura na cauda (AGC);
- Modificações na aplicação de lubrificação dos cilindros para reduzir variação de carga de laminação na cauda da tira;
- Melhoria das câmeras para melhor visualização do desvio de centro de linha da tira pelos operadores do Trem Acabador;
- Melhoria no modelo matemático de setup do Trem Acabador;
- Treinamento operacional;

3 CONCLUSÃO

O projeto de redução de consumo de Cilindros na ArcelorMittal Tubarão foi bem sucedido e fornece um excelente exemplo das oportunidades disponíveis, em função do compartilhamento de ideias entre operadores, técnicos, supervisores e engenheiros, os quais contribuíram para a redução do consumo de cilindros.

Após a implantação das melhorias no processo de liberação e retificação de cilindros, e da implantação das ações para mitigar as causas de sucatas e estiramentos, foi alcançada uma redução do consumo de cilindros significativa em média de 71% em 2017 e de 110% a partir de 2018, comparando-se ao ano de 2016.

Outro ponto importante a ser mencionado, foi a redução dos custos indiretos que envolvem no processo de retificação de cilindros, tais como:

- 1) Consumo de rebolos;
- 2) Consumo de energia elétrica
- 3) Consumo de insumos (graxa, óleo, água)
- 4) Aumento da produção de retificação de cilindros.

REFERÊNCIAS

- 1 Barbosa AA., Silva F, Procópio L.O.T. Utilização de cilindros de aço rápido (HSS) no laminador steckel da Aperam. 2013.
- 2 Cornélio GT. Caracterização de materiais utilizados na fabricação de cilindros de laminação submetidos ao desgasteabrasivo. Guaratinguetá: Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá; 2006.
- 3 Rizzo E. M. S. Processos de laminação a quente de produtos planos de aço, Laminação. 2011