

# CARACTERIZAÇÃO DO DEFEITO DE SUJEIRA SUPERFICIAL (0SUJ) EM CHAPAS METÁLICAS DE AÇO - PLTCM \*

Glaudístoni da Silva Félix<sup>1</sup>  
Marcelo Martins<sup>2</sup>  
Glaucio Polini<sup>3</sup>  
Leonardo Souza de Melo<sup>4</sup>  
Eder Adolfo Serafim<sup>5</sup>  
Paulo Roberto Rampellott<sup>6</sup>  
Bruno Knepel Neto<sup>7</sup>

## Resumo

Este artigo é direcionado aos processos de decapagem química e laminação a frio (PLTCM) o qual tem como objetivo principal caracterizar e classificar o defeito de sujeira superficial (0SUJ) no equipamento rolo virador, através de métodos qualitativos e quantitativos. Desta forma entendem-se como defeitos superficiais todas as imperfeições que podem estar presentes na superfície da chapa metálica de aço, no entanto como o foco deste experimento é 0SUJ, será restrito aos principais pontos geradores nas seções do processo estudado, ou seja, presença de partículas aglomerada e aderida a superfície da tira, resultante da impressão da mesma durante a laminação.

**Palavras-chave:** Caracterização de defeito, *PL Dirty*, Sujeira superficial chapa metálica de aço.

## CHARACTERIZATION OF THE DEFECT OF SURFACE DIRT (0SUJ) ON METAL STEEL SHEETS - PLTCM

### Abstract

This paper is aimed at the chemical stripping and cold rolling (PLTCM) processes, whose main objective is to characterize and classify the surface dirt defect (0SUJ) in the roller equipment by means of qualitative and quantitative methods. In this way, all the imperfections that may be present on the surface of the steel sheet are understood as surface defects. In this way, all the imperfections that may be present on the surface of the steel sheet are understood as surface defects. However, as the focus of this experiment is 0SUJ, it will be restricted to the main generating points in the sections of the studied process, that is, presence of particles agglomerated and adhered to the surface of the strip, resulting from printing the of during rolling.

**Keywords:** Defect Characterization; Dirty PL; Dirt Surface Metal Sheet Steel.

- <sup>1</sup> Mestre em Engenharia de Processo, Especialista de Processo e Produção, Departamento de Produção PLTCM (CRM), BAF and SPM, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.
- <sup>2</sup> Mestre em Engenharia de Materiais, Especialista de Processo e Produção, Departamento de Produção PLTCM (CRM), BAF and SPM, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.
- <sup>3</sup> Engenheiro Mecânico, Especialista de Processo e Produção, Departamento de Produção PLTCM (CRM), BAF and SPM, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.
- <sup>4</sup> Técnico Mecânico, Técnico de Processo, Departamento de Produção PLTCM (CRM), BAF and SPM, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.
- <sup>5</sup> Engenheiro Químico, Especialista de Laboratório, Departamento de Metalurgia, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.
- <sup>6</sup> Técnico Químico, Técnico Químico, Departamento de Metalurgia, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.
- <sup>7</sup> Técnico Metalúrgico, Técnico em Pesquisa e Desenvolvimento, Global R&D-Brazil, ArcelorMittal Vega, São Francisco do Sul, Santa Catarina, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

Com aumento da complexidade das cadeias e das redes de produção, associada à evolução dos padrões de consumo da sociedade mundial, observa-se ao longo das últimas décadas uma profunda alteração na fabricação de produtos manufaturados, dando espaço para o surgimento de novas ideias e melhorias nos processos industriais para redução de custos e não qualidade, visto aqui o defeito superficial (OSUJ) que se assemelha a outro defeito superficial carepa (TQCA), conforme mostrado na figura 1. No setor da indústria, em virtude do atendimento aos desafios requeridos para um menor custo de produção e objetivando altos índices de eficiência na crescente competitividade do mercado, faz-se necessário melhorar continuamente o processo de Decapagem acoplada ao Laminador de Tiras a Frio (PLTCM).

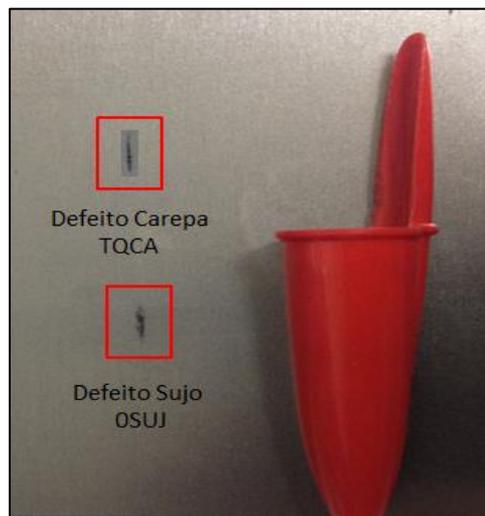


Figura 1. Ilustração dos defeitos Sujo e Carepa (PLTCM).<sup>(8)</sup>

### 1.1 Definição do defeito Carepa (TQCA).

A carepa, produto da oxidação contém três camadas chamadas de Wustita, Magnetita e Hematita mostradas na figura 2, onde estas camadas de óxidos ocorrem na superfície dos metais durante um processo de fabricação a quente e através de uma reação com o meio externo e a espessura dessa carepa normalmente não ultrapassa a 10µm (LEITE, 2008).

Hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0,5 a 2%
Magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )	5 a 10%
Wustita ( $\text{FeO}$ )	85 a 95%
Aço	

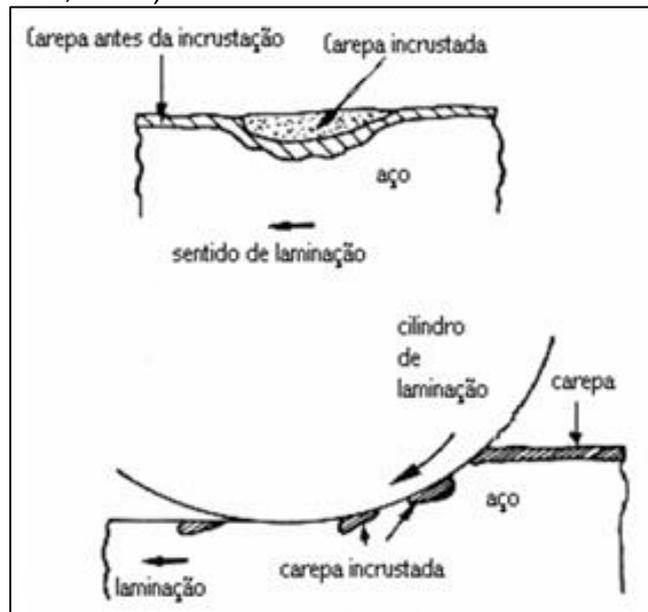
Figura 2. Formação de carepa (PLTCM).<sup>(8)</sup>

A formação da carepa pode ser separada em quatro fases distintas, sendo:

- ✓ Primária: Carepa formada dentro do forno de reaquecimento de placas.
- ✓ Secundária: Carepa formada durante a laminação de desbaste e após a remoção da carepa primária.
- ✓ Terciária: Carepa formada durante a laminação de acabamento e após a remoção da carepa secundária.
- ✓ Quaternária ou óxido: O óxido final formado é uma combinação da carepa terciária remanescente, e uma carepa adicional que ocorre nas mesas após a laminação de acabamento e durante o resfriamento da bobina Bérnard (1964)

Há uma forte dependência da temperatura de bobinamento « TB », acabamento « TA », taxa de resfriamento, meio ambiente, tipo de aço para formação e espessura da carepa e sua respectiva cinética de crescimento em volume específico, Chen et al. (2000), Gonçalves et al. (1985) e Delwig et al. (1994).

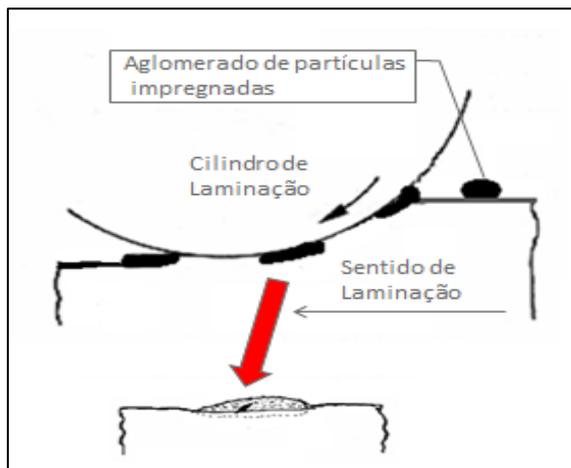
A carepa incrustada pode ser definida como marcas superficiais nas bobinas, resultante da impressão da carepa durante a laminação. Tem frequência e localização aleatória e caracteriza-se como uma depressão com óxidos em seu interior sendo desenhado seu mecanismo de geração pela figura 3. Às vezes a carepa aderida à tira pode ser transferida aos cilindros de laminação, principalmente os cilindros de desbaste, sendo assim, aderindo na superfície das tiras laminadas posteriormente (ROSSI, 2000).



**Figura 3.** Mecanismos possíveis da formação de incrustações na laminação a quente. <sup>(7)</sup>

### 1.2 Definição do defeito Sujeira na chapa metálica de aço (OSUJ).

O OSUJ se trata de toda incrustação, sempre alongada, no sentido de laminação e pode se apresentar com ou sem variação de intensidade, em forma de filetes, faixas, carimbos ou manchas, impressas mecanicamente na superfície da tira. Pela figura 4 descreve o mecanismo de incrustação de partículas aglomerada e aderida na superfície da capa metálica de aço se desprendendo de diversos pontos do processo estudado sendo ilustrado algumas destas partículas no quadro da mesma da figura 4.



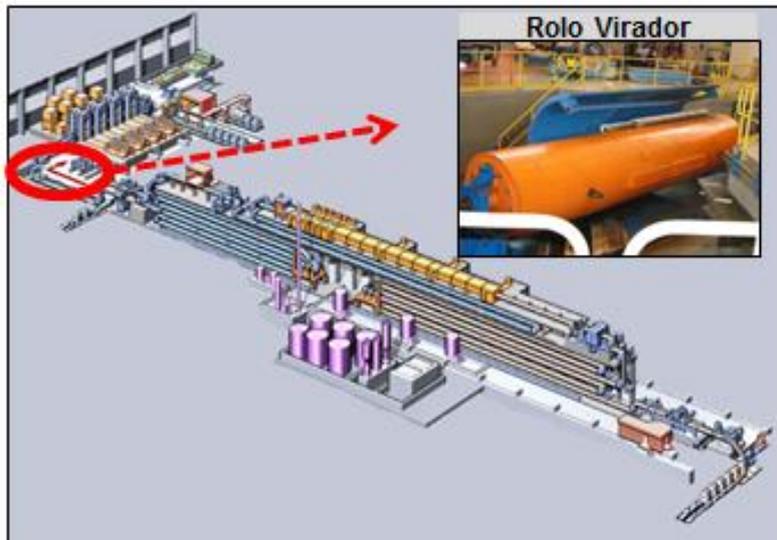
C.1 Revestimento de Rolos - PU	C.2 Borra de Emulsão do LAM	C.3 Particula do Secador DEC	C.4 Borra Tampa dos Tanques	C.5 Graxa Retirada na Capa BQ	C.6 Borracha Sistema Expansão Taques DEC
					
C.7 Revestimento de Rolos Secadores DEC	C.8 Borra Entrada do Tanque 1 DEC	C.9 Placa Desgaste Saida Secador DEC	C.10 Graxa Vermelha Mobilith SHC 460	C.11 Graxa Marrom Retinax LXZ Shell	C.12 Graxa Azul Polirex Shell
					

Figura 4. Materiais possíveis da formação de incrustação e materiais orgânicos. <sup>(8)</sup>

## 2 MATERIAIS E METODOS

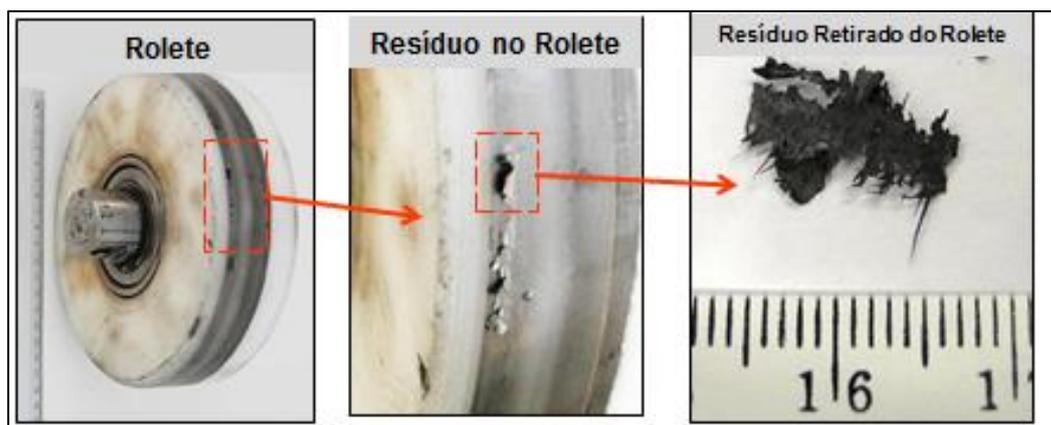
A ArcelorMittal Vega, localizada em São Francisco do Sul/SC, é uma das mais modernas unidades de transformação de aços planos do mundo, operando com avançados processos de decapagem, laminação a frio e galvanização. A empresa processa bobinas a quente fornecidas pela ArcelorMittal Tubarão, em Vitória/ES, que são transportadas por meio de um inovador sistema de barcaças oceânicas, conhecido por cabotagem.

Esta conta hoje com uma linha de decapagem sendo ilustrado na figura 5, onde as bobinas de aço são desenroladas e soldadas umas as outras (união de ponta e cauda a bobina) por um processo de sola a laser, após é direcionada para os tanques de decapagem, processo químico que utiliza ácido clorídrico no processo de limpeza contínuo da chapa, para eliminação da carepa (resquícios de ferro provenientes da laminação a quente). Após este banho químico, a chapa passa pela seção de tesoura de bordas onde as laterais da tira são aparadas para largura desejada pelo cliente. Posteriormente a tira é direcionada através de um equipamento rolo virador para o laminador de tiras a frio, processo que possui quatro cadeiras que através de tensão e pressão sobre a tira faz o alongamento e redução da espessura da mesma, podendo transformar materiais com espessura de entrada 1,8mm em 0,37mm que é a mínima espessura atingida hoje pelo equipamento, porém o máximo de entrada é 4,8mm.



**Figure 5.** Rolo Virador da linha de decapagem acoplado ao laminador a frio (PLTCM).<sup>(8)</sup>

Os roletes mostrados na figura 6, são pequenos rolos que permite o direcionamento da chapa metálica de aço para o processo de laminação, sua composição é de Nylon, sendo destes removidos as partículas para este estudo.



**Figure 6.** Rolete do Rolo Virador com partículas do defeito OSUJ.<sup>(8)</sup>

As partículas removidas da superfície do rolete foram separadas em três amostras conforme ilustrado na figura 7, ponto central de estudo deste artigo, sendo submetidas aos seguintes testes:

- ✓ Teste Magnético;
- ✓ Teste de Chama;
- ✓ Separação de Partículas;
- ✓ Análise Química ICP;
- ✓ MEV/EDS;
- ✓ DRX, Infrared, DSC e GDOES.

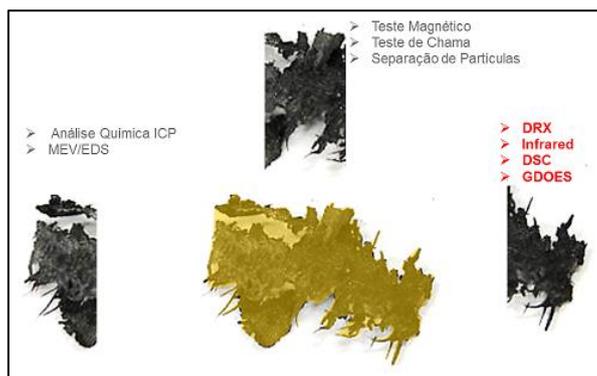


Figure 7. Métodos de caracterização do resíduo retirado do rolete. <sup>(8)</sup>

O equipamento MEV/EDS, fabricante Jeol (modelo: 6360) utilizado para aplicação do método conforme fotográfica ilustrada na figura 8.



Figure 8. Equipamento MEV, fabricante Jeol – modelo 6360. <sup>(8)</sup>

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Composição Química

Feito análise de composição química via ICP e EDS sendo descrito na tabela 1, visto que, o resíduo contém predominantemente ferro (Fe) representando 44,20% e Carbono Total (C<sub>total</sub>) com 35,00% e 2,68% de Titânio (Ti), sendo estes os principais componentes de geração do defeito estudado.

Elemento	Fe	C <sub>Total</sub>	Ti	Si	Ni	P	Al	Mn	Cr	S	Cu	Mo	Na	Mg	Ca	O
Resíduo no Rolete dez/2017 (%)	44,2	35	2,68	1,7	0,73	0,5	0,41	0,39	0,28	0,28	0,28	0,15	0,08	0,04	0,03	13,25

Tabela 1. Composição Química. <sup>(8)</sup>

### 3.2 Caracterização dos compósitos orgânicos

Observa-se que os espectros de FTIR para o nylon (rolete) na forma em pó ou bulk (literatura) não apresentam diferenças nas bandas de vibração ilustrado na figura 9. As vibrações típicas do Nylon estão de acordo com a referência (bulk). A linha vermelha refere-se ao espectro de FTIR do nylon degradado a 400 °C, apresentando apenas as vibrações CH<sub>2</sub> do polímero resultante, carbonizado.

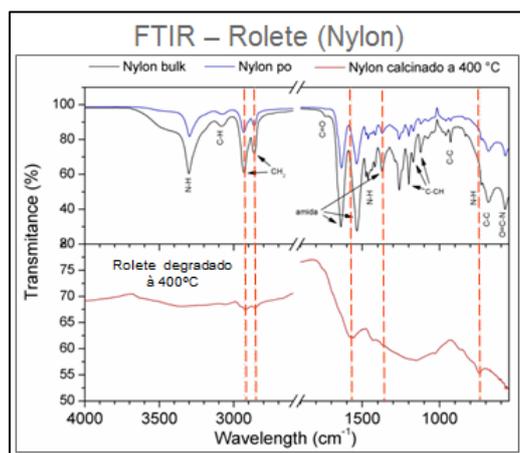


Figure 9. FTIR do Rolete - Nylon. (8)

Pelo espectro de FTIR do resíduo no rolete mostrado na figura 10, o qual apresenta as bandas características do CH<sub>2</sub> (~2900 cm<sup>-1</sup>) e das amidas (provenientes do nylon) observa-se que as bandas que aparecem no resíduo no rolete são as mesmas que aparecem no rolete após degradação, juntamente com as bandas relativas às ligações envolvendo Nitrogênio, do nylon antes da degradação.

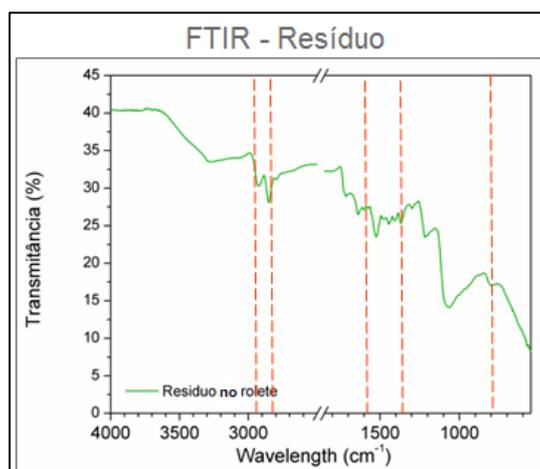


Figure 10. FTIR do Rolete - Nylon. (8)

### 3.3 Caracterização dos compósitos inorgânicos

O gráfico ilustrado na figura 11 apresenta o resultado da análise de difração de raios-X do resíduo no rolete. Verifica-se a presença das fases α-Fe, do óxido de ferro Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> e da cementita (Fe<sub>3</sub>C), provavelmente, oriundo da superfície da chapa após decapagem.

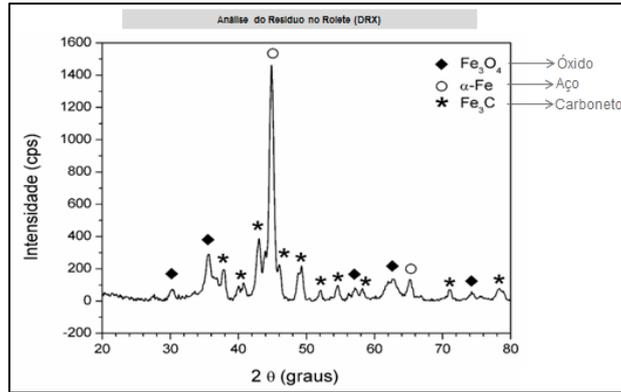


Figure 11. Análise do resíduo no rolete (DRX).<sup>(8)</sup>

Os gráficos ilustrados na figura 12 apresentam a influência do tempo de decapagem em relação à quantidade de resíduo formado na BQD oriundo do processo de decapagem em laboratório.

Observa-se nestes gráficos que, quanto maior o tempo de decapagem maior será a quantidade de resíduo formado sobre a chapa. Isto é comprovado pelo perfil de concentração de Carbono (C) e Titânio (Ti) observados via análises GDOES, bem como, evidenciado pela profundidade do resíduo formado demonstrado no gráfico.

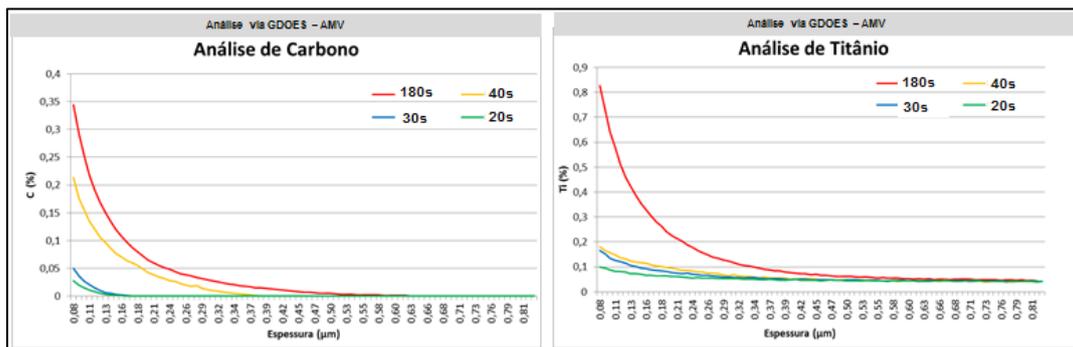


Figure 12. Perfil de Quantidade de resíduo formado em função do Tempo de Decapagem (GDOES).<sup>(8)</sup>

A morfologia vista na figura 13 sugere a presença de partículas não aderentes e uniformes na superfície da amostra decapada, com morfologia apresentando como característica principal a presença de carboneto de titânio, isto pode ser comprovado através da análise por MEV.

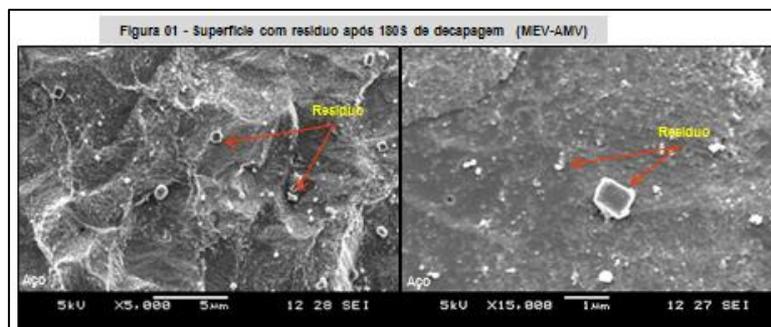


Figure 13. Fotografia da superfície com resíduo via MEV.<sup>(8)</sup>

Na amostra onde foi efetuada limpeza após decapagem verifica-se a presença de “crateras” com aspecto semelhante aos precipitados verificados na amostra com resíduo na superfície mostrados na figura 14, isto pode ser comprovado através da análise por MEV em concordância com a análise de EDS. Observa-se também uma morfologia de aspecto oriundo de uma corrosão por superdecapagem.

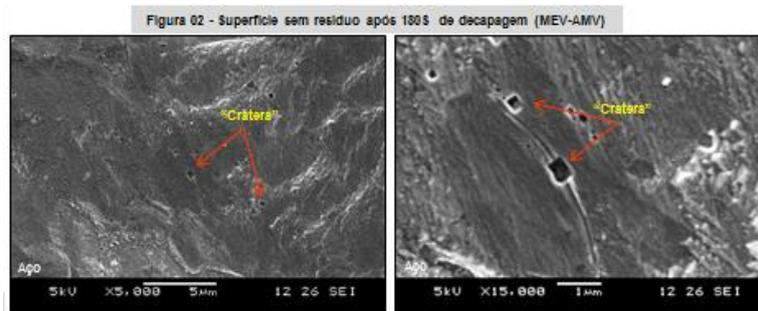


Figure 14. Fotografia da superfície sem resíduo via MEV. <sup>(8)</sup>

Pelo resultado da análise de EDS realizado no resíduo e na cratera em % de massa os elementos químicos enxofre (S) e o titânio (Ti) não são vistos na região aqui denominada como cratera conforme registrado na figura 15.

Resultado da análise de EDS realizado no resíduo e na cratera, (% em massa) (EDS)

Identificação	C (%)	S (%)	Ti (%)	Fe (%)
Resíduo	17,49	3,23	18,19	61,09
“Cratera”	14,02	-	-	85,98

Figure 15. Análise de EDS no resíduo e cratera. <sup>(8)</sup>

### 3.3 Formação do OSUJ sobre a chapa metálica de aço

A formação do OSUJ ocorre através de um processo de dissolução seletiva proporcionada pela solução decapante na chapa sendo representado pelas duas imagens da figura 16, decorrente do processo de decapagem, e esta se agrava quando a chapa é submetida a um tempo de decapagem maior, bem como, quando há uma deficiência inibitiva na solução decapante.

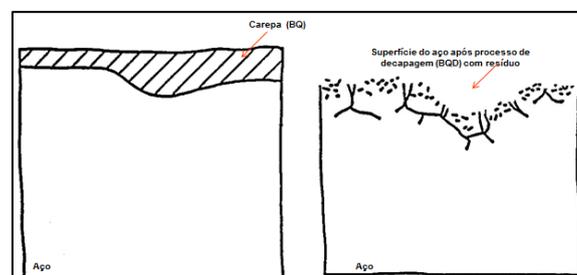


Figure 16. Ilustração da superfície da chapa metálica de aço. <sup>(8)</sup>

Podendo assim, ser esquematizado o mecanismo de geração do resíduo na superfície do rolete e seu desprendimento na chapa metálica de aço a posteriori, conforme ilustrados em três desenhos esquemáticos visualizados na figura 17.

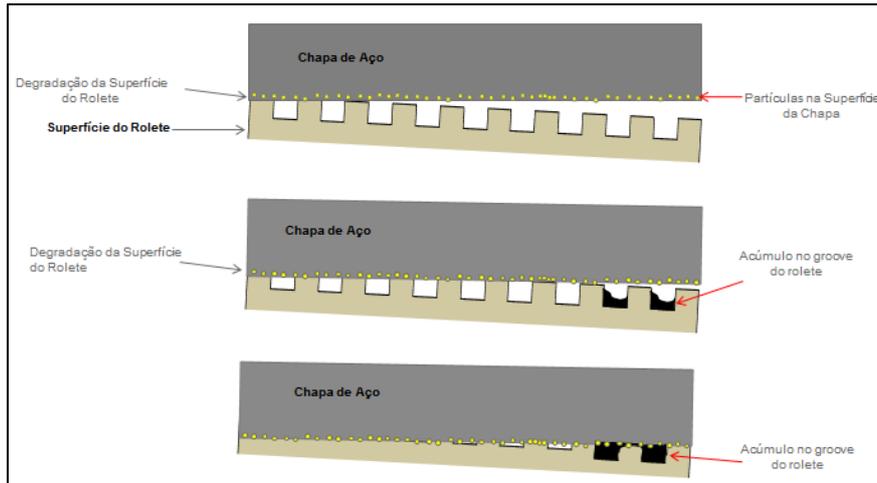


Figure 16. Esquema da geração do OSUJ. (8)

### 3.4 Fase Implementação

Com base nas análises realizadas no resíduo no rolete e chapas de aço, pode-se concluir que:

- ✓ O resíduo encontrado no rolete, responsável por gerar o defeito “OSUJ”, provém da degradação da superfície do rolete, somado ao acúmulo de partículas oriundas da superfície da chapa de aço após decapagem.
- ✓ A baixa eficiência de inibição favorece o fenômeno denominado como superdecapagem “remoção do metal base no processo de decapagem”; promovendo assim, maior geração de carbonetos (não dissolvidos no ácido), favorecendo a geração de resíduo no rolete e conseqüente desprendimento na chapa metálica de aço.

Sendo assim, foi implementado novos roletes tipo PU “composto de polipropileno” no rolo virador, trocado o inibidor e implementado limpezas periódicas nos roletes.

### Agradecimentos

Agradecemos a ArcelorMittal Vega: Sr. Marcelo Torturela, PLTCM, BAF and SPM Plant Manager, Sr. Christian Ferreira, Cold Rolled Operations Area Manager, Sr. Mauro Almeida, Gerente Gerência de Área de Operação de Decapagem e Laminação, Sr. Marcos Pimentel, Manager of Maintenance of Pickling and Lamination, Sr. José Eduardo Reis, Metallurgy Manager que acreditaram na idéia e disponibilizaram todos os recursos para implantação do projeto.

### REFERENCIA

- 1 BÉNARD, J. **Oxydation des Métaux**. Paris: Faculté des Sciences de Paris; 1964.
- 2 CHEN, R. Y.; YUEN, W. Y. D. **Effects of finishing and coiling temperatures on the scale structure and pickability of hot rolled strip**. Iron and Steelmaker. 2000; volume (27): 47-53.
- 3 DELWIG, F. W.; PEMPERA, F. G. **Pickling of strip using controlled turbulence**. Steel Technology International.1994: 220-224.

- 4 GONÇALVES, J. O.; MACHADO, G. O.; FERRAZ, A. J. **Avaliação das condições operacionais das soluções de decapagem.** Seminário de Laminação, ABM.1985; volume (1): 5-8.
- 5 LEITE, W. F. **Dissolução de óxidos formados a altas temperatura e a concentração da solução ácida na decapagem.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais). Belo Horizonte, 2008.
- 6 ROSSI, E. H., CASTRO, G. M., **Caracterização dos Defeitos Provenientes de Oxidação na Laminação a Quente dos Aços Carbono.** 2000; XXXVIII Seminário de Laminação, Processos e Produtos Laminados e Revestidos, ABM; volume (51): 387- 396.
- 7 ARCELORMITTAL VEGA, **Caracterização do defeito de sujeira superficial 0SUJ.** 2018; Relatório técnico SS-029-18.