

# DESENVOLVIMENTO DO PROCESSO DE PRODUTO EXTRA-LIMPO COM DIMENSÕES CRÍTICAS<sup>1</sup>

*Francisco Gomes de Melo<sup>2</sup>*  
*José Valdir Amorim Dantas<sup>3</sup>*  
*Karl Kristian Bagger<sup>4</sup>*  
*Lucio Rosa da Silva<sup>5</sup>*  
*Marcelo Magalhães Pereira<sup>6</sup>*

## Resumo

No mix de produtos laminados a frio da COSIPA, encontram-se materiais com alta performance de limpeza, denominados "Extra-Limpo". Estes produtos possuem características de alta refletância, com baixos níveis de carbono residual e ferro sobre a chapa. Como consequência da tendência mundial por melhoria da qualidade, ocorreu um forte aumento na demanda por produtos com exigências de maior limpeza superficial, requisitados por uma ampla gama de clientes, das mais variadas aplicações. Inicialmente produzidas com espessuras entre 0,60mm a 0,80mm e largas até 1250mm, passou-se a demandar espessuras mais finas, chegando a 0,38mm e largas desde 800 mm a 1580 mm. Visando atender a estas exigências do mercado, foi necessário efetuar desenvolvimentos e ajustes nos parâmetros de processo para atender esta qualidade em dimensões críticas. Foi utilizado o método matricial objetivando melhorar a performance do processo, reduzir o índice de desvios e aumentar a capacidade de produção no Laminador de Tiras a Frio e Recozimento, de modo a garantir a limpeza superficial requerida pela especificação Extra-Limpo para essas dimensões.

**Palavras-chave:** Refletância; Sistemas de refrigeração; Limpeza superficial.

## PROCESS DEVELOPMENT OF EXTRA-CLEAN COLD STRIP WITH CRITICAL DIMENSIONS

### Abstracts

Within Cosipa cold rolled product mix it has been processed materials with high cleanliness performance called *extra-clean* materials. These products exhibit high reflectance features, achieving low level of residual carbon and iron on the strip surface. Following a global trending towards quality, it was observed a strong marked demand for products with high surface cleanliness, required by a large range of costumers, from the most varied application. Firstly manufactured with thickness between 0.60 mm and 0.80 mm and width until 1250 mm, they are now demanded thickness as thinner as 0.38 mm and width ranging from 800 mm to 1580 mm. Aiming to supply these materials to the new pressing customer, it was necessary to make new developments and to adjust procedures in order to assure the best quality to the critical dimensions. It was implemented a matrix method aiming to improve the process performance, to increase the yield level and process capability of the tandem cold mill and annealing lines, in order to guarantee the high strip cleanliness required by the *extra-clean* specification to this broad product spectrum.

**Key words:** Reflectance; Roll coolant systems; Surface cleanliness.

<sup>1</sup> Trabalho apresentado no 43º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM, a ser realizado de 17 a 20 de outubro de 2006, em Curitiba - PR

<sup>2</sup> Técnico em Metalurgia, Assistente de Operação, Laminação a Frio, Cosipa.

<sup>3</sup> Técnico em Metalurgia, Assistente de Operação, Laminação a Frio, Cosipa.

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista, Gerente do Suporte Técnico, Laminação a Frio, Cosipa..

<sup>5</sup> Engenheiro Químico, Assistente de Operação, Laminação a Frio, Cosipa..

<sup>6</sup> Engenheiro Metalurgista, Gerente da Laminação a Frio, Cosipa.

## 1 INTRODUÇÃO

O produto cuja denominação é superfície “extra-limpa” é caracterizada por um teor de carbono residual inferior a  $4,0 \text{ mg/m}^2$  após o recozimento, por uma alta refletância (acima de 95%) e por um resíduo de ferro na superfície após o encruamento menor que  $40 \text{ mg/m}^2$ . O conjunto desses três fatores determina a aprovação do material para os clientes que exigem esse tipo de limpeza superficial.

Inicialmente o maior número de consumidores de produtos “Extra-Limpo” concentrava-se na indústria de embalagens e recipientes (tambores) e indústria automotiva.

Na maioria das indústrias siderúrgicas, esse tipo de produto é processado em uma linha de recozimento contínuo ou através de uma linha de limpeza eletrolítica anterior ao processo de recozimento em caixa.

Não possuindo uma linha de limpeza eletrolítica, a COSIPA desenvolveu e implantou uma série de procedimentos no processo de fabricação principalmente no laminador a frio e recozimento em caixa, com o objetivo de obter a limpeza superficial mínima requerida pelos clientes.

Na Cosipa, esse tipo de material é produzido no laminador a frio através da utilização de um sistema de refrigeração controlada, especialmente desenvolvido para esse fim, utilizado na última cadeira do Laminador e recozimento em caixa a hidrogênio com alta convecção

Logo após o desenvolvimento desse processo, o mix de produtos consistia de materiais de largura estreita e espessura média específicas, direcionado para algumas aplicações.

Seguindo uma tendência mundial por melhoria da qualidade, ocorreu um aumento na demanda por produtos com exigências de maior limpeza superficial, requisitados por uma ampla gama de clientes, das mais variadas aplicações, com espessuras chegando a  $0,38 \text{ mm}$  e larguras desde  $800 \text{ mm}$  a  $1580 \text{ mm}$ .

Iniciou-se então um novo ciclo de desenvolvimento de materiais extra limpo com espessura inferiores a  $0,60 \text{ mm}$  e/ou largura superior a  $1300 \text{ mm}$ .

### 1.1 Controle dos Parâmetros de Processo

Durante a laminação a frio, utiliza-se uma emulsão contendo óleo e água, com o objetivo de reduzir o atrito entre os cilindros e a chapa e retirar o calor gerado pelo atrito e pela energia de deformação. Após a utilização desse óleo no laminador, o mesmo é coletado em tanques e enviado a um sistema de recirculação para filtragem física, com objetivo de reduzir os finos de ferro e contaminantes gerados durante o processo de conformação.

Em seu artigo Broekhof e Mueller<sup>(1)</sup> mencionam que na saída do laminador a frio, a superfície do material laminado carrega uma leve película de óleo de laminação, na ordem de  $\text{mg/m}^2$ , contendo partículas de finos de ferro oriundas do processo de deformação.

Posteriormente, durante o ciclo de recozimento, o óleo de laminação agregado a superfície metálica se decompõe termicamente, propiciando a formação de hidrocarbonetos gasosos.

Esses elementos se incorporam à atmosfera protetora do recozimento e sob determinadas condições se auto decompõem, depositando carbono amorfo na superfície metálica. A decomposição carbonosa acontece normalmente sobre toda a superfície do material, porém de forma quase imperceptível.

Ela assume, entretanto, o seu aspecto mais característico e a sua forma mais danosa quando o óleo não é totalmente destilado, podendo formar, dependendo da forma e do tipo do contaminante, e das condições de destilação, depósito de carbono ou refletância abaixo dos limites especificados.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Histórico de Limpeza Superficial

As melhorias e otimizações efetuadas no processo ao longo dos anos, possibilitaram um incremento nos indicadores de limpeza superficial do material laminado a frio. As especificações de limpeza de superfície da COSIPA estão subdivididas em três classes, de acordo com a Tabela 1:

Classe de Limpeza Superficial	Refletância Mínima	Sistema Refrigeração LTF cad.4	Recozimento utilizado	Refletância média obtida	Desvio Padrão
COMUM	Não exigida	C1	R1/R2 (HN)	85,4%	9,1
LIMPO 90	90%	C1	R5 (H <sub>2</sub> )	97,2%	3,9
EXTRA LIMPO	95%	C2	R5 (H <sub>2</sub> )	98,8%	2,5

### 2.2 Testes de Limpeza Superficial

De acordo com Richards,<sup>(2)</sup> alguns indicadores são utilizados para medição da limpeza superficial:

- Resíduo de carbono – quantidade de resíduo sobre a chapa, na forma de carbono amorfo, medida em mg/m<sup>2</sup>, após o recozimento.
- Ferro na chapa, – quantidade de resíduo sobre a chapa, na forma de ferro, medida em mg/m<sup>2</sup>, resultante do atrito gerado durante a laminação.

Esses indicadores possuem correlação direta com a refletância do produto. Refletância é caracterizada como a relação entre o fluxo luminoso refletido por uma superfície e aquele que incide sobre ela. É o principal indicador utilizado para medir a capacidade de limpeza superficial de um processo, e pode ser quantificada através de um teste simples e rápido.

COSIPA		CONTROLE DE LIMPEZA SUPERFICIAL INSPEÇÃO DE QUALIDADE		UNIDADE: C - IFA	DATA: 23/02/2006
ROLO: 92596	CLIENTE:			DIMENSÕES: 0,43X1250	SUP.: B
LIMPEZA DE SUPERFÍCIE: EXTRA LIMPO			DATA: / /	TURNO: U	
INICIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA:	100	%		
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA:	100	%		
INICIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA:		%		
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA:		%		

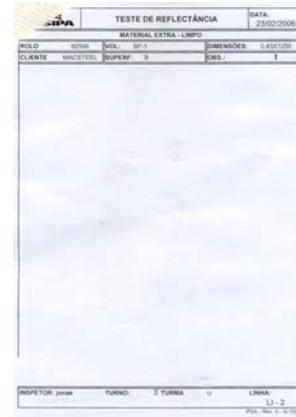
Figura 1. Teste de Refletância

O teste de refletância, também conhecido como “Scotch Tape Test”, utiliza padrões rastreáveis, além de instrumento apropriado para este fim.

Além da refletância, são efetuados testes com papel branco e gaze cirúrgica, sendo estes últimos extremamente rigorosos, como pode ser visto nas Figuras 2 e 3.



**Figura 2.** Teste com Gaze cirúrgica



**Figura 3.** Teste com Papel branco

Para materiais Extra-Limpo, após os testes, ambos, papel e gaze, devem apresentar ausência total de resíduos, indicando assim um teor de resíduo de carbono e ferro residual bastante baixo. Resultado negativo em qualquer um dos testes resultará na reprovação do material.

### 2.3 O Problema

Em determinadas faixas de mix de produto Extra-Limpo (materiais com largura maior que 1300 mm e/ou espessura menor que 0,60 mm) observou-se uma dispersão acentuada na refletância do produto final, gerando desvios acima dos limites estabelecidos, conforme Figura 4:

COSIPA		CONTROLE DE LIMPEZA SUPERFICIAL INSPEÇÃO DE QUALIDADE		UNIDADE:	DATA:
ROLO:	CLIENTE:	DIMENSÕES:	SUP.:	C-IFA	09/01/08
80608		0,50x1050x2740	C		
LIMPEZA DE SUPERFÍCIE:		DATA:	TURNO:		
ALC. VALDIR AMORIM			12T		
INÍCIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 86 %				
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 88 %				
INÍCIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 86 %				
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: _____ %				

PHO - Rev 3 - 0-6256

**Figura 4.** Teste de Reflectância de material com baixa refletância

### 2.4 Observação da Situação

O gráfico da Figura 5 mostra que a participação no mix de produção de materiais "Extra Limpo," com espessuras menores que 0,60 mm, evoluiu de 2,2%, em 2002, para 9,3%, em 2005.

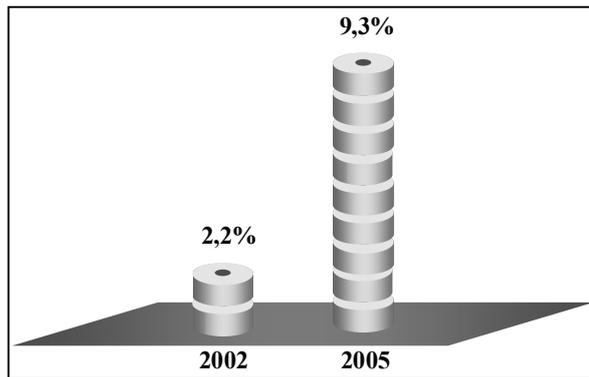


Figura 5. Espessura menor que 0,60mm - Extra-Limpo

No gráfico da Figura 6 podem ser vistas as faixas de largura produzidas para materiais superfície “Extra-Limpo”, onde, apesar de notar-se um decréscimo na largura média produzida, obteve-se um aumento de participação no mix de Laminados a Frio – Extra-Limpo - de materiais com largura superior a 1250 mm, de 2,4%, em 2002, para 4,3%, em 2005.

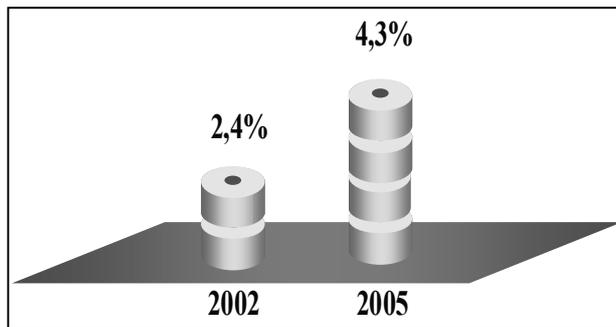


Figura 6. Largura maior que 1250mm - Extra-Limpo produzido

Analisando os rolos produzidos em 2005, observamos uma dispersão acentuada na refletância do produto final, gerando desvios acima dos limites estabelecidos, conforme mostrado nos gráficos das Figuras 7 e 8.

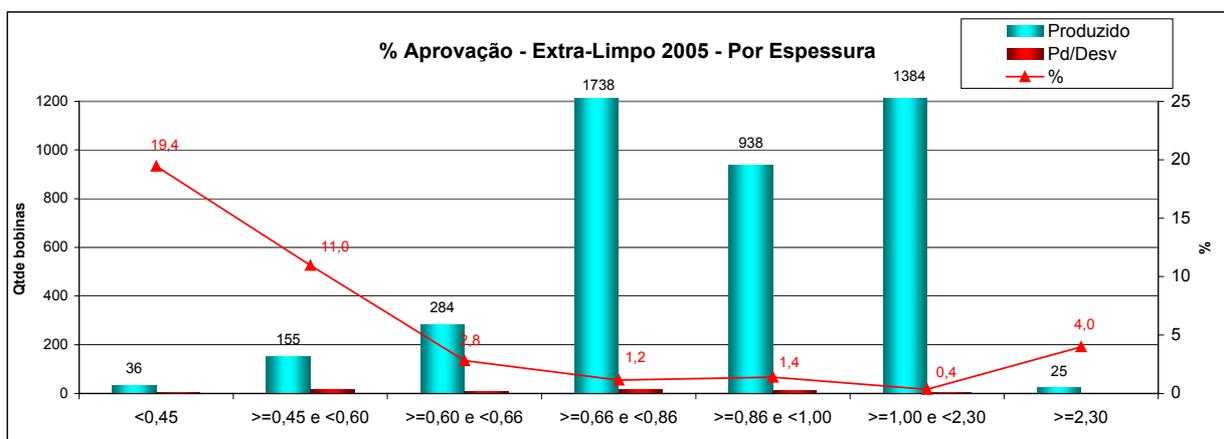


Figura 7. Aprovação do material Extra-Limpo por Espessura

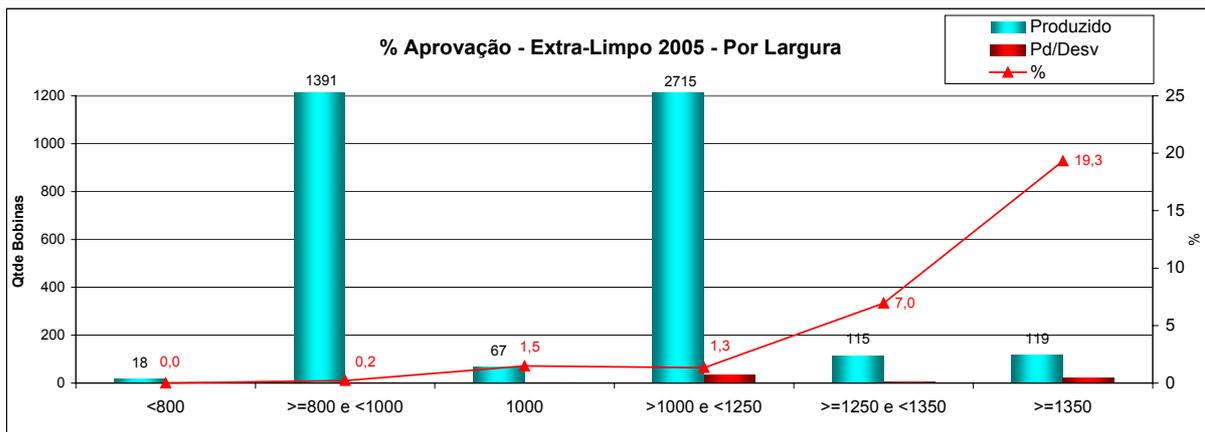


Figura 8. Aprovação do material Extra-Limpo por Largura

## 2.5 Análise dos Fatores que Interferem na Limpeza

De acordo com Steden et al.,<sup>(3)</sup> são quatro os fatores que interferem diretamente na limpeza superficial do material:

- Plate-out – Película de óleo resultante após o processo de laminação;
- Ferro na chapa – Quantidade de ferro depositada na chapa após o processo de laminação;
- Destilação do óleo – Comportamento da decomposição térmica do óleo de laminação durante o recozimento em caixa;
- Reação – Reação química do óleo de laminação em contato com a atmosfera gasosa no recozimento.

Analisando os fatores importantes para a limpeza, principalmente para o mix com maiores dispersões, chegamos às seguintes conclusões como causa do problema:

2.5.1 Para materiais com largura maior que 1300 mm, foram encontradas as seguintes interferências:

- Menor velocidade de impacto do sistema limpa-tira;
- Redução da pressão de lubrificação dos cilindros da cadeira 4, devido a necessidade de se trabalhar com todas as seções dos coletores abertas na largura máxima;
- Redução da eficácia de limpeza dessa maior área no recozimento em caixa.

2.5.2 Para materiais com espessura menor que 0,60 mm foram encontradas as seguintes interferências:

- Correlação direta entre a espessura de saída e a refletância obtida;
- Maior a redução aplicada ao material; conseqüentemente maior depósito de finos de ferro na superfície do material produzido;
- Incremento no coeficiente de atrito e no consumo de energia em função da alta redução.

## 2.6 Ação

O plano de ação, para minimização das dispersões de limpeza dos materiais com dimensões críticas, foi dividido em três fases:

### 2.6.1 FASE 1: Redução do plate-out para materiais com largura superior a 1300 mm

As seguintes alterações foram implantadas no processo para melhoria da limpeza dos materiais nesta faixa de largura:

1. **Concentração de fluido da cadeira 4:** Aumento da eficiência de limpeza do fluido utilizado.
2. **Redução do atrito gerado:** Através de estudos e desenvolvimento no acabamento superficial dos cilindros de cilindros;
3. **Programação:** Otimização dos cones de laminação visando o melhor posicionamento dos rolos em função da limpeza superficial requerida.
4. **Recozimento:** Desenvolvimento de novos ciclos visando otimização da limpeza superficial.

### 2.6.2 FASE 2: Redução do atrito para materiais com espessura inferior a 0,60mm

Em adição às ações realizadas na fase 1, as seguintes alterações foram implantadas no processo para melhoria da limpeza dos materiais nesta faixa de espessura.

1. **Estratégia de Lubrificação:** Aumento da lubrificação da cadeira 1 e revisão e otimização da lubrificação das cadeiras 2 e 3.

## 3. RESULTADOS

### 3.1 Resultados em 2006 – por Largura



Figura 9. Mix por Largura em 2002 – Extra-Limpo

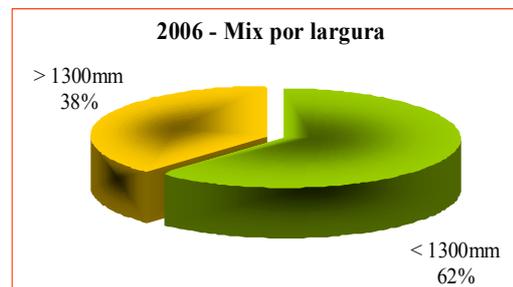


Figura 10. Mix por Largura em 2006 – Extra-Limpo

Comparando os gráficos das Figuras 9 e 10, nota-se um incremento acentuado no mix de Extra-Limpo com dimensões críticas para limpeza (largura), passando de 2% para 38% em 2006.

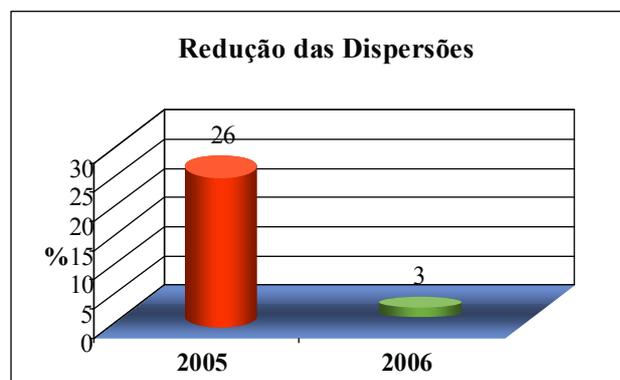


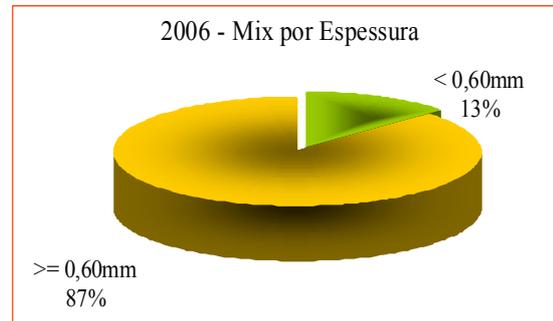
Figura 11. Dispersões atuais – Largura > 1300mm

O gráfico da Figura 11 nos mostra que após as ações tomadas no item 2.5.1, as dispersões foram reduzidas de 26%, em 2005, para 3%, em 2006.

### 3.2 Resultados em 2006 – por Espessura

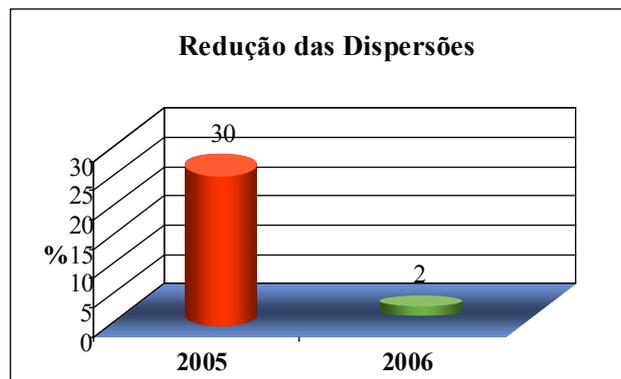


**Figura 12.** Mix por Espessura em 2002 – Extra-Limpo



**Figura 13.** Mix por Espessura em 2006 – Extra-Limpo

Comparando os gráficos das Figuras 12 e 13, nota-se um incremento acentuado no mix de Extra-Limpo com dimensões críticas para limpeza (espessura), passando de 2% para 13% em 2006. Apenas em abril de 2006, foram produzidas aproximadamente 2.200 toneladas com espessura entre 0,38 mm e 0,43mm, sendo este o material mais crítico em termo de limpeza superficial, mantendo os níveis de dispersões do gráfico da Figura 14..



**Figura 14.** Dispersões atuais – Espessura < 0,60mm

Como pode ser visto no gráfico da Figura 14, após as ações tomadas, as dispersões foram reduzidas de 30%, em 2005, para 3%, em 2006.

### 3.3 Resultados nos Testes de Limpeza Superficial

COSIPA		CONTROLE DE LIMPEZA SUPERFICIAL		UNIDADE:	DATA:
		INSPEÇÃO DE QUALIDADE		C-IPA	09/01/06
ROLO:	2000R	CLIENTE:	ATLAS	DIMENSÕES:	0,50x1,050x0,76
LIMPEZA DE SUPERFÍCIE:	ALCALINA ANODIZ	DATA:		SUP:	C
INICIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 86%			TURNOS:	12T
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 87%				
INICIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 86%				
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: _____%				

**Figura 15.** Tape Test Extra-Limpo crítico antes

COSIPA		CONTROLE DE LIMPEZA SUPERFICIAL		UNIDADE:	DATA:
		INSPEÇÃO DE QUALIDADE		C-IPA	23/02/06
ROLO:	5205S	CLIENTE:	MACSTEEL	DIMENSÕES:	0,43x1,250
LIMPEZA DE SUPERFÍCIE:	EXTRA LIMPO	DATA:		SUP:	B
INICIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 100%			TURNOS:	U
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 100%				
INICIO DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: 100%				
FINAL DA BOBINA FACE SUPERIOR	LIMPEZA: _____%				

**Figura 16.** Tape Test Extra-Limpo crítico depois



Figura 17. Gaze/papel Extra-Limpo crítico antes



Figura 18. Gaze/papel Extra-Limpo crítico depois

### 3.4 Resultados dos Testes Laboratoriais

	Média 2006	Padrão
Refletância	99,1%	> 95%
Resíduo Carbonoso	1,54 mg/m <sup>2</sup>	< 4,0 mg/m <sup>2</sup>
Ferro no produto	23 mg/m <sup>2</sup>	< 40 mg/m <sup>2</sup>

## 4 CONCLUSÃO

Como conseqüência da tendência mundial por melhoria da qualidade, ocorreu um forte aumento na demanda por produtos com exigências de maior limpeza superficial, requisitados por uma ampla gama de clientes, das mais variadas aplicações, com espessuras que chegam a 0,38mm e largas que variam de 800mm a 1580mm. Não possuindo uma linha de limpeza eletrolítica, a COSIPA desenvolveu e implantou uma série de procedimentos no laminador a frio e recozimento em caixa com objetivo de obter a limpeza superficial mínima requerida por estes clientes.

Os seguintes resultados foram obtidos após as implantações das ações visando diminuição de dispersões de refletância para matérias com espessuras inferiores a 0.60 mm e largura superior a 1300 mm.

- Melhoria da limpeza superficial, garantindo a qualidade do produto Extra-Limpo mesmo para materiais com dimensões críticas;
- Aumento da refletância média do produto Extra-Limpo em todas as faixas de espessura e largura beneficiando-se do processo implantado;
- Redução das dispersões, aumentando os rendimentos de produto acabado;
- Possibilidade de novos ganhos em produtos Limpo\_90 e Comum em função das melhorias no controle de processo.

Pode ser visto que após as ações tomadas, as dispersões foram reduzidas de 26%, em 2005, para 3%, em 2006.

## REFERÊNCIAS

- 1 Broekhof, N.L.J.M. ; Mueller, C.E. – Impact of novel rolling oil technologies and materials on strip cleanliness. Steel Technology, November/ December 2001, p. 37-39.
- 2 Richards, D.C. – The measurement of steel sheet surface cleanliness. Steel Times International, March 1986, p. 50-52.
- 3 Steden H.V. et. all. – Pilot mill as the key to optimize lubrication and strip cleanliness. Proceeding of the 7<sup>th</sup> International Conference on Steel Rolling, 1998, p. 467-472.