

# CARACTERIZAÇÃO DE ESFOLIAÇÃO NO PRODUTO LAMINADO A QUENTE DA CST<sup>1</sup>

Afrânio Márcio Costa<sup>2</sup>

Fabiano Almir Barbosa<sup>2</sup>

Carlos André de Almeida Pinto<sup>3</sup>

Deivison Moraes Alvarenga<sup>3</sup>

Flávio José Saraiva Rodrigues<sup>4</sup>

Gladistone de Souza Guerra<sup>4</sup>

Henrique Silva Furtado<sup>5</sup>

## Resumo

Com a entrada em operação de sua nova linha de laminação a quente em agosto de 2002, a CST passou a fornecer um produto com maior valor agregado, bobinas a quente. Por se tratar de um novo produto para a empresa, foi necessário realizar uma série de ações objetivando identificar e caracterizar os defeitos que ocorrem nesse produto. Neste estudo, procurou-se concentrar no defeito conhecido como Esfoliação (“Sliver”, em inglês), que é responsável por grande parte das desclassificações no produto final. Este trabalho apresentará as etapas que foram seguidas para a detecção e caracterização do referido defeito, destacando-se a metodologia utilizada que se baseou na análise dos fenômenos envolvidos, análise das variáveis de processo e mecanismo de formação. As análises metalográficas permitiram obter a causa básica para a origem do defeito. A caracterização adequada deste defeito, a partir de inspeção on line via “Parsytec” no laminador de tiras a quente, permitiu a CST implantar ações de controle de qualidade e de processo na Aciaria que garantissem baixos níveis de ocorrência do defeito, promovendo uma melhoria de qualidade do produto, redução de custo e como consequência a satisfação dos seus clientes.

**Palavras-chave:** Esfoliação; Lingotamento contínuo; Bobina a quente.

## SLIVER CHARACTERIZATION AT CST HOT-ROLLER PRODUCT

### Abstract

Since the start up of its new hot strip mill in August 2002, CST has started to provide a new line of product with more added value, hot coils. For that reason, it was necessary to begin a series of actions aiming the identification and characterization of the main defects that may occur in hot coils. This study was focused on Sliver, which is the main responsible defect for coils downgrading. This paper will present the steps that were taken in order to characterize slivers. The method applied for the characterization was based on the analysis of behavior, process variables, and forming mechanism. With the metallographic analysis, it was possible to identify the main cause of slivers. The characterization of this defect has been CST on development and implantation of quality and process control actions searching for guarantee low levels of defect occurrence, costs reduction and as a result, customer satisfaction.

**Key words:** Sliver; Continuous casting; Hot coil

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no XXXVII Seminário de Aciaria - Internacional, 21 a 24 de maio de 2006, Porto Alegre, RS

<sup>2</sup> Msc. Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Especialista de Controle Integrado de Produtos da CST, Vitória, ES, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Especialista de Controle Integrado de Produtos da CST, Vitória, ES, Brasil.

<sup>4</sup> Msc. Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Especialista de Desenvolvimento de Produtos da CST, Vitória, ES, Brasil.

<sup>5</sup> Engenheiro Metalurgista, Membro da ABM, Especialista de Lingotamento Contínuo da Divisão de Controle Técnico da Aciaria da CST, Vitória, ES, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao iniciar a operação do laminador de tiras a quente em agosto de 2002, a CST passou a fornecer um novo produto com maior valor agregado e com exigência de qualidade superficial mais rigorosa, permitindo um feedback mais ágil em relação ao produto placa. Surge então um novo desafio, caracterizar os defeitos que ocorrem nas bobinas a quente visando garantir a qualidade com baixo custo e satisfação dos clientes.

Um dos defeitos mais comuns e muito nocivos à aplicação final do produto é conhecido como Esfoliação ou “Sliver”. Este defeito pode ser de natureza química, atribuída ao processo de produção do aço na Aciaria, ou mecânica, atribuída ao processo de condicionamento da placa ou ao processo de laminação. Com relação à origem química podem ser atribuídas três diferentes causas ao processo de Aciaria<sup>(1)</sup>:

- arraste de pó fluxante durante o processo de lingotamento contínuo. Neste caso, é observada a presença dos elementos químicos Na, K, Ca, Si, Al e/ou F, típicos das composições químicas dos pós fluxantes utilizados atualmente;
- arraste de escória do distribuidor ou panela. Observa-se a presença de Ca, Al, Mg, Si, Cr, Ti, Mn e/ou Zr;
- produtos originários da oxidação do aço tais como Al e Mn em aços baixo carbono ou Al, Ti, Mn e Si em aços ultrabaixo carbono ao titânio.

Com relação à origem mecânica, a esfoliação pode originar-se devido à falha ou à escarfigem irregular na superfície da placa durante o processo de condicionamento. Neste caso, formam-se cristas na superfície da placa que durante a laminação provocam sobreposições de material na superfície do laminado sendo, na maioria das vezes, observado a presença de óxido de ferro subsuperficial. Outro modo de ocorrer esfoliação mecânica se dá pela presença de carepa, arranhão ou incrustações nos cilindros de laminação, que marcam a superfície do laminado. Observa-se também a presença de óxidos de ferro na superfície e não na subsuperfície, quando analisada amostra da seção transversal do defeito.

Um fator importante na caracterização do defeito é conhecer os compostos presentes nos principais insumos utilizados ou gerados no processo de lingotamento contínuo, tais como: pó fluxante, escória sintética de distribuidor, escória de panela de aço e inclusões não metálicas. A Tabela 1 apresenta os teores dos compostos presentes nos principais materiais.

**Tabela 1.** Compostos presentes no pó fluxante, na escória de panela e no material de cobertura de distribuidor em peso percentual.

Composto	Pó Fluxante	Material de Cobertura de Distribuidor	Escória de Panela Aço IF	Carepa
SiO <sub>2</sub>	28 ~ 42%	2,0 ~ 10,0	3,0 ~ 10,0%	-
CaO	28 ~ 40%	50,0 ~ 70,0	35,0 ~ 45,0%	-
MnO	0,1 ~ 0,3%	-	2,0 ~ 6,0%	-
MgO	0,6 ~ 0,9%	2,0 ~ 10,0	4,0 ~ 10,0%	-
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,5 ~ 6,0%	15,0 ~ 35,0	25,0 ~ 45,0%	-
Na <sub>2</sub> O	5,0 ~ 9,0%	-	-	-
K <sub>2</sub> O	0,5 ~ 1,0%	-	-	-
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0 ~ 1,5%	-	-	5 ~ 0%
FeO	-	-	10,0 ~ 15,0%	65 ~ 75%
F	5,0 ~ 10%	< 8,0	-	-
Cfree	1,0 ~ 2,5%	-	-	-
Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	-	-	-	20 ~ 30%

A partir da inspeção visual do defeito no produto laminado, observam-se riscos sempre paralelos à direção de laminação, aleatórios ao longo da largura e do comprimento da tira.<sup>(1)</sup> Sua coloração na maioria das vezes é escura podendo apresentar-se também com coloração esbranquiçada. Outra característica típica do defeito está relacionada à presença de lasca na superfície do laminado.<sup>(2)</sup>

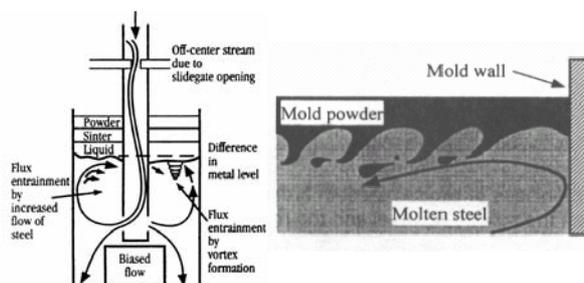
Com o objetivo de conhecer as possíveis causas, os fenômenos metalúrgicos, as variáveis de processo que devem ser controladas e as contramedidas para evitar sua ocorrência, foi elaborado um estudo detalhado para caracterizar este defeito. A metodologia utilizada partiu do pressuposto que conhecendo a origem do defeito pode-se identificar sua causa básica e, conseqüentemente, mantê-lo sob controle.<sup>(3)</sup>

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Mecanismo de Formação

Entender claramente o mecanismo de formação do defeito é fundamental para identificar as ações corretivas que devem ser empregadas no processo visando à melhoria contínua da qualidade do produto.<sup>(4)</sup>

Uma das principais origens do defeito está relacionada ao arraste de pó fluxante no molde durante o lingotamento contínuo. Durante este processo pode ocorrer fluxo assimétrico de aço na saída da válvula submersa, principalmente quando se utiliza válvula gaveta como controlador de fluxo entre distribuidor e molde. O encontro de fluxos de alta velocidade com fluxos de baixa velocidade pode provocar o aparecimento de vórtex, como conseqüência, a penetração de pó fluxante para o interior do aço líquido. Além disso, o surgimento de fluxo reverso no menisco provoca o aprisionamento de pó fluxante na placa em lingotamento. A Figura 1 ilustra os mecanismos de aprisionamento de pó fluxante discutidos.



**Figura 1.** Desenho esquemático do arraste de pó fluxante no molde<sup>(1)</sup>.

Outra forma de ocorrência do defeito esfoliação seria a passagem de escória da panela para o distribuidor e deste para o molde. Para evitar esta ocorrência, tem-se utilizado sistema de detecção de passagem de escória na válvula longa<sup>(5)</sup> ou até mesmo na válvula submersa. Todas as panelas de aço da CST possuem o sistema de detecção de escória conhecido como AMEPA,<sup>(6)</sup> o que permite minimizar a passagem de escória da panela para o distribuidor. Além disso, deve-se evitar diminuir o volume de aço no distribuidor durante as trocas de panelas, uma vez que, o tempo médio de residência do aço no distribuidor diminui, possibilitando que as inclusões não metálicas sejam arrastadas para o molde. Visando a minimizar estes efeitos, tem-se procurado desenvolver dispositivos conhecidos como inibidores de turbulência.<sup>(7)</sup>

Visando a melhorar a limpeza do aço no distribuidor, têm sido utilizadas escórias sintéticas especiais como materiais de cobertura de distribuidor, substituindo a já tradicional palha de arroz. Este material possui uma viscosidade mais elevada, permitindo uma absorção mais eficaz de inclusão, além de um isolamento mais eficiente do aço do contato com o ar, evitando sua reoxidação. Para controlar e evitar o arraste deste material para o molde, os mesmos procedimentos adotados para a escória de panela devem ser utilizados. É claro que um projeto de distribuidor adequado contribuirá para favorecer a flutuação de inclusões, resultando em um aço mais limpo e, conseqüentemente com menor propensão à ocorrência de esfoliação.<sup>(4)</sup>

## 2.2 Análise das Variáveis de Processo

Para auxiliar a análise das variáveis de processo que apresentam relação direta ou indireta com a formação do defeito elaborou-se um diagrama causa e efeito,<sup>(8)</sup> através de "Brainstorming", onde se procurou listar todas as causas possíveis.

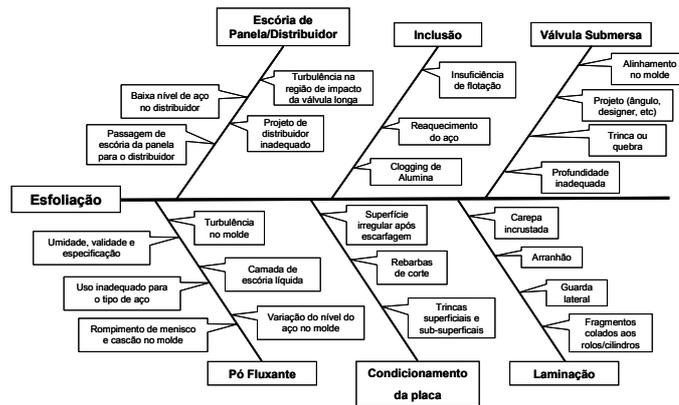


Figura 2. Diagrama causa e efeito para o defeito Esfoliação.

### 2.3 Procedimento Experimental

Para que a caracterização do defeito fosse representativa, foram acompanhadas diferentes bobinas laminadas a quente e retiradas amostras onde o defeito se apresentava em diferentes intensidades e forma. Para auxiliar nesta escolha foi utilizado o Parsytec, sistema de inspeção automática de superfície existente no laminador de tiras a quente da CST, que captura imagens da superfície da tira laminada,<sup>(9)</sup> correlaciona com as imagens dos defeitos armazenadas no seu banco de dados e atribui uma classificação ao defeito detectado. A Figura 3 mostra duas fotografias, uma registrada pelo Parsytec e outra obtida na linha de inspeção final da bobina a quente, identificando a ocorrência de esfoliação.

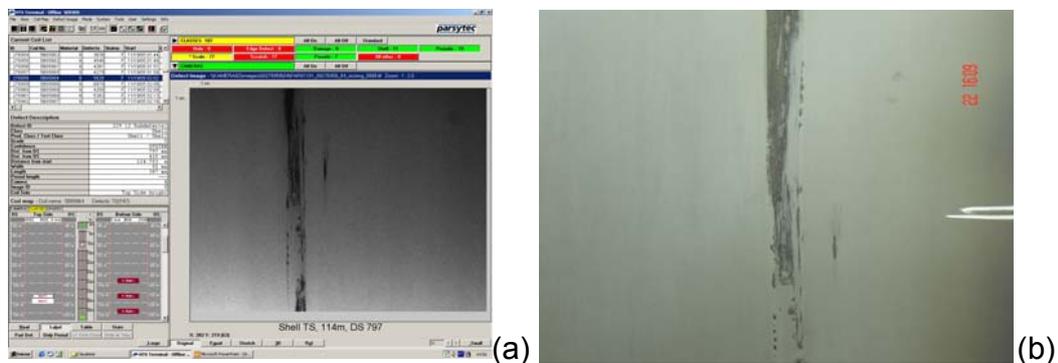


Figura 3. Fotografia apresentando: (a) defeito esfoliação registrado pelo "Parsytec" e (b) defeito esfoliação real na bobina a quente.

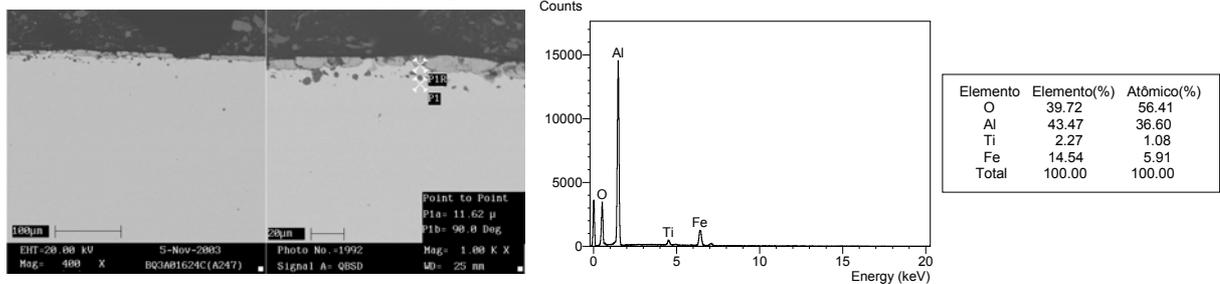
As bobinas que apresentaram ocorrência de esfoliação, identificadas pelo Parsytec, foram então direcionadas para as linhas de acabamento para retirada de amostra. Foram selecionadas 200 amostras para análise, onde se realizou a caracterização via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) com análises semiquantitativas, utilizando detector de Raios-X (EDS).

Depois de obtidos os resultados semiquantitativos indicados pelo MEV-EDS realizaram-se comparações com os valores referenciais apresentados na Tabela 1 com o objetivo de atribuir uma causa básica, ou melhor, uma origem, a cada uma das amostras de defeito analisadas.

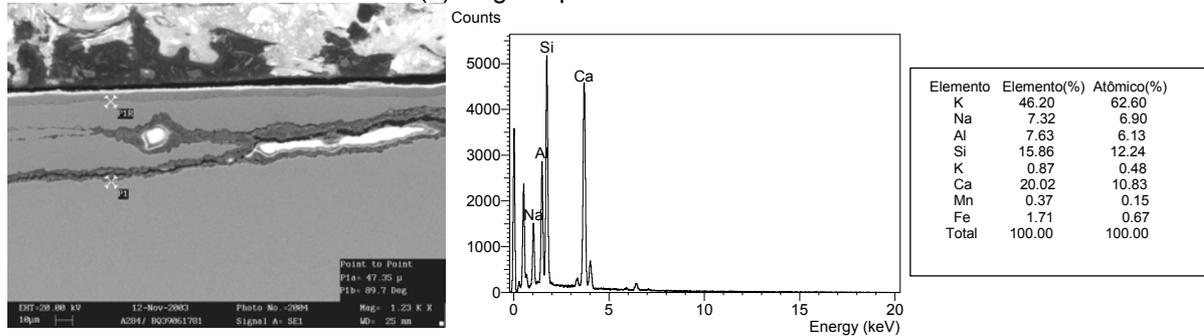
### 3 RESULTADOS

Durante a etapa de análise no laboratório de Metalurgia Física, realizou-se a preparação e análises das amostras na seção transversal ao defeito, bem como na superfície do defeito. A Figura 4 mostra os resultados obtidos após as análises via MEV-EDS.

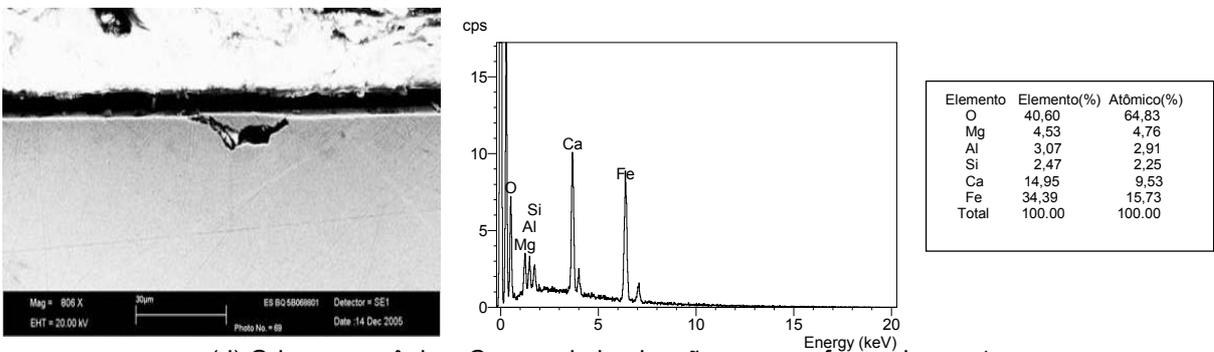
(a) Origem química: Inclusão de Alumina



(b) Origem química: Pó Fluxante



(c) Origem química: Escória de Distribuidor / Painel



(d) Origem mecânica: Carepa de laminação ou escarfagem incorreta

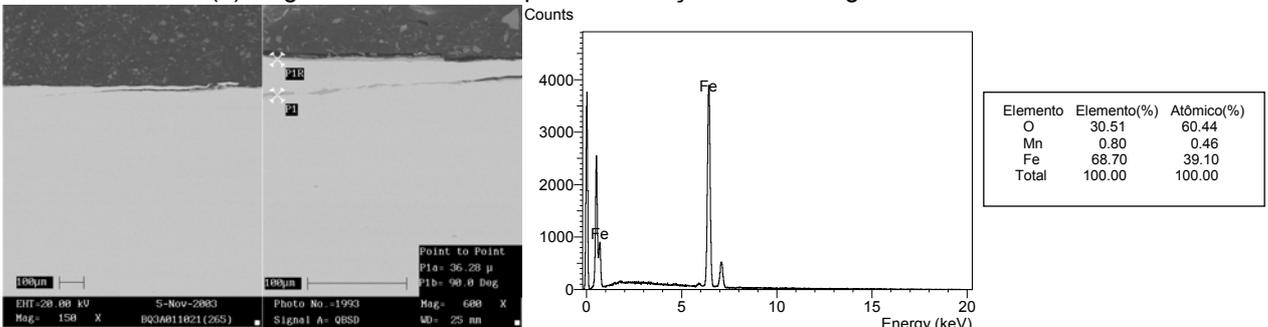
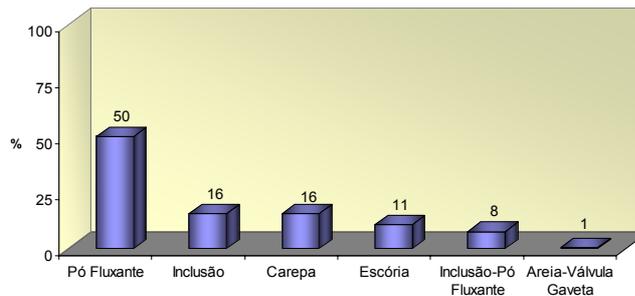


Figura 4. Fotografia da seção transversal do defeito analisada no MEV.

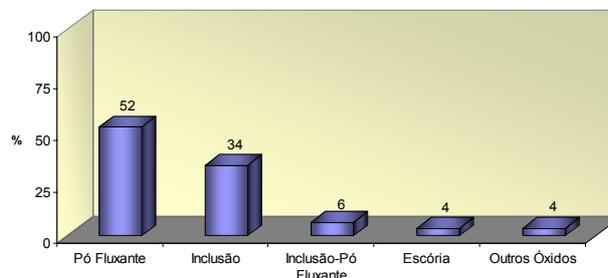
Os resultados encontrados durante a caracterização das amostras enviadas ao laboratório de metalurgia física indicaram que a maioria dos defeitos está relacionada à presença de pó fluxante. Foi observada a presença de compostos característicos deste material, especialmente sódio(Na) e potássio(K), além de um percentual similar de cálcio e silício. A Figura 5 mostra os resultados obtidos após caracterização das 200 amostras analisadas no MEV-EDS.



**Figura 5.** Resultados da caracterização das amostras de bobinas a quente.

Verificou-se também a ocorrência de defeitos de origem mecânica devido à presença exclusiva de óxido de ferro no MEV-EDS, carepa, em aproximadamente 16% das amostras. Já a presença de escória de panela ou de distribuidor pôde ser atribuída à presença de elevado teor de cálcio(Ca) juntamente com magnésio(Mg), uma vez que pó fluxante e carepa não possuem este constituinte nesta proporção.

Finalizada a etapa de caracterização do defeito em bobinas a quente, foram analisados os resultados de bobinas processadas na CST e laminadas a frio e galvanizadas em diversos clientes. A figura 6 apresenta esses resultados.



**Figura 6.** Resultado da caracterização das amostras de bobinas a frio e galvanizadas.

Pode-se observar que os resultados de caracterização em bobinas laminadas a frio e galvanizadas apresentaram a mesma distribuição de origem do defeito quando se compara com os resultados de caracterização em bobinas a quente.

Posteriormente, foi elaborado plano de ação visando reduzir as ocorrências de desclassificação de bobinas laminadas a quente por esfoliação na CST. Dentre as ações implantadas e em estudo, pode-se destacar:

- ajuste nas especificações dos pós fluxantes utilizados para aços ultra baixo carbono e baixo carbono;
- assistência técnica e correções no controlador de nível do molde;
- implantado purga do distribuidor com utilização de Argônio;

- estudo para redução de obstrução por alumina, “clogging”, em válvula submersa;
- estudo para utilização de inibidor de turbulência no distribuidor;
- estudo para avaliação da injeção de argônio no distribuidor;
- reavaliação do projeto atual de válvula submersa.

Os resultados mais recentes das ocorrências de esfoliação em bobinas laminadas a quente na CST são apresentados na Figura 7. Pode-se perceber uma tendência de diminuição no índice de esfoliação a partir de outubro, resultado das ações implantadas.

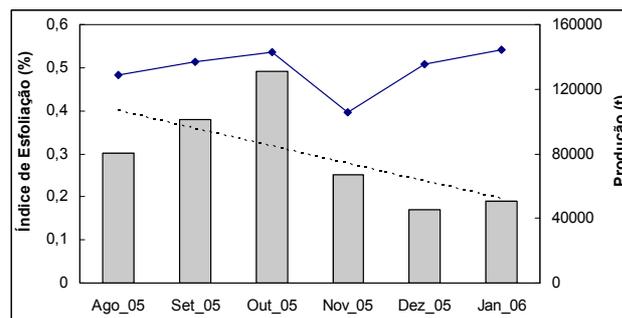


Figura 7. Resultado de ocorrência de esfoliação em bobinas a quente.

## 4 CONCLUSÃO

A metodologia adotada para a detecção do defeito esfoliação, por meio da utilização do Parsytec, permitiu adequadamente selecionar as bobinas a quente para sua caracterização. Os resultados mostraram que o principal motivo de geração de esfoliação em bobinas laminadas a quente, a frio e galvanizadas estão relacionados à presença de pó fluxante. Após a identificação da origem do defeito, foram implantadas algumas ações que resultaram na minimização da ocorrência do defeito.

## REFERÊNCIAS

- 1 Genzano, C. et al. Elimination of Surface Defects in Cold Rolled Extra Low Carbon Steel Sheet, 13<sup>th</sup> Steelmaking Seminar, pg. 727, San Nicolas, Argentina, 2001.
- 2 Taylor, J.L. Dicionário Metalúrgico, 2<sup>a</sup> Edição, ABM, Brasil, 2000.
- 3 Campos, V.F. Controle da Qualidade Total, Fundação Christiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais, 1992.
- 4 Cardoso, G.I.S.L. et al. Caracterização da Qualidade de Placas do Lingotamento Contínuo na Companhia Siderúrgica de Tubarão – Anais do 51<sup>o</sup> Congresso Anual da ABM, Porto Alegre, RS, Agosto, 1996.
- 5 KITAMURA, M. et al. Improvement of Surface Quality of Continuously Cast Slab for Conditioning-free Rolling, Transaction ISIJ, vol.24, Japan, 1984.
- 6 Nascimento, A.D. et al. Implantação do Detector de Escória nas Painéis de Aço e os Resultados Industriais na Companhia Siderúrgica Tubarão, Anais do 33<sup>o</sup> Seminário de Fusão, Refino e Solidificação da ABM, São Paulo, SP, Maio, 2002.

- 7 Di Gresia, G. et al. Cinco años de Experiência cõn Piezas Antiturbulencia en Los Repartidores de Siderar, 13<sup>th</sup> Steelmaking Seminar, pg. 727, San Nicolas, Argentina, 2001.
- 8 ISHIKAWA, K. Introduction to Quality Control, 3<sup>a</sup> Corporation, Tokyo, Japan, 1990.
- 9 Pinto. C.A. Sistema de Detecção e Classificação Automática de Defeitos de Superfície de Tiras do LTQ da CST – Anais do 41<sup>o</sup> Seminário de Laminação da ABM, Joinville, SC, Brasil, Outubro, 2004.