

"AVALIAÇÃO E EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE DO PROCESSO DE LAMINAÇÃO A FRIO DA CSN NA OBTENÇÃO DE TIRAS COM TEOR MÁXIMO DE 7,0 mg/m<sup>2</sup> DE CARBONO DE SUPERFÍCIE" (1)

Roberto Teixeira Renó (2)

Jorge Lopes de Oliveira (3)

Paulo Harthman Junior (4)

José dos Santos Silva (5)

Sebastião Vitor Baliza (6)

Nilza Cristina Sabioni (7)

RESUMO

Frente a um processo totalmente instável na laminação a frio, foram realizadas alterações e melhorias no laminador de tiras a frio e nos fornos de recozimento em caixa, conjugadas ao aprimoramento do controle das características de qualidade do produto.

Os resultados destas etapas de evolução são relatados, servindo de base para uma proposta de estabelecimento de padrões de produto e processo que, ao serem adotados propiciam a obtenção de um processo sob-controle e capaz na fabricação de produto a frio com teor máximo de 7 mg/m<sup>2</sup> de carbono de superfície.

(1) Trabalho a ser apresentado no 1º Seminário sobre Chapas Metálicas para Indústria Automobilística-São Paulo-Setembro 1992.

(2) Engº e Mestre Engª Metalúrgica - Coordenador de Produtos da STF-SGLF.

(3) Assistente Técnico da STF - Produto

(4) Staff Técnico da SDF - SGLF

(5) Staff Técnico da SEA - SGLF

(6) Técnico Químico - Pesquisador - SGPD

(7) Engª Metalúrgica - Pesquisadora - SGPD.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

Uma das características que definem a boa qualidade das tiras laminadas a frio é a limpeza de superfície e, entre as não conformidades que a comprometem, ressalta-se o carbono de superfície, que ocorre durante o processo de recozimento. O carbono é um material inerte e de difícil remoção na limpeza química sem escovamento <sup>(1)</sup> e, quando permanece na superfície da tira, as áreas por ele afetadas são inadequadas aos tratamentos de pintura, esmaltação, galvanização e outros <sup>(2)</sup>.

Vários trabalhos <sup>(2, 3, 7)</sup> têm sido dedicados ao estudo da qualidade superficial para aumento da resistência à corrosão e obtenção de melhor aderência da pintura, onde a influência do teor de carbono de superfície é muito conhecida.

No recebimento de chapas finas a frio em indústrias automobilísticas, utiliza-se normalmente a especificação da norma FORD <sup>(4)</sup>, onde o teor máximo de carbono deve ser de 7 mg/m<sup>2</sup>.

Neste trabalho é apresentada a avaliação e evolução dos resultados desta característica do produto na saída do Laminador de Tiras a Frio número 3 e do Recozimento em Caixa da Companhia Siderúrgica Nacional, no período de Janeiro à 1ª quinzena de Julho de 1991.

## 2.0 - CARACTERÍSTICAS DO PROBLEMA

Procurando mostrar os resultados do problema, de maneira quantitativa, foram analisadas segundo o método FORD (4), no período de janeiro a fevereiro de 1991, 100 amostras de bobinas laminadas a frio no estado recozido. A figura 1 apresenta o histograma resultante deste período, onde nota-se que o perfil da distribuição do carbono de superfície é tri-modal e disperso, característico de um processo instável, além da total proporção de não conformidade. Verifica-se também neste formato, a ocorrência de mistura de distribuição com médias sensivelmente diferentes.

Ao serem verificados os fatores que presumivelmente causaram estas variações, foram estratificados os dados de acordo com as características de qualidade e local da amostragem no material. Quanto às características de qualidade do material não foram encontradas diferenças relevantes, porém quanto ao critério de retirada das amostras ao longo da bobina, isto foi observado. A figura 2 ilustra a distribuição dos resultados, quando as amostras eram retiradas na espira externa (capa) da bobina recozida e a figura 3 quando estas eram retiradas após a espessura da tira encontrar-se dentro da tolerância (aproximadamente 20 m).

Nota-se que após a estratificação, o formato da distribuição do carbono de superfície com base nas amostras de espira externa (figura 2) foi do tipo oblíquo negativo, caracterizando-se provavelmente uma saturação de suidades decorrentes do meio ambiente natural de uma usina siderúrgica. Por outro lado, ao analisarmos a figura 3, nota-se que a distribuição obtida é do tipo normal.

Em decorrência dos resultados obtidos, estabeleceu-se que doravante, a amostragem para carbono de superfície tem que ser feita quando a espessura da tira encontrar-se nas tolerâncias especificadas (aproximadamente 20 m).

### 3.0 - ANÁLISE DAS CAUSAS

#### 3.1 - Estabelecimento das Hipóteses da Ocorrência de Carbono de Superfície acima de $7 \text{ mg/m}^2$

A partir das informações obtidas da literatura, das características do problema citado no item anterior e das opiniões do Grupo de Trabalho, desenhou-se o diagrama das prováveis características influentes do produto em cada fase do processo na obtenção do carbono de superfície acima de  $7 \text{ mg/m}^2$ , mostrado na figura 4.

Como pode ser observado, o fator composição química foi abordado no problema e sobre isto é interessante comentar a ação inibidora de determinados elementos do aço sobre o fenômeno de grafitação superficial. Os carbonetos de ferro expostos na superfície da chapa submetida a elevadas temperaturas de recozimento estão parcialmente liberados da pressão da matriz e como consequência, termodinamicamente mais suscetíveis à decomposição. Estudos comprovam que o aumento no teor de cromo de um valor médio de 0,025% a 0,040% reduz, pela estabilização da cementita, a grafitação praticamente a zero <sup>(9)</sup>. Da mesma forma, elevações nos teores de manganês, já em maior escala, produzem o mesmo efeito antigrafiti-

zante. Vale ressaltar que a utilização destes recursos de alteração da composição química não deve incorrer em comprometimento das propriedades mecânicas do produto final.

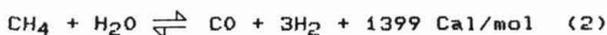
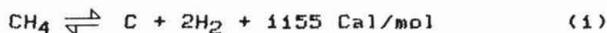
Neste trabalho, como não se constatou a ocorrência elevada de carbono de superfície num determinado grau de aço, durante a observação das características do produto no problema, não foi enfatizada a questão da composição química. Vale salientar que os aços aqui utilizados foram oriundos de lingotamento contínuo.

Outra característica que não se apresentou relevante na ocorrência do problema em questão, para os materiais utilizados neste trabalho, foi a dimensão do produto, onde a espessura variou de 0,50 a 1,90 mm e a largura entre 735 e 1220 mm sendo tal fato evidenciado na figura 3 pela obtenção da distribuição normal, após alteração do critério de retirada da amostra para análise do carbono de superfície.

As boas condições de lubrificação e refrigeração na interação cilindro/tira na laminação a frio são proporcionadas pelo efeito "PLATE-OUT" resultante do processo de recirculação aqui empregado, onde é utilizada uma emulsão do tipo óleo em água. Dependendo da eficácia do sistema de limpeza da tira, principalmente na última cadeira do laminador (5, 6), das características da emulsão (5), dos parâmetros de processo de refrigeração/lubrificação e também de laminação, uma maior ou menor quantidade de resíduos compostos de óleo e finos de ferro permanece na superfície da tira. A qualidade destes resíduos de laminação associada à sua quantidade é que irão determinar o grau de limpeza do material, para as mesmas condições de processo no recozimento (5).

Assim sendo, torna-se importante avaliar a quantidade de óleo e ferro na tira após laminada e verificar a sua influência na quantidade de carbono de superfície após recozimento.

No tocante ao recozimento em fornos do tipo campânula (caixa), fazendo-se a análise da sua influência em circunstância isolada, esta é determinada pela característica da atmosfera protetiva em função do par temperatura - tempo de aquecimento, onde a presença de hidrocarbonetos decorrentes da destilação do óleo de laminação, principalmente o metano, é a origem da deposição de carbono (sólido) na superfície da tira. O controle da velocidade de aquecimento e da temperatura durante a destilação do óleo de laminação é fundamental no equilíbrio da reação  $\text{CH}_4 \rightleftharpoons \text{C} + \text{H}_2$  no sentido do metano. (2) Como descrito em relatório interno (7), a presença do vapor cria uma barreira química à deposição do carbono, como pode-se deduzir das equações abaixo, a 1 atm. e 500°C:



Em função da sua maior estabilidade, a formação do CO gasoso é preferencial à formação do carbono sólido, proporcionando assim maior eficiência na limpeza do material. Baseado nestas considerações, foi elaborado o plano de testes, para quantificar o ganho de limpeza de superfície, quando da injeção de vapor na atmosfera de proteção (HN) do recozimento em caixa da CSN.

É importante comentar ainda, que os hidrocarbonetos ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ) provenientes do craqueamento dos óleos de laminação (1) a elevadas temperaturas nos fornos de recozimento, têm sua reação de decomposição (vide equação 1) catalizada pela presença de resíduos de ferro na superfície do material. Teores muito elevados, acima de  $50 \text{ mg/m}^2$  (10) de ferro na tira, conduzem a uma carbonização excessiva da mesma, elevando os valores de carbono de superfície e conseqüentemente comprometendo a qualidade superficial.

### 3.2 - Teste das Hipóteses da Ocorrência de Carbono de Superfície Acima de $7 \text{ mg/m}^2$

A partir do estabelecimento das prováveis características do produto na ocorrência do carbono de superfície fora do especificado, passou-se à coleta e análise dos dados.

O primeiro passo foi verificar o nível de resíduos de laminação na tira, através da quantidade de óleo e ferro, segundo o método descrito em relatório interno SGPD (8), das amostras de bobinas laminadas na mesma seqüência de laminação que tiveram o carbono de superfície avaliado na figura 3. As figuras 5 e 6 ilustram as variações destas características nesta fase, onde nota-se em ambos os casos que a distribuição é normal, não se considerando a anomalia da figura 6.

Numa segunda etapa, mantendo-se o esquema de amostragem estabelecido no item 2, foi analisado o resultado da distribuição do carbono de superfície em função do processo de recozimento com e sem injeção de vapor. Como era de se esperar, ao serem analisadas as distribuições das figuras 7 e 8, verificou-se o efeito benéfico

da injeção de vapor no resultado da quantidade e na dispersão do carbono de superfície. Embora, o efeito isolado da introdução da atmosfera úmida no recozimento tenha propiciado um ganho significativo na diminuição do valor médio e da dispersão do carbono de superfície, esta prática não foi suficiente para atender à especificação.

Desta forma, mantendo-se a prática anterior, partiu-se para o aprimoramento do controle de processo do sistema de refrigeração-lubrificação do laminador, visando minimizar a quantidade de resíduos de laminação.

As figuras 9 e 10 ilustram, respectivamente, as distribuições dos valores dos resultados das quantidades de óleo e ferro decorrentes das alterações efetuadas, notando-se a diminuição significativa na quantidade e distribuição de óleo na tira, sem que houvesse alterações significativas no teor de ferro. A figura 11 ilustra o resultado da distribuição do carbono de superfície na tira, após a adoção desta medida conjugada às ações anteriores.

Finalizando a análise das causas mais prováveis, foram verificados na figura 11 os dados das cargas de recozimento em que se adotou o aquecimento controlado, sendo possível comparar estas informações com as de aquecimento liberado. As figuras 12 e 13 ilustram respectivamente os resultados obtidos com estas práticas e, como já confirmada na literatura (2,7), a condição de processamento com o ciclo de aquecimento já controlado indica que a quantidade e a dispersão do carbono de superfície na tira laminada, recozida e encruada a frio diminuíram, quando comparadas com a prática sem controle da velocidade de aquecimento.

#### 4.0 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A evolução da quantidade e dispersão do carbono de superfície apresentada no gráfico sequencial da figura 14, permite as seguintes considerações:

- antes de qualquer alteração no processo produtivo, a amostragem tem que ser significativa, para que ações não sejam inócuas;
- a avaliação das quantidades de óleo e ferro na tira confirmou que elas são representativas do resíduo de laminação, ressaltando-se que os dados aqui obtidos referem-se às condições particulares de processo da C.S.N.;
- confirmou-se também, que a injeção de uma certa quantidade de vapor d'água na atmosfera básica do forno de recozimento em caixa tende a melhorar significativamente o nível de limpeza da tira, porém não é solução isolada;
- o efeito conjugado da introdução de vapor no processo de recozimento e o aprimoramento do controle do processo de lubrificação-refrigeração, este último representado pela quantidade de óleo da tira laminada, conduziu à obtenção do carbono de superfície dentro do especificado;
- o controle da velocidade de aquecimento na fase de destilação do óleo de laminação, complementando as ações anteriores, resultou no maior achatamento da dispersão dos valores e no deslocamento da média do carbono de superfície para baixo.

## AGRADECIMENTOS

Aos colegas da CSN das áreas de Laminação a Frio e Recozi -  
mento em Caixa sem a colaboração dos quais não teria sido possí -  
vel a realização deste trabalho.

Aos colegas dos laboratórios da STF e SGPD e da Assistência  
Técnica pelo apoio durante as várias etapas do trabalho.

Aos engenheiros R. T. Yamamoto e Sérgio de Foggli da AUTOLA -  
TINA ( FORD - SBC ) pela colaboração dispensada a cerca de infor -  
mações e esclarecimentos sobre o método de análise de carbono de  
superfície.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) SUCENA FERREIRA, R.M.A. e BALIZA, S.V. - "Considerações Gerais sobre a Qualidade Superficial de CFF Destinadas à Pintura" - Relatório SGPD - 050 - 91, 17.05.91.
- 2) GHIGGI, M.A.; RENÓ, R.T. e RUFFO, FQ, R.S. - "Caracterização e Eliminação do Defeito Depósito Carbonoso em Chapas de Aço" - Metalurgia - vol. 40 - nº 38, maio/1984.
- 3) RENÓ, R.T. - "Limpeza de Superfície das Tiras Laminadas e Encruadas a Frio: Definição, Acompanhamento e Evolução na COSIPA". - IV Simpósio Interno da Laminação da COSIPA - março/1981.
- 4) ESB - M2P117-A - Paint, Steel, Surface Cleanliness - Exterior - Engineering Material Specification - FORD.
- 5) RENÓ, R.T. - "Evolução da Qualidade dos Produtos do LTFW3 da CSN - Através do Aprimoramento do Sistema de Refrigeração - Lubrificação. - SETEC - CSN - julho/1989.
- 6) DEROCHE, R. - "La Proprete des Toles Laminees a Froid" - SOLLAC - CESSID - 73/74 - B.12.

- 7) LINS, MÁRCIO et alli - "Adição de Vapor ao Gás de Proteção do RCX - 2" - Relatório Interno - CSN.
- 8) "Análise de óleo e Ferro em CFF - SGPD/CTA-4.
- 9) MOINA, C.A.; ALVAREZA, N.; PARINI, O.C. - Laboratório de Electro-Química, Informe INTI - 40881830, Argentina, 1983.
- 10) CHATELAIN B.; LEROY V. - "Propreté de Surface de La Bande Recuite et Skin" - Passé - Centre de Recherches Metallurgiques, Liege, Bélgica.

/gjn

nilsetc.doc

período: JAN/FEV 91

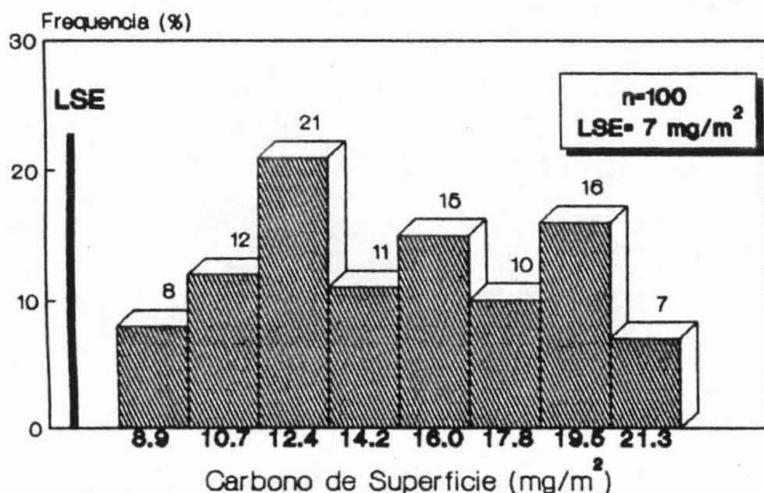


Fig.1: Distribuição do teor de Carbono de Superfície em posição aleatória da bobina

Período: JAN/FEV 91

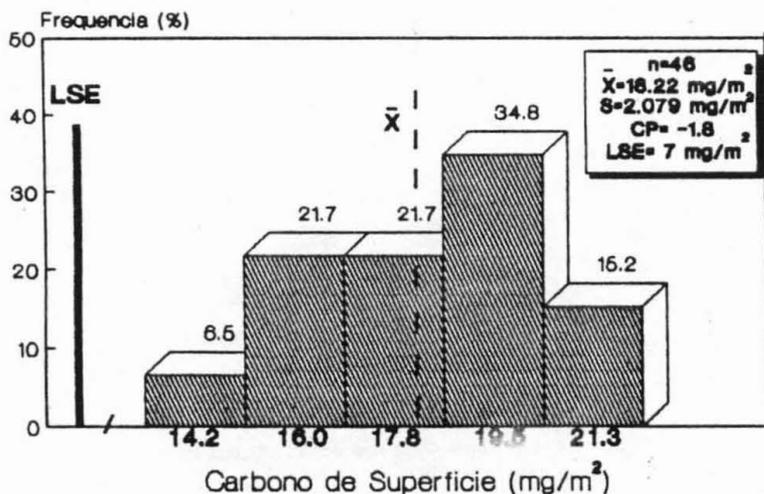


Fig. 2: Distribuição do teor de Carbono de Superfície na posição capa de bobina - fora de bitola

Período: JAN/FEV 91

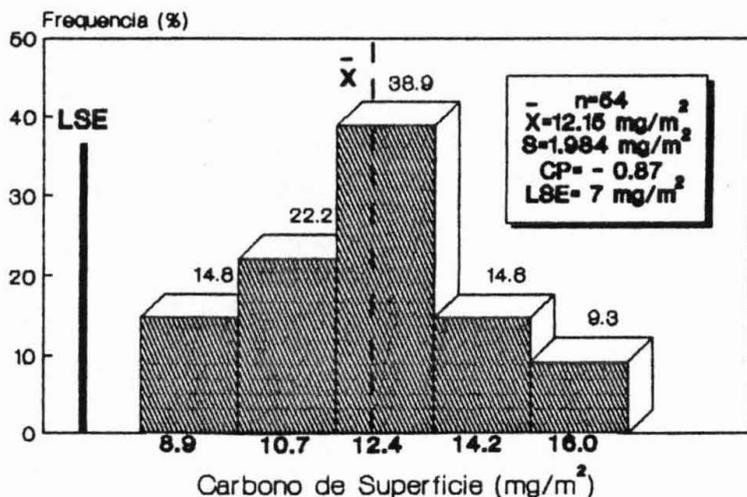


Fig.3: Distribuição do teor de Carbono de Superfície em posição dentro da bitola



Fig.4 : Diagrama das características de produto influentes na ocorrência de Carbono de Superfície fora do especificado

Período: JAN/FEV 91

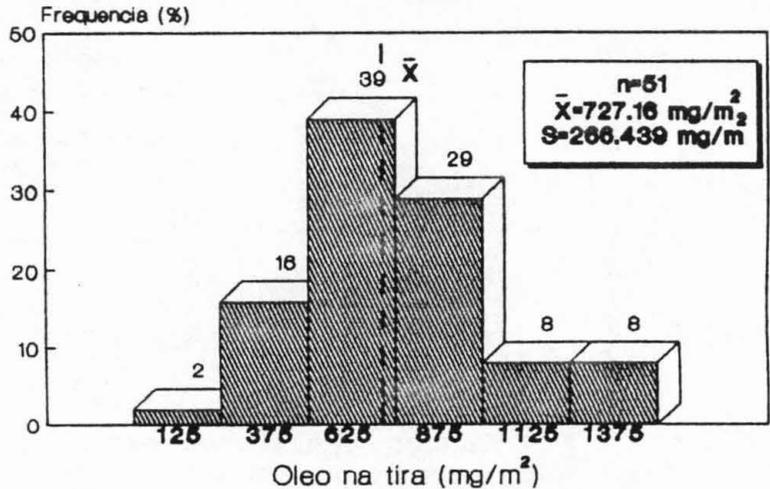


Fig.5: Distribuição da quantidade de óleo na tira laminada em amostras retiradas na bitola ( aproximadamente 20 m )

Período: JAN/FEV 91

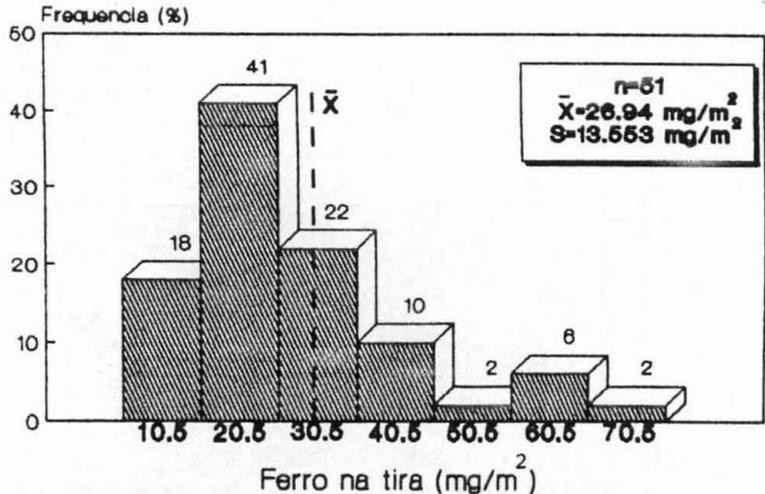
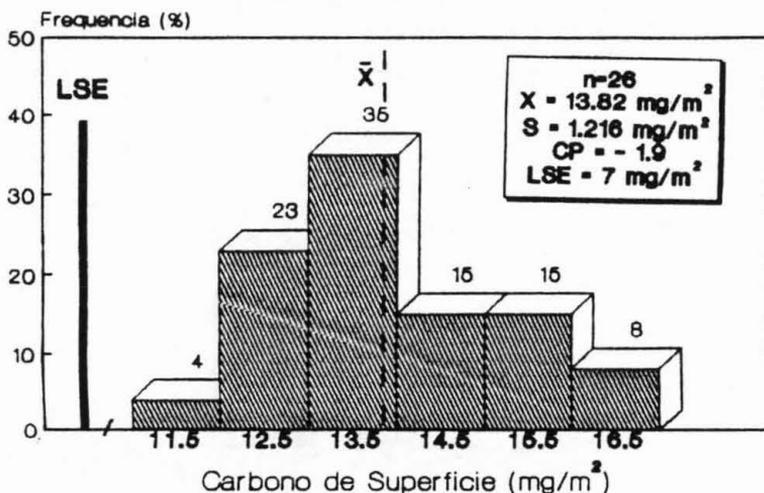
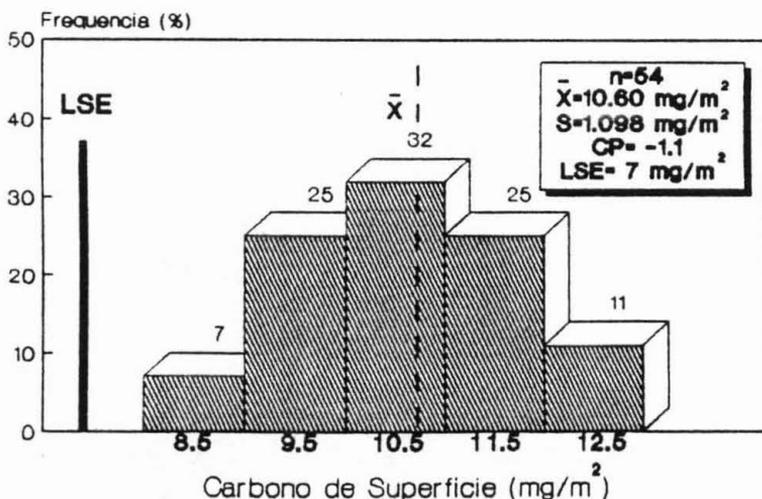


Fig.6: Distribuição da quantidade de ferro na tira laminada em amostras retiradas na bitola ( aproximadamente 20 m )

Período: JAN/FEV 91



Período: JAN/FEV 91



Período: ABRIL/JUNHO 91

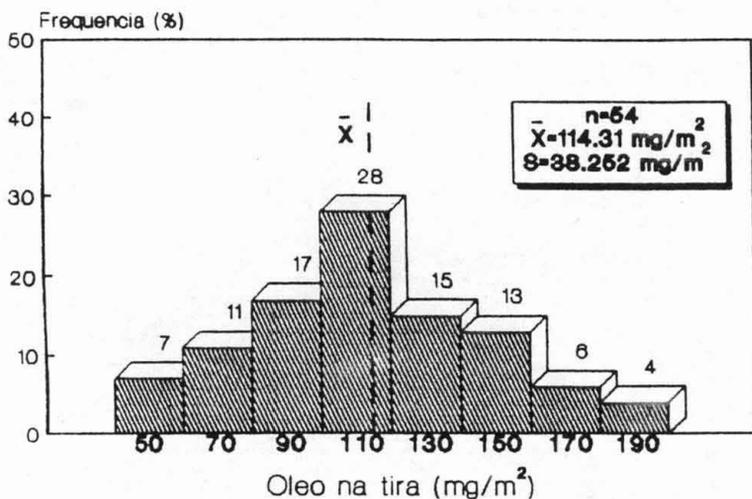


Fig. 9: Distribuição da quantidade de óleo na tira laminada após aprimoramento do sistema de refrigeração - lubrificação no L.T.F.

Período: ABRIL/JUNHO 91

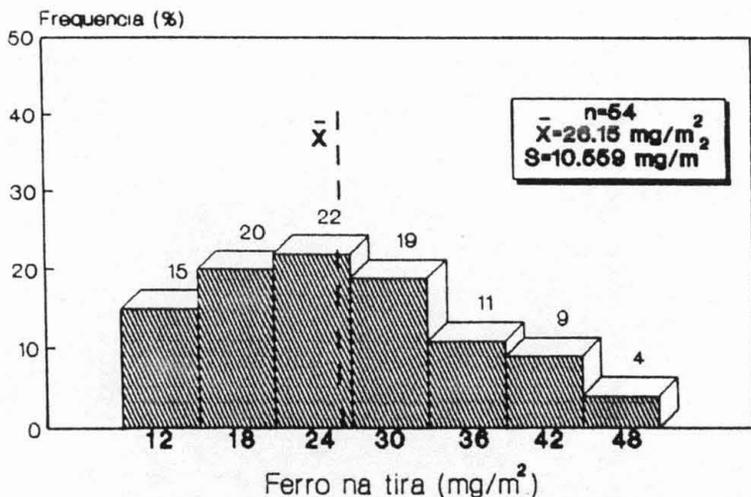


Fig. 10: Distribuição da quantidade de ferro na tira laminada após aprimoramento do sistema de refrigeração - lubrificação no L.T.F.

Período: ABRIL/JUNHO 91

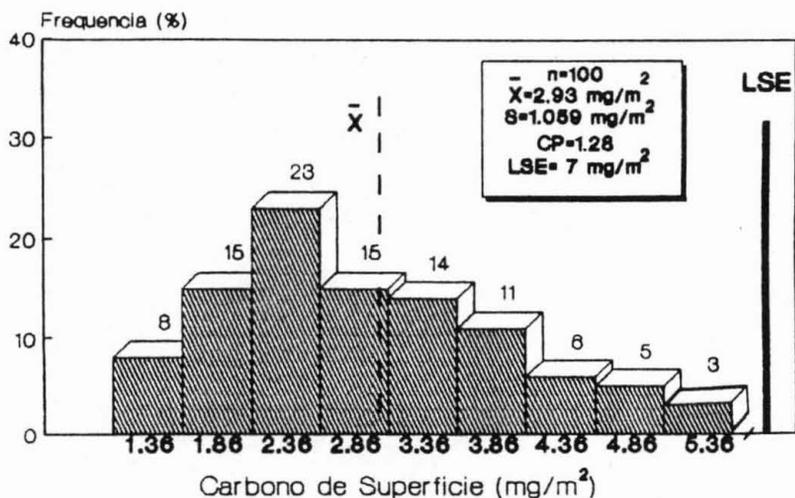


Fig.11: Distribuição do teor de Carbono de Superfície em tiras laminadas a frio e recozidas após o aprimoramento do sistema de refrigeração - lubrificação do L.T.F.

Período: ABRIL/JUNHO 91

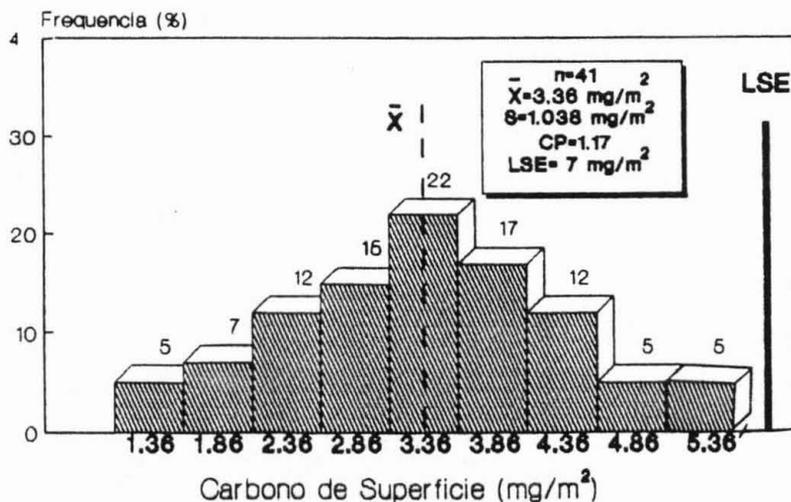


Fig.12: Distribuição do teor de Carbono de Superfície em tiras laminadas a frio e recozidas na condição de recozimento com velocidade de aquecimento liberada.

Periodo: ABRIL/JUNHO 91

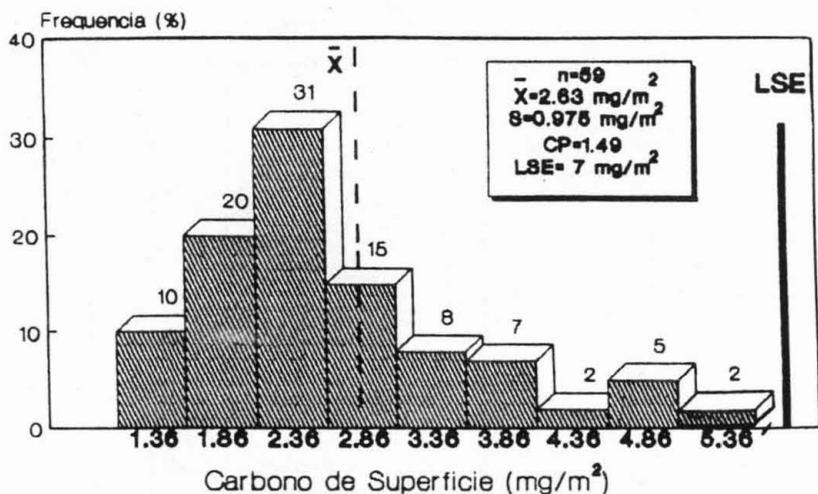


Fig.13: Distribuição do teor de Carbono de Superfície em tiras laminadas a frio e recozidas na condição de recozimento com velocidade de aquecimento controlada

**LEGENDA :**

- 1 - Amostra Aleatoria
- 2 - Amostra em capa de bobina
- 3 - Amostra na tolerancia de espessura
- 4 - Recozimento com atmosfera convencional
- 5 - Recozimento com injeção de vapor
- 6 - Aproximamento de controle no LTF
- 7 - Recozimento com velocidade de aquecimento liberada
- 8 - Recozimento com velocidade de aquecimento controlada

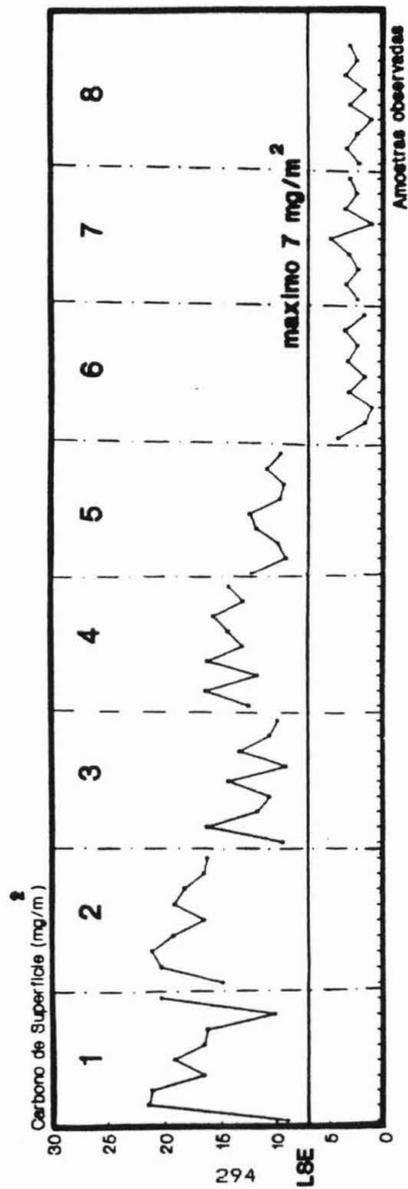


Fig. 14: Gráfico sequencial da evolução da quantidade e da dispersão do Carbono de Superfície na tira recozida em função das etapas do trabalho