

MELHORIAS NO SISTEMA DE INSPEÇÃO DE SUPERFÍCIE DE TIRAS LAMINADAS À QUENTE DA ARCELORMITTAL TUBARÃO¹

Roberto Dalmaso²
Leandro de Lucas Mendes³
Amarildo Gomes Dutra⁴

Resumo

Este trabalho visa apresentar a evolução do sistema de inspeção de superfície de tiras laminadas à quente em uso na ArcelorMittal Tubarão, discutindo seu impacto tanto na qualidade do produto, avanços tecnológicos do sistema assim como a redução de seus custos de operação. Tal sistema está instalado no laminador da ArcelorMittal Tubarão desde sua implantação, mas identificou-se nos últimos anos com o avanço das tecnologias disponíveis que uma série de melhorias poderiam ser aplicadas a sua estrutura para permitir um melhor desempenho, tanto em sua confiabilidade / disponibilidade como na qualidade das imagens e classificações realizadas. Os resultados alcançados geraram uma elevação da capacidade de processamento do sistema, uma melhor qualidade das imagens capturadas e uma diminuição significativa dos custos de manutenção da estrutura de iluminação. Todas estas mudanças permitiram uma melhor classificação de defeitos e abriram horizontes para novos usos do sistema.

Palavras-chave: Sistemas de inspeção on-line; Laminador de tiras à quente; Iluminação LED; Câmeras digitais.

ARCELORMITTAL TUBARÃO HOT STRIP MILL SURFACE INSPECTION SYSTEM IMPROVEMENTS

Abstract

This paper presents the evolution of ArcelorMittal Tubarão hot rolled coils surface inspection system, discussing the impacts on product quality, the system technological advances and operation costs reductions. The system is installed on the hot strip mill since it's commissioning, but on the last years due to the development of the available technologies, a set of improvements were applied to allow a better performance, both in reliability / availability as on the images captured and classifications done. Furthermore, these improvements also resulted in an expressive maintenance costs reduction, an expansion of the system processing capacity and in better images resolution, which lead to a better defect classification and so allowed the system to be used in new purposes.

Keywords: On-line surface inspection systems; Hot strip mill; LED lighting; Digital cameras.

¹ Contribuição técnica ao 17º Seminário de Automação e TI Industrial, 24 a 27 de setembro de 2013, Vitória, ES, Brasil.

² Engenheiro Especialista em Automação – ArcelorMittal Tubarão- Serra-ES

³ Engenheiro Especialista de Controle de Qualidade de Produto – ArcelorMittal Tubarão- Serra-ES

⁴ Técnico de Controle de Processos – ArcelorMittal Tubarão- Serra-ES

1 INTRODUÇÃO

Defeitos superficiais em bobinas laminadas podem ser tão críticos para os produtos subsequentes gerados como defeitos mecânicos / dimensionais dependendo de sua aplicação. Portanto, a detecção de tais problemas antes do envio ao cliente é um item muito importante e necessário.

A inspeção de superfícies de bobinas laminadas pode ser feita de forma automatizada ou não. Quando conduzida de maneira não automatizada, leva em consideração somente pequenos trechos de algumas bobinas, trabalhando assim de forma estatística sobre a produção da planta. Já a inspeção feita utilizando-se sistemas de inspeção automática, garante a análise de todo o material produzido em tempo real, com uma detecção normalmente maior do que 90% dos defeitos produzidos.

O sistema de inspeção de superfícies é um equipamento que adota abordagens de processamento de imagens, paralelismo e técnicas de inteligência artificial para capturar, através de câmeras CCDs e iluminação direta, imagens de bobinas laminadas à quente ainda durante o seu processamento no laminador, dependendo para isso de computadores industriais e componentes de rede / conversores.⁽¹⁾

2 O SISTEMA DE INSPEÇÃO DE SUPERFÍCIES DA ARCELORMITTAL TUBARÃO

O sistema de inspeção de superfícies, HTS 4.2 SP3, instalado na ArcelorMittal Tubarão foi fabricado pela empresa Alemã Parsytec e era originalmente composto por doze câmeras CCDs analógicas, sete computadores industriais (um servidor e seis computadores para tratamento de imagens) e seis unidades de iluminação alógenas, conforme ilustrado na Figura 1. As imagens capturadas pelas câmeras eram convertidas em um sinal óptico e transmitidas por fibra até uma sala elétrica, onde passavam pelo processo inverso para serem digitalizadas nos computadores as quais estavam conectadas.

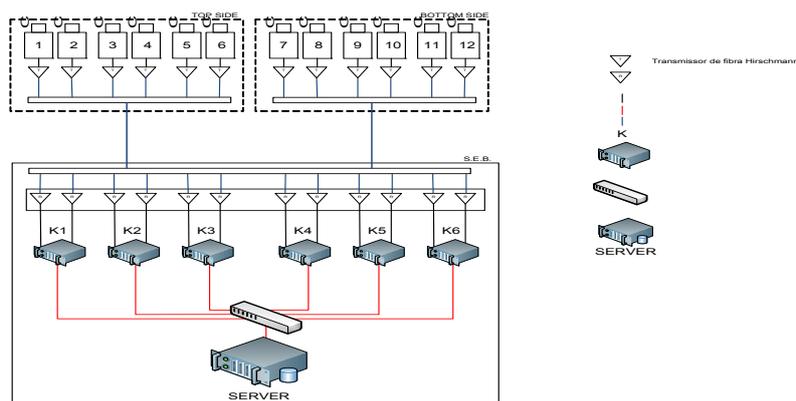


Figura 1. Ilustração do sistema original.

Desta forma, as imagens passavam por uma dupla conversão antes de serem digitalizadas, e após isso eram armazenadas em um disco interno no computador onde a conversão acontecia.

A função dos computadores associados às câmeras é a mais demandante de todo o sistema e consiste em identificar e classificar possíveis defeitos encontrados nas imagens, calculando também suas características (Figura 2) e salvando a imagem em seu disco interno. Já a função do servidor, consiste em trabalhar com o registro

dos defeitos encontrados, e não mais imagens, coordenando os demais computadores e analisando possíveis correlações entre vários defeitos para, em alguns casos, promover uma junção, por exemplo: um arranhão que se estende por vários metros aparecerá em várias imagens, gerando vários defeitos individuais e um agrupamento correlacionando todos eles.

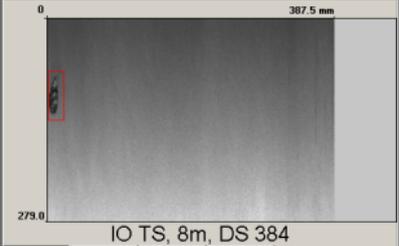
| Defect Description | |
|---|-----------------|
| Defect ID | 39 (Part of 38) |
| Class | IO |
| Prod. Class / Test Class | IO / IO |
| Grade | 4 |
| Confidence | SYSTEM |
| Dist. from DS | 384 mm |
| Dist. from DS start | 1101 mm |
| Distance from start | 8.001 m |
| Width | 20 mm |
| Length | 86 mm |
| Period length | --- |
| Camera | 3 |
| Image ID | 2 |
| Load Side | Top Side bright |
| Defect Image -\\172.17.1.100\images\01392_\01392605_03_srcimg_0002.tif | |
|  | |

Figura 2. Exemplo de defeito capturado.

2.1 Fragilidades da Arquitetura Original

A arquitetura original apresentava diversas fragilidades / pontos passíveis de melhoria como listado abaixo:

- Obsolescência dos componentes dos computadores (processadores, placas mãe, discos, etc.) e dos conversores de fibra;
- Alto consumo de bulbos alógenos das unidades de iluminação;
- Imagens com iluminação deficiente;
- Distorções nas imagens geradas pelos conversores de fibra;
- Alto custo dos componentes e itens de consumo;
- Baixa performance de componentes (processadores, discos, *switches*) quando comparado a itens atuais de mercado;
- Ausência de redundância dos dados armazenados;
- Curto tempo de retenção dos dados de processo.

2.2 Atualizações Iniciais Aplicadas à Infraestrutura do Sistema

Para resolver os itens dispostos no item 2.1, várias alterações foram feitas de forma progressiva no sistema. A primeira delas diz respeito a uma atualização tecnológica dos computadores e eliminação dos conversores de fibra, conforme ilustrado na figura 3 e detalhado nas Tabelas 1 e 2.

Com a movimentação dos computadores para as salas de inspeção, vários conversores se tornaram dispensáveis, simplificando assim o processo para digitalização das imagens e diminuindo o custo com sobressalentes e peças de reposição. Outro item importante foi a introdução da redundância dos dados salvos com o uso de uma estrutura de salvamento em paralelo (RAID 1).

Tabela 1. Alterações de hardware aplicadas aos computadores das câmeras

| | Anterior | Nova |
|--------------------------|--|---|
| Processador | 2 processadores Pentium III 933 MHz | 1 processador Pentium IV 3.06 GHz HT |
| Memória RAM | 256MB | 1024MB |
| HD | 40GB ATA 66MB/s | 80GB SATA 150MB/s |
| Raid | Não disponível | Espelhamento do HD |
| Placa de rede | Ethernet 100Mbs | Gigabit 1 Gbs |
| Sistema Operacional (SO) | Windows NT 4 Workstation | Windows XP profissional |

Tabela 2. Alterações de hardware aplicadas ao servidor

| | Anterior | Nova |
|--------------------------|--|---|
| Processador | 2 processadores Pentium III 850 MHz | 2 processadores Pentium XEON 3.06 GHz HT |
| Memória RAM | 256MB | 1024MB |
| HD | 40GB ATA 66MB/s | 80GB ATA |
| Placa de rede | Ethernet 100Mbs | Gigabit 1 Gbs |
| Sistema Operacional (SO) | Windows NT 4 Server | Windows Server 2003 |

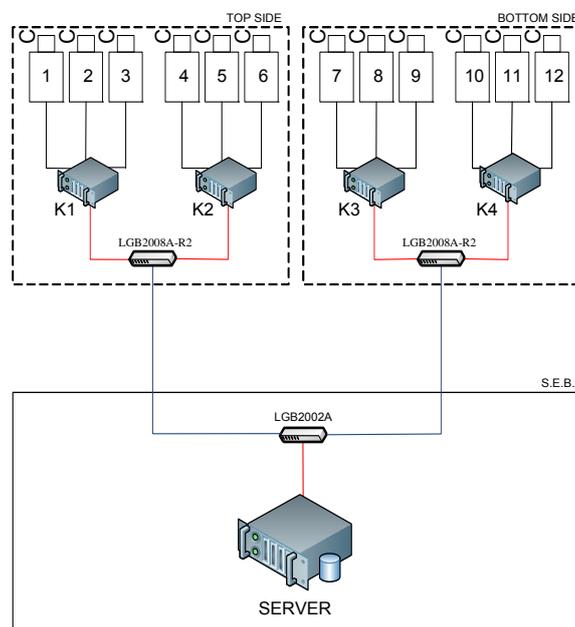


Figura 3. Alterações nos computadores do sistema.

2.3 Instalação das Lâmpadas a LED

Devido ao custo elevado dos elementos de consumo e também ao alto índice de reparo eletrônico / sucateamento das unidades alógenas, esta era a principal despesa fixa do sistema. A vida útil dos elementos era da ordem de dois meses e das unidades eletrônicas era cerca de quatro anos. Para tanto, as unidades de

iluminação foram trocadas por lâmpadas a LED com uma durabilidade estimada em mais de oito anos. Uma foto das unidades é apresentada na Figura 4.



Figura 4. Unidades de iluminação. Unidade alógena à esquerda e LED à direita.

2.4 Instalação das Câmeras Digitais

Mesmo com a eliminação dos conversores, continuava-se com a necessidade de digitalização das imagens nos computadores, devido ao uso das câmeras analógicas. Isso obrigava o uso de várias placas de captura de imagens, item esse que também corria o risco de obsolescência, tanto da placa quanto do barramento por ela utilizado. Para resolver este item, as interfaces do *software* original do fabricante com as câmeras foi reescrita, de forma a permitir o uso da nova tecnologia (GigE – Gigabit Ethernet), eliminando-se também a transmissão analógica que existia antes. A câmera utilizada no projeto é mostrada na Figura 5.



Figura 5. Câmeras digitais GigE.

Após a instalação das novas câmeras, o sistema foi calibrado e ajustado. Isso para garantir a perfeita sobreposição / posicionamento de cada câmera em relação à outra e também de todas elas em relação à região que se deve inspecionar. Na figura 6 é mostrado o software de calibração e a foto do calibrador tirada a partir de uma das câmeras.⁽²⁾

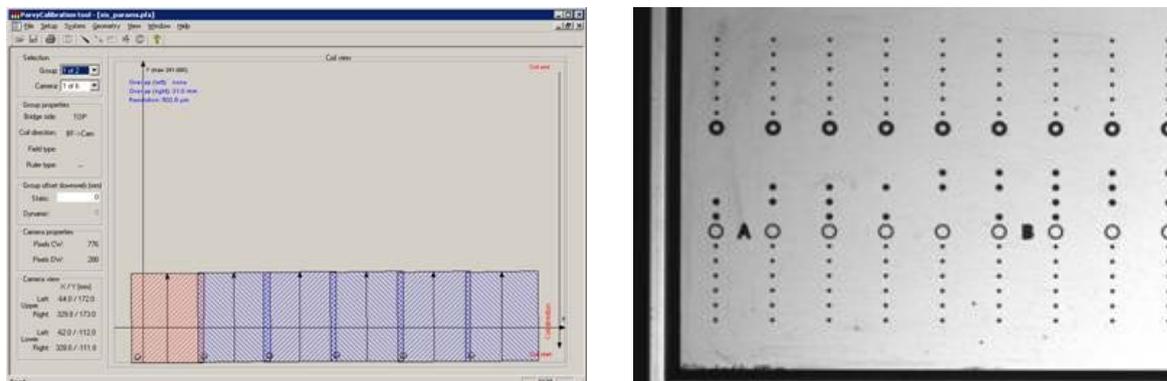


Figura 6. Software de calibração à esquerda e calibrador à direita.

2.5 Alteração de toda a Infraestrutura de Hardware e de Rede

Com a introdução das novas câmeras, não havia mais a necessidade de se manter os computadores em seu formato original, dando margem a introdução de

arquituras mais robustas como a compactPCI (Figura 7). Desta forma, todos os computadores foram substituídos por cartões onde os componentes eram de estado sólido e empregavam o mínimo de encaixes possível. Outro ponto importante é que toda comunicação com os cartões passou a ser feita através de placas Ethernet, eliminando a necessidade de múltiplas e diferentes conexões com os computadores.



Figura 7. Cartão e rack CompactPCI.

A forma de armazenamento dos dados também mudou, passando a ser centralizada, promovendo assim melhor confiabilidade, disponibilidade e um prazo mais longo de retenção dos registros e imagens. A arquitetura resultante é apresentada na Figura 8.

Como as mudanças apresentavam uma grande extensão do sistema, antes que qualquer alteração pudesse ser implantada, todo o sistema foi montado e testado exaustivamente em bancada para garantir que seu funcionamento em produção seria adequado.

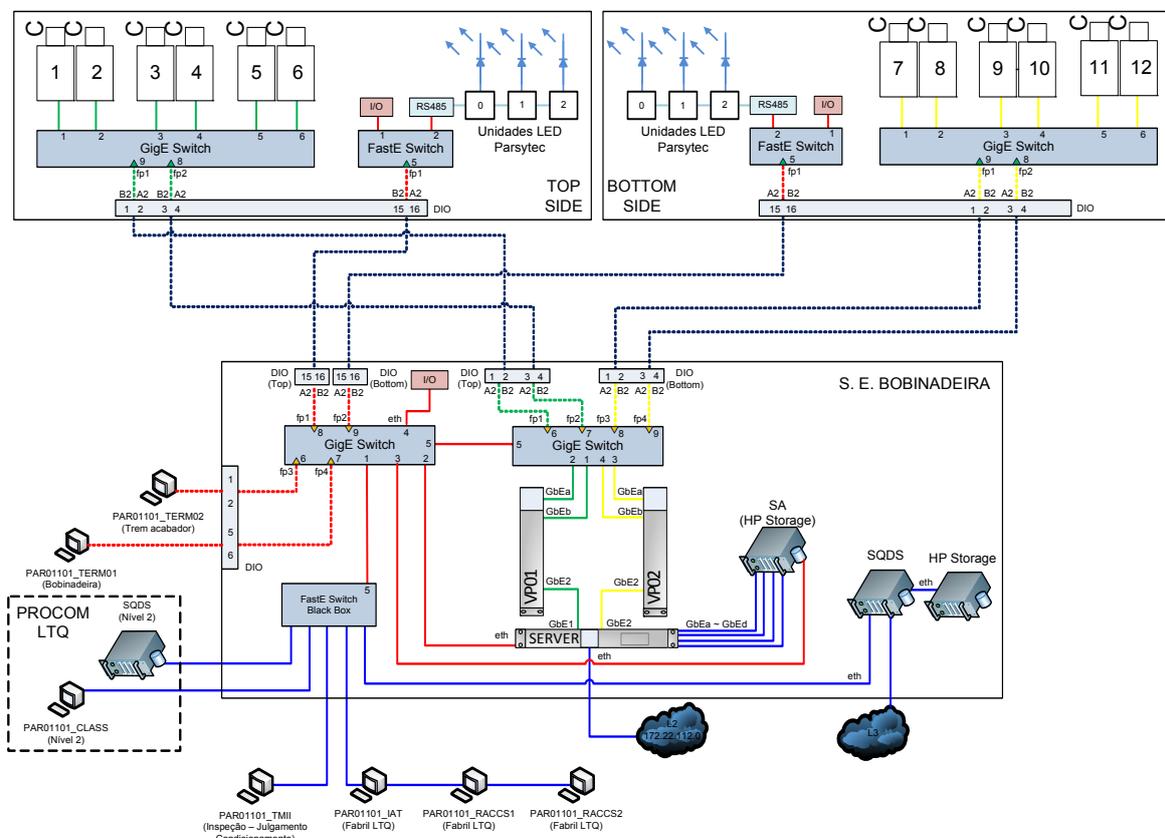


Figura 8. Arquitetura atual do sistema.

3 RESULTADOS

As alterações promovidas no sistema geraram uma série de resultados positivos, alguns quanto à melhoria de qualidade das imagens geradas outros quanto ao aumento de capacidade de processamento e de armazenamento do sistema. Algumas métricas utilizadas para medição do desempenho do sistema são: o número médio de imagens capturadas e o número de ocorrências de “flood” do sistema. O termo *flood* é utilizado para representar uma região da superfície da tira que deixou de ser inspecionada por conta de uma falta momentânea de recursos computacionais. A Figura 9 demonstra claramente o aumento da capacidade do sistema, onde o percentual médio de *flood* cai de doze por cento para nenhum e o número de defeitos capturados por tira, de 1.306 para 7.268.

As imagens capturadas também demonstraram grande melhoria de qualidade, tanto pelas questões de gradiente de iluminação, quanto por conta da resolução e do contraste, fatores estes que afetam diretamente os algoritmos de detecção e delimitação, como também à extração das características dos defeitos, algo que por consequência afetará fatidicamente sua classificação. A melhoria na resolução proporcionou também o aumento do desempenho do sistema na detecção de defeitos estreitos como arranhões, típicos no contato entre rolos defeituosos e a face inferior da tira. A Figura 10 mostra dois exemplos de imagens capturadas, um antes das alterações e outro após.

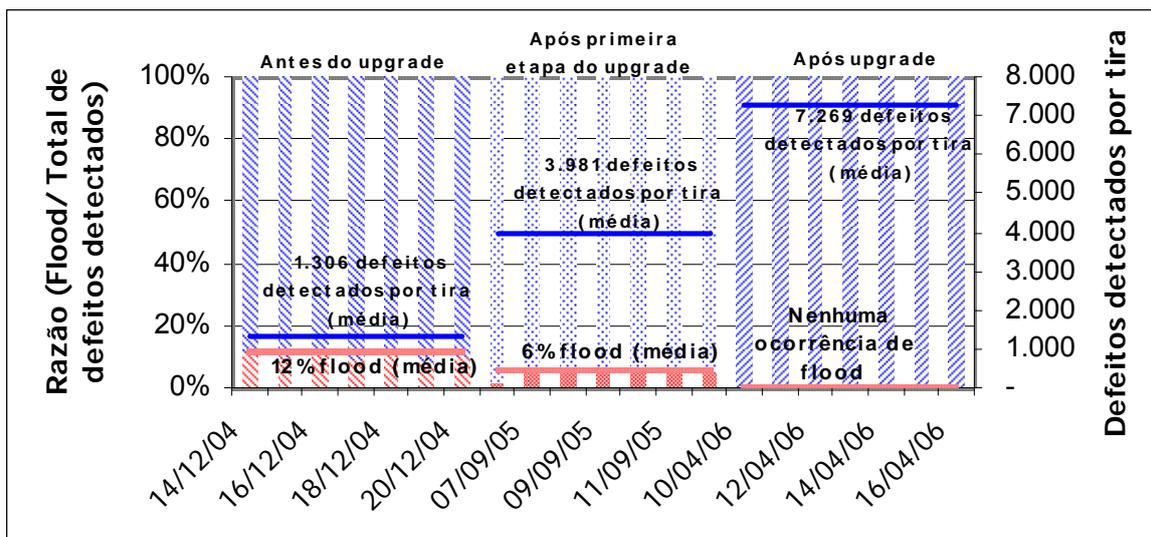


Figura 9. Gráfico demonstrativo do aumento de desempenho do sistema.



Figura 10. Imagem gerada com a arquitetura antiga à esquerda, e com a nova à direita.

Outro resultado muito importante, produto direto das melhorias implementadas, é a redução de custo com manutenção, seja pela reposição de itens de consumo ou

investimento em sobressalentes. Tomando como exemplo o gasto com a iluminação do sistema em 2010, temos:

- quatro trocas de três bulbos da face inferior e duas trocas da face superior;
- gerando assim 18 bulbos trocados no ano;
- com o custo unitário do bulbo a R\$5.500,00, gastava-se por ano um total de R\$99.000.

Considerando-se um horizonte de tempo maior, tomando, por exemplo, a vida útil mínima das unidades a LED (oito anos) teremos, conforme demonstrativo na Tabela 3, uma expectativa de economia da ordem de quase R\$1,2 milhões no período.

Tabela 3. Comparação dos custos das tecnologias de iluminação

| | Lâmpadas alógenas | Lâmpadas a LED |
|---|--------------------------|-----------------------|
| Custo de troca de Lâmpadas | R\$792.000,00 | - |
| Estimativa de troca de 10 unidades alógenas | R\$618.750,00 | - |
| Estimativa de troca de 6 unidades de luz LED | - | R\$243.540,00 |
| Total | R\$1.410.750,00 | R\$243.540,00 |

Existem também outros resultados gerados, porém não diretamente mensuráveis, como:

- diminuição das ocorrências e probabilidade de falhas, devido a redução do número de itens utilizados no sistema e aumento da robustez nos itens empregados;
- possibilidade de melhores ajustes nas imagens adquiridas e diagnóstico devido ao emprego de câmeras digitais;
- redução do volume utilizado pelo sistema;
- aumento da confiabilidade e do tempo de retenção dos dados (imagens e registros);
- atualização tecnológica dos sistemas operacionais empregados, mantendo seu suporte e diminuindo assim os riscos de vulnerabilidades;
- aumento da disponibilidade do sistema e tolerância a falhas com a utilização de ligações redundantes entre dispositivos de rede;
- menor consumo de energia. Novas unidades de iluminação consomem 25% do consumo anterior.

4 CONCLUSÃO

As melhorias implantadas no sistema foram fundamentais para garantir sua estabilidade e expandir sua capacidade para acompanhar os novos patamares de produção da planta de laminados à quente. Tais melhorias preparam também seu uso para que ferramentas de tomada de decisão automática possam, através das informações determinadas por ele, julgar a adequação de um produto aos requisitos de um cliente, ou mesmo uma reaplicação do material, instruindo assim a rota que uma bobina deve seguir ao sair do laminador. Tal sistema já se encontra na fase de estudo de implantação e deverá ser instalado até o próximo ano.

Outro ponto inquestionável foi a redução dos custos de manutenção. As unidades a LED já funcionam há quase três anos sem demonstrações perceptivas de perda de iluminação ou necessidade de manutenção e já economizaram nesse intervalo mais de R\$300.000.

Todas as melhorias foram também corroboradas e bem recebidas pelo setor de pesquisa e desenvolvimento do grupo, sendo algumas delas elencadas como inovações interessantes para implantação em outras usinas do grupo.

REFERÊNCIAS

- 1 MARTINELLI, F. J.; BRUNELLI, E. N.; LIMA JR, S. O.; BELLON, J. C.; O Processo de Implantação do Sistema de Inspeção On-Line de Superfícies de Tiras a Quente na CST. In: XIII SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS, BELO HORIZONTE – MINAS GERAIS – BRASIL, 6 A 8 DE OUTUBRO DE 2004;
- 2 MENDES, L. L.; NEY, V.B; PORTELA, L. A.; MORELATO, A. P.; Ferramentas de Controle de Qualidade de Bobinas a Quente na ArcelorMittal Tubarão. In: XLIX SEMINÁRIO DE LAMINAÇÃO DA ABM, VILA VELHA – ESPÍRITO SANTO – BRASIL, 22 A 25 DE OUTUBRO DE 2012.