

# DESENVOLVIMENTO DO AÇO P430A EM ESPESSURAS ATÉ 1,20 mm <sup>1</sup>

Wilian da Silva Labiapari <sup>2</sup>  
Cláudio M. de Alcântara <sup>3</sup>  
José Sérgio Ferreira <sup>4</sup>  
Valdomiro Crispim Machado <sup>4</sup>  
José Carlos Batista <sup>4</sup>  
Paulo Henrique dos Santos <sup>5</sup>  
Geraldo Magela Benichio de Brito <sup>6</sup>

## Resumo

Objetivou-se o desenvolvimento do aço AISI 430 padrão, doravante P430A, até a espessura de 1,20 mm sem o defeito "fosco", em substituição ao AISI 430 baixo carbono, doravante P430E, que é um produto mais nobre e de maior valor. O trabalho consistiu em entender a influência da rugosidade dos cilindros de laminação, do ciclo de recozimento final e da laminação de encruamento na produção do aço P430A com maior brilho, ou seja, sem o defeito "fosco". Estudos de laboratório e testes industriais conduziram à mudanças necessárias nas práticas de produção. Com este desenvolvimento, todo material nas espessuras entre 0,60 e 1,20 mm para aplicação plana passou a ser atendido com o aço P430A. A evolução pode ser constatada comparando-se os primeiros resultados em janeiro de 2008, com 29% de substituição e chegando a 78% em dezembro daquele ano. Em março de 2009 este índice atingiu 91%, onde os 9% restantes são devidos a pedidos específicos de P430E.

**Palavras-chave:** Aço AISI 430; Brilho; Fosco.

## DEVELOPMENT OF STAINLESS STEEL P430A IN THICKNESS UP TO 1.20 mm

### Abstracts

The objective was to develop the stainless steel AISI 430 standard, henceforth P430A, in thickness up to 1.20 mm without "dull" defect, replacing AISI 430 low carbon, henceforth P430E, higher cost. The work was understanding the influence of the work roll mill roughness, the final annealing process and skin process on brightest P430A production, i.e. without "dull" defect. Laboratory tests and industrial ones allowed changes in production practices. After this development, all material in thicknesses up to 1.20 mm for flat application started to be used the stainless steel P430A. The evolution can be seen comparing the firsts results in January 2008, with 29% replacement and reaching 78% in December of that year. In March 2009 this index reached 91%, where the remaining 9% are due to specific requests for P430E.

**Key words:** AISI 430 stell; Bright; Dull.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 47º Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, 26 a 29 de outubro de 2010, Belo Horizonte, MG.

<sup>2</sup> Pesquisador – ArcelorMittal Inox Brasil

<sup>3</sup> Técnico em Pesquisa – ArcelorMittal Inox Brasil

<sup>4</sup> Engenheiro Metalurgista – ArcelorMittal Inox Brasil

<sup>5</sup> Técnico em Controle de Processo – ArcelorMittal Inox Brasil

<sup>6</sup> Técnico em Pragmação de Processo – ArcelorMittal Inox Brasil

## 1 INTRODUÇÃO

A reflexão especular é possível com a capacidade de uma superfície em se comportar como um espelho. A perda desta propriedade produz uma falta de nitidez da imagem refletida, o que é conhecido para os aços inoxidáveis como defeito “fosco”,<sup>(1)</sup> principalmente no aço 430 acabamento 2B, padrão na ArcelorMittal Inox Brasil de material brilhante.

Quanto maior a espessura do produto final laminado a frio, BF, usualmente menor é a deformação a frio total. Isto quer dizer que menor é a capacidade do cilindro de laminação em transformar a superfície da bobina após a laminação a quente, BQ, por deformação a frio. Assim, a qualidade superficial da BQ torna-se mais influente na superfície da BF, quanto menor for a redução a frio.

O aço P430A tem em sua complexidade de produção uma barreira tecnológica. Até o ano de 2007, todo material produzido entre as espessuras de 0,60 e 1,20mm era atendido com o aço P430E, que é estabilizado ao Nb, sendo um produto mais nobre. O aço P430A não atendia em função do defeito “fosco”.

O trabalho desenvolvido em 2007, conhecido internamente como “Teoria do Brilho”,<sup>(1-6)</sup> impediu que a espessura de 0,60mm também fosse atendida com o aço mais caro, P430E, em função de sua melhor qualidade superficial. O não sucesso seria catastrófico, pois, limitaria o aço P430A a apenas as espessuras mais finas.

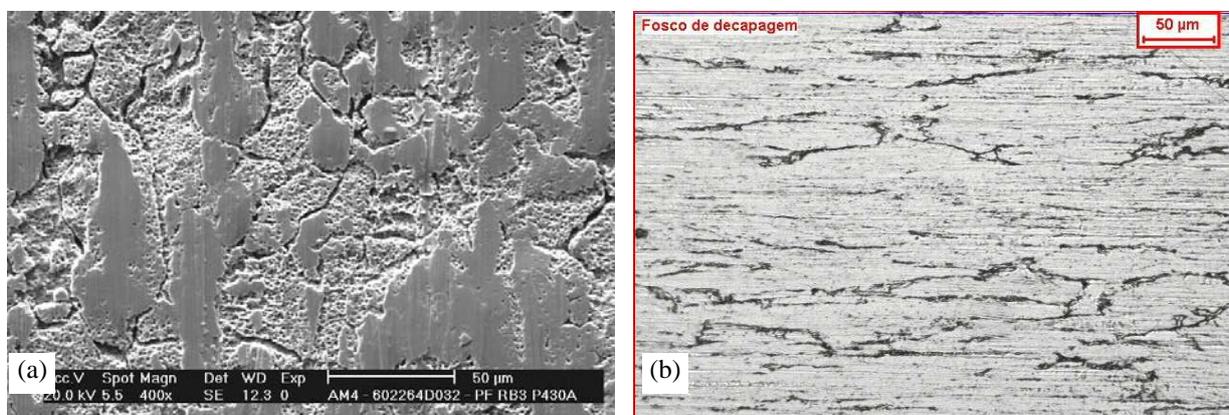
O refino da malha do conhecimento gerado possibilitou ajustes nos processos do circuito a frio, compreendendo o recozimento em caixa e contínuo, bem como laminação a frio e “*skin pass*”. Isto direcionou uma inversão deste Mix já em 2008, iniciando em janeiro, com 29% de material substituído com o P430A entre as espessuras de 0,60 e 1,20mm, fechando o ano em 78%. Em abril de 2009 este índice foi de 91%, sendo os 9% restantes de pedidos específicos de P430E.

## 2 OBJETIVO

Desenvolver o aço P430A até a espessura de 1,20mm em substituição ao P430E, de aplicação mais nobre.

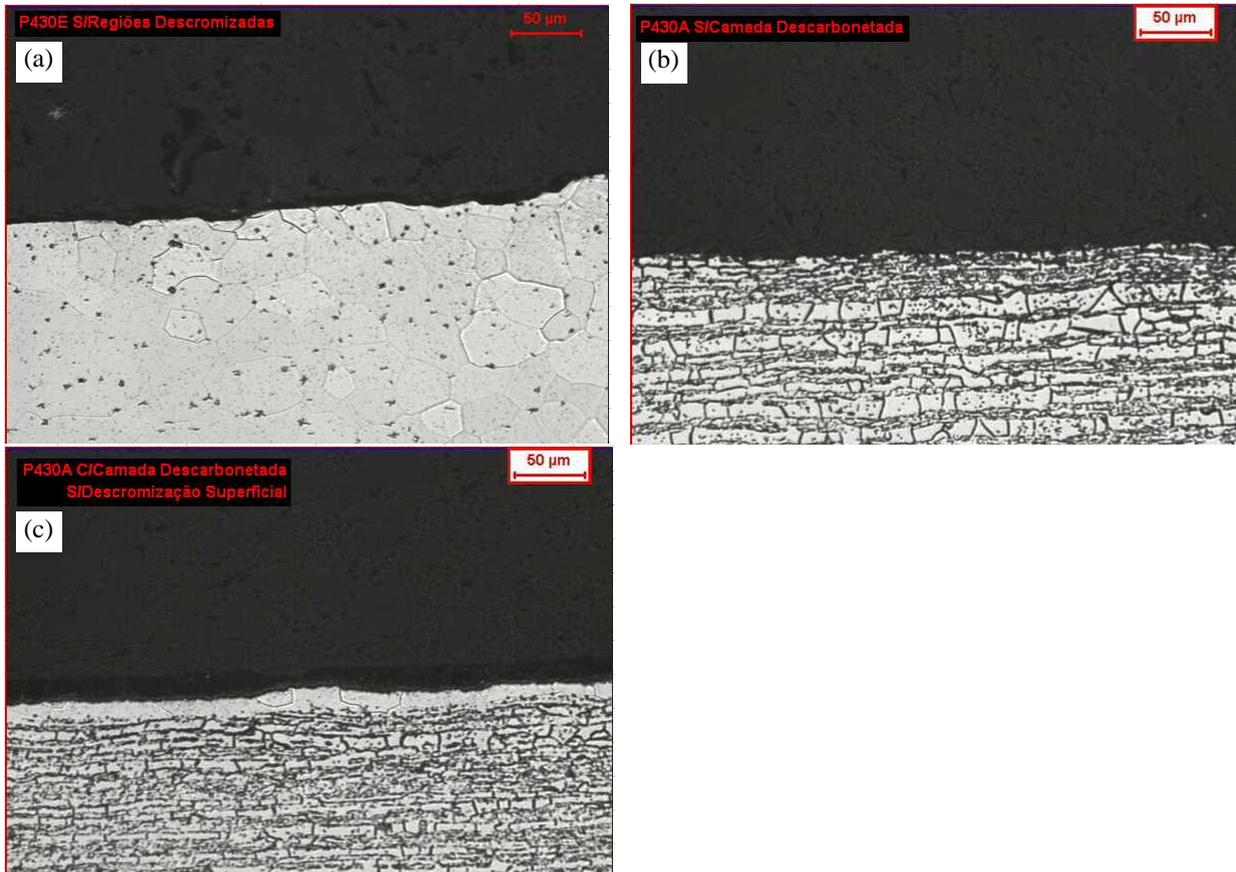
## 3 DESENVOLVIMENTO

Os trabalhos desenvolvidos mostraram que um dos principais defeitos que causam o “fosco” é devido a problemas superficiais da BQ<sup>(1,3,4)</sup> (Figura 1).



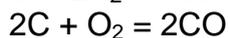
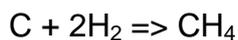
**Figura 1** – (a) Ataque excessivo dos contornos de grãos na BQ, sendo vistos posteriormente (b) como defeito “fosco” na BF.

O P430E é mais inerte a este mecanismo. Por não ter carbono livre, não forma carbonetos de cromo nos contornos de grão, minimizando o ataque desta região (Figura 2<sup>a</sup>). A solução para o P430A começa no processo de recozimento em caixa, “Box”,<sup>(5)</sup> com a formação de uma camada descarbonetada (Figura 2c), para que sua superfície seja menos vulnerável ao ataque químico na linha de recozimento e decapagem de BQ, RB3.



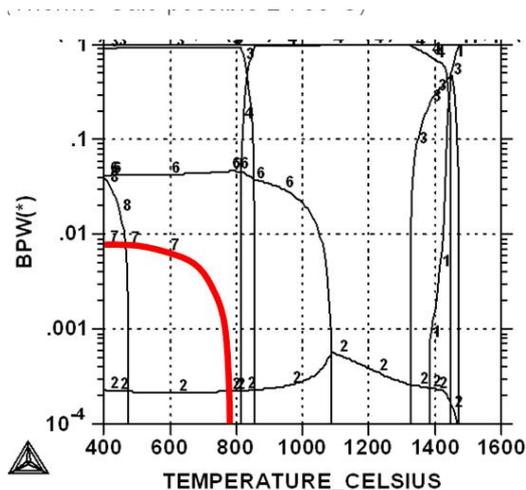
**Figura 2** – Estrutura próxima à superfície após ataque oxálico. (a) P430E sem região descromizada nos contornos de grão. (b) P430A com os contornos de grãos atacados devido à região descromizada. (c) P430A com a camada descarbonetada, cuja superfície se assemelha à do P430E.

Para uma atmosfera de hidrogênio, as reações de descarbonetação, Eq. 1, são possíveis acima de 705°C, potencializada pela presença de umidade. Mesmo em atmosfera de nitrogênio puro, a presença de oxigênio residual poderá promover a reação.<sup>(7)</sup> Em nosso processo “Box”, a carepa pode ser a fonte de umidade, reduzida pelo hidrogênio, e de oxigênio residual, pelos próprios óxidos de que é constituída.



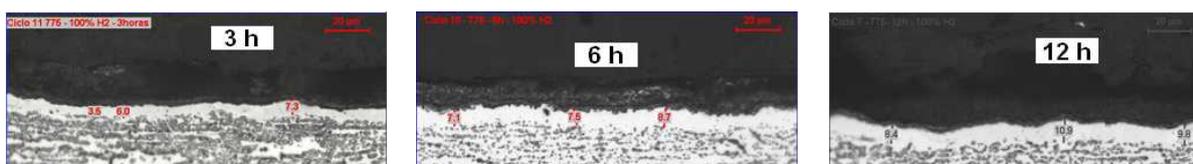
Eq. 1

Baseado em estudos utilizando o software “Thermocalc®” (Figura 3), observa-se que a 775°C os carbonetos de cromo formados durante o resfriamento tem condições termodinâmicas para dissolução.<sup>(8)</sup> Isto deixaria o carbono livre, o que facilitaria as reações de descarbonetação.

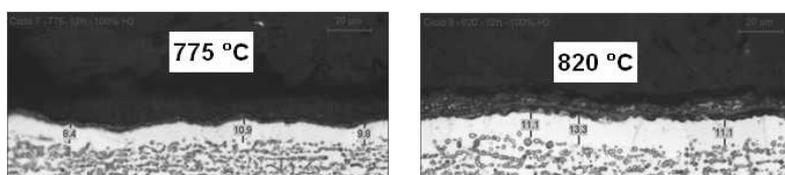


**Figura 3** – Cálculo por “Thermocalc®”, da fração de dissolução de  $Cr_{23}C_6$  em função da temperatura.<sup>(8)</sup>

Validado em laboratório, os estudos permitiram visualizar a descarbonetação superficial, sendo dependente do tempo e da temperatura de recozimento (Figuras 4 e 5). Também há o efeito da atmosfera, mas esta seria uma constante nesta etapa do estudo.



**Figura 4** – Simulação do ciclo do “Box” em laboratório mostrando a evolução da camada branca descarbonetada em relação ao tempo de encharque.

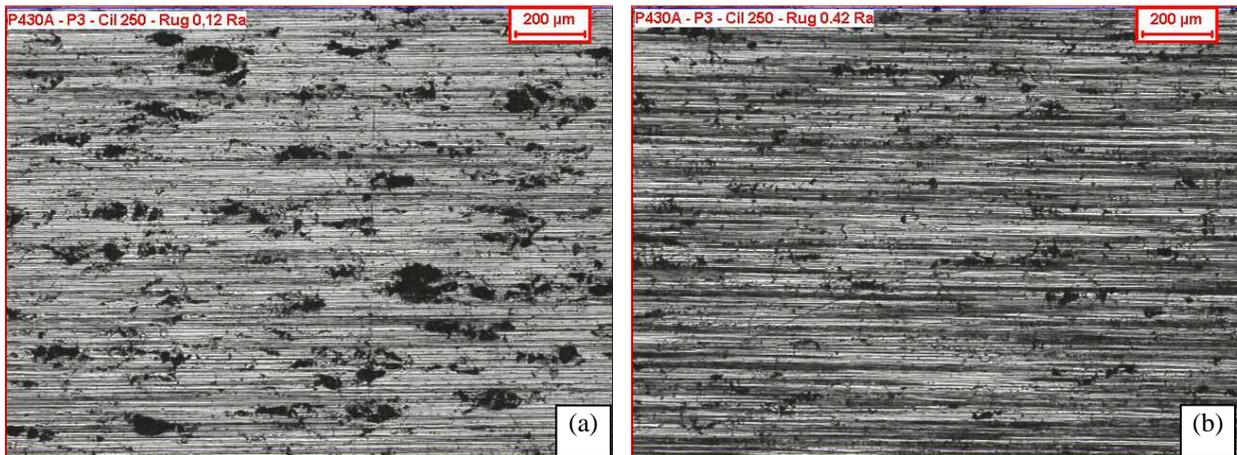


**Figura 5** – Simulação do ciclo do “Box” em laboratório mostrando a evolução da camada branca descarbonetada em relação à temperatura de encharque.

Sob esta ótica, o processo industrial do “Box” foi ajustado, resguardando um tempo mínimo de encharque acima de oito horas a uma temperatura superior a 775°C.

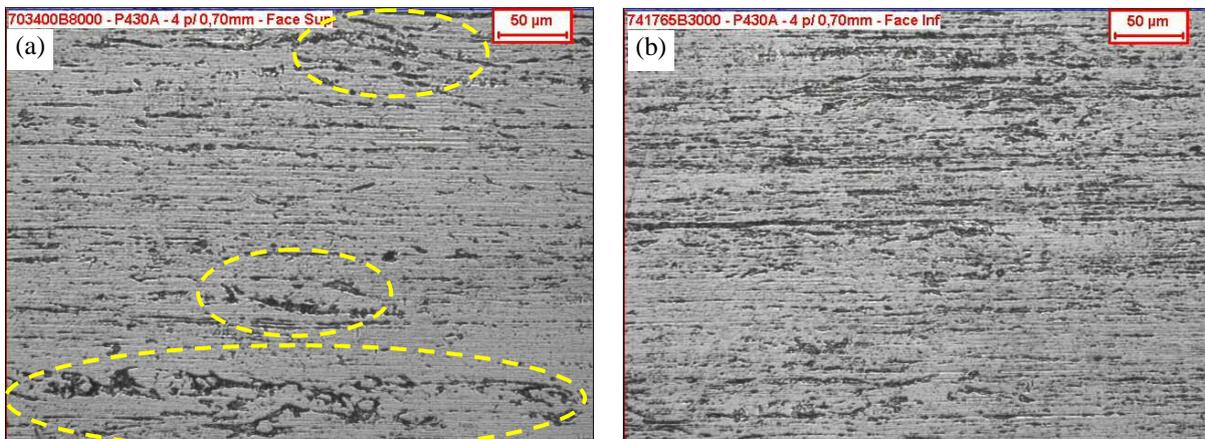
### 3.1 Desenvolvimento das Espessuras entre 0,61 mm e 0,80 mm

O processo de laminação frio deve eliminar a topografia da BQB oriunda da RB3. Neste sentido, a rugosidade do cilindro de laminação rege uma importante regra,<sup>(9)</sup> conforme observado na Figura 6. Um cilindro mais rugoso permite uma maior ação, minimizando as cavidades da superfície.



**Figura 6** – Superfície do aço P430A após redução de 51% na laminação a frio em laboratório. Cilindro utilizado de 250 mm de diâmetro e rugosidade (a)  $0,12 \mu\text{mRa}$  e (b)  $0,42 \mu\text{mRa}$ .

A primeira bobina produzida nesta espessura apresentou uma evolução na qualidade superficial, mas não o suficiente para aprovação. Observa-se na Figura 7a que o material ainda tem muitos defeitos superficiais, originários da BQ, que causam o defeito “fosco”. Para eliminá-los, a rugosidade do cilindro de trabalho a frio acrescida de  $0,25$  para  $0,64 \mu\text{mRa}$ . Na Figura 7b pode ser observada a mudança imposta à superfície. O material ficou “fosco”, mas desta vez, por microdefeitos do cilindro de trabalho, já que os da BQ foram apagados.



**Figura 7** – (a) Bobina laminada com cilindros de rugosidade padrão  $0,25 \mu\text{mRa}$  com defeitos originários de BQ. (b) Bobina laminada com cilindros de rugosidade  $0,64 \mu\text{mRa}$  com defeitos alinhados causados pelo laminador.

Seguindo esta linha de raciocínio, trabalhou-se em uma rugosidade intermediária, estabelecendo uma excelente qualidade superficial para o aço P430A entre as espessuras de  $0,61 \text{ mm}$  e  $0,80 \text{ mm}$ , conforme Figura 8.



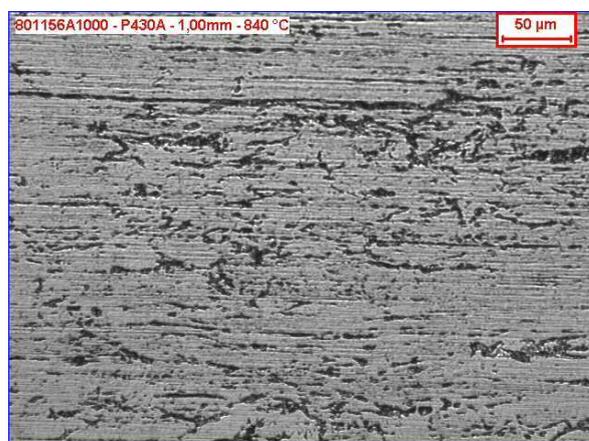
**Figura 8** – Superfície de uma bobina de P430A, 0,70 mm, aprovada após ajuste da rugosidade do cilindro de laminação a frio.

### 3.2 Desenvolvimento das Espessuras entre 0,81 mm e 1,00 mm

Para um produto final do aço P430A 2B\*, padrão na ArcelorMittal Inox Brasil, quanto mais espesso é o material, menos é esperado que este seja brilhante. Tal perda de “brilho” é função direta dos microdefeitos superficiais, que pela menor redução a frio, continuam presentes, afetando o aspecto visual. Neste sentido, não é aplicável a comparação de “brilho” entre materiais para diferentes espessuras, como 0,60 mm e 1,00 mm, principalmente se partiram da mesma bitola de BQ. Por outro lado, em todas as espessuras há uma exigência mínima de reflectância da luz, ou seja, de severidade do defeito “fosco”.

As ações implantadas para a faixa de espessura entre 0,61 mm e 0,80 mm foram aplicadas até 1,00 mm. A melhora na qualidade superficial foi perceptível, mas oscilava entre um nível aprovado e recusado. Este tipo de comportamento provocaria certo grau de incerteza na capacidade de atendimento, devido ao risco de desvio pelo defeito “fosco”.

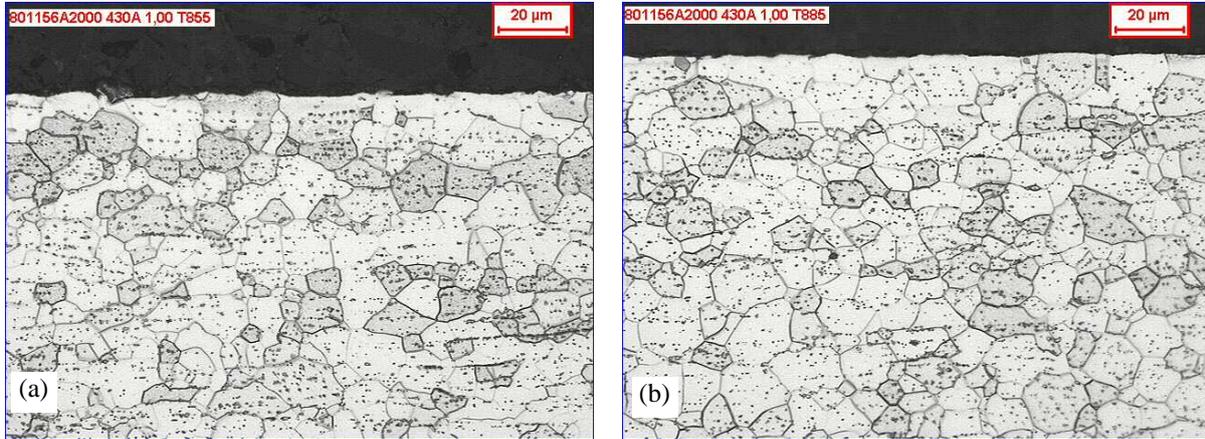
A Temperatura de encharque no recozimento deve promover a recuperação e a recristalização do material, sem permitir a austenitização e por consequência, a formação de martensita durante o resfriamento. Sob esta ótica, trabalhava-se a aproximadamente 840°C, o que não se traduzia em uma boa superfície (Figura 9).



**Figura 9** – Superfície de uma bobina de P430A, 1,00 mm de espessura, reprovada, mesmo após o ajuste da rugosidade do cilindro de laminação a frio.

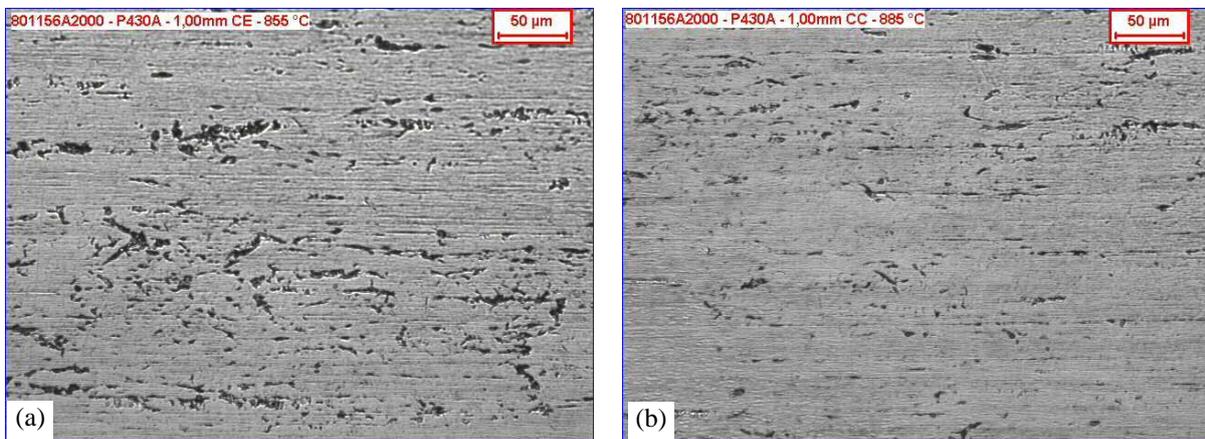
\* 2B – Acabamento superficial produzido após recozimento, decapagem e laminação de encruamento, previsto na norma ASTM-A480/A480M-02. <sup>(10)</sup>

Para melhorar a superfície, além da mudança de rugosidade dos cilindros de laminação, ajustou-se a curva de tratamento térmico na linha de recozimento e decapagem final, RB4. Esta foi alterada suportada pelas análises de laboratório onde não se observou a presença de martensita (Figuras 10a e 10b). Em termos termodinâmicos, a temperatura mais alta permitiria a têmpera, o que não ocorreu devido ao pouco tempo para que a cinética fosse possível.



**Figura 10** – (a) Análise metalográfica de amostras recozidas a 855°C e a (c) 885°C, estando recristalizadas e sem a presença de martensita.

O trabalho em temperatura mais elevada impõe uma maior oxidação superficial, se traduzindo em maior homogeneidade e remoção de pequenos defeitos da superfície após a decapagem. Trata-se então de uma preparação para o processo de laminação de encruamento, de forma a se conseguir um menor nível para o defeito “fosco”, conforme evidenciado na Figura 11.



**Figura 11** – Superfície evidenciando a influência da temperatura de encharque na RB4 a (a) 855°C, com redução dos microdefeitos superficiais, e a (b) 885°C, sendo o melhor resultado.

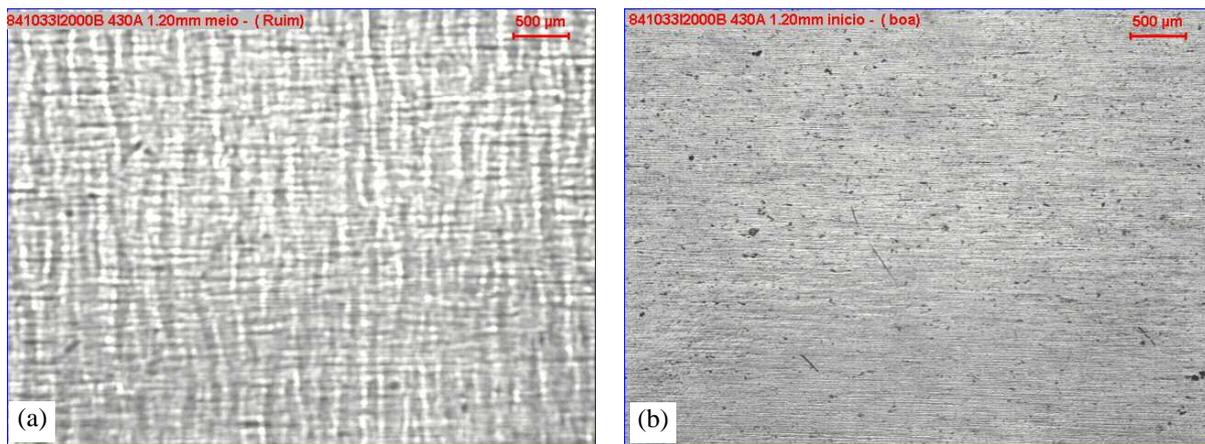
Em função dos resultados obtidos e das tolerâncias operacionais da RB4, passou-se a trabalhar com temperaturas mais altas no recozimento final para espessuras superiores a 0,80 mm.

### 3.3 Desenvolvimento das Espessuras entre 1,01 mm e 1,20 mm

Para esta faixa de espessura, as ações de mudança da rugosidade de cilindro associada ao aumento da temperatura de encharque melhoraram a superfície

consideravelmente, contudo, o laminador de encruamento, LE, passou a ser o limitador. Sem os microdefeitos causadores do “fosco”, não se produzia um melhor nível de qualidade em função de outro defeito superficial, neste caso, oriundo do LE, principalmente em materiais mais espessos. Internamente designado “aspecto de baixo encruamento”, são pequenas ondulações transversais ao sentido de laminação do material que promovem a perda de brilho.

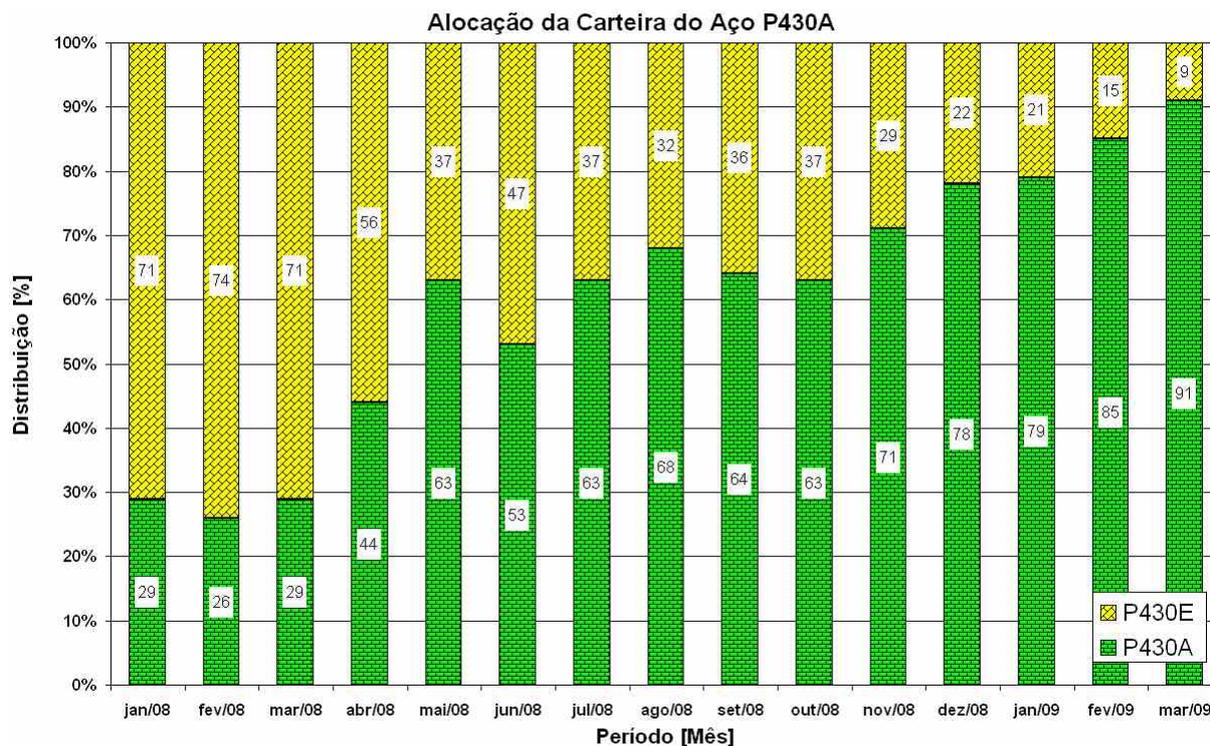
Neste caso, passou a trabalhar com trações mais baixas e cilindros maiores no LE. O aumento do diâmetro do cilindro de trabalho se traduz em uma melhor distribuição de carga na superfície, que por ser brilhante, é mais sensível à visualização de defeitos impostos. Este procedimento trouxe uma evolução da qualidade (Figura 12), permitindo a produção do aço P430A 2B até a espessura de 1,20 mm.



**Figura 12** – Superfície da bobina com o defeito (a) “aspecto de baixo encruamento” provocado pelo LE e (b) sem este defeito.

#### 4 RESULTADOS MENSURÁVEIS PARA A ARCELORMITTAL INOX BRASIL

Com o trabalho desenvolvido, todo material nas espessuras entre 0,60 mm e 1,20 mm para aplicação plana passou a ser especificado e atendido com o aço P430A. A evolução pode ser constatada na Figura 13, mostrando os primeiros resultados em janeiro de 2008, com 29% de substituição e chegando a 78% em dezembro daquele ano. Em março de 2009 foi atingido o índice de 91%, onde os 9% restantes são devido a pedidos específicos de P430E que é um produto mais nobre.



**Figura 13** – Evolução da substituição do aço P430E pelo P430A.

## 6 CONCLUSÕES

Este foi um trabalho de sinergia entre o Centro de Pesquisa e a área de produção, mostrando que:

1. O aumento da rugosidade dos cilindros de trabalho no laminador a frio foi a principal variável modificada que permitiu a produção até a espessura de 0,80mm. Trata-se neste caso de melhorar a capacidade de eliminar a topografia da superfície da BQ após o recozimento e decapagem inicial.
2. O acréscimo da temperatura de recozimento final auxiliou a remoção de imperfeições superficiais originárias dos laminadores e do recozimento e decapagem inicial. Isto facilitou o trabalho do LE em imprimir uma superfície brilhante no material até a espessura de 1,00mm.
3. Para os materiais até a espessura de 1,20mm, além das alterações anteriormente citadas, foi necessário o ajustar as trações e aumentar o diâmetro dos cilindros de trabalho no LE. Isto permitiu evitar a formação do defeito chamado “aspecto de baixo encruamento”.

## REFERÊNCIAS

- 1 LABIAPARI, Wilian da S., BATISTA, José C., FERREIRA, José Sérgio, OLIVEIRA, Tarcísio Reis de, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, COIMBRA, Diogo de Souza, RT10-552/2007- ACESITA S.A.- Descrição dos Tipos de Defeito “Fosco” no Aço P430A.
- 2 LABIAPARI, Wilian da S., BATISTA, José C., FERREIRA, José Sérgio, OLIVEIRA, Tarcísio Reis de, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, COIMBRA, Diogo de Souza, RT10-594/2007- ACESITA S.A.- Desmistificando o Defeito “Fosco” para Obter o Sucesso do P430A 2B-brilhante.
- 3 LABIAPARI, Wilian da S., FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., MACHADO, Valdomiro Crispim - RT10-536/2006 - ACESITA S.A. - Avaliação de Bobinas do Aço 430A da Acesita no Processo “Bright Annealing – BA” e 2B de Gueugnon.

- 4 LABIAPARI, Wilian da S., FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., FOUBERT, Jerome, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, COIMBRA, Diogo de Souza - RT10-533/2006 - ACESITA S.A. - Avaliação das Unidades Metálicas de Carlam e Gueugnon no Processo da Acesita.
- 5 LABIAPARI, Wilian da S., ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, OLIVEIRA, Tarcísio Reis, FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., CUNHA, Cleber Barros - RT10-575/2007 - ACESITA S.A. - Susceptibilidade da Superfície da BQ do Aço P430A ao Defeito "Fosco" na BF, Avaliado Após o Processo "Box".
- 6 LABIAPARI, Wilian da S., ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, SILVA, Ronaldo Claret Ribeiro, BATISTA, José C., FERREIRA, José Sérgio, COURA, Gilvan, CUNHA, Cleber Barros, SANTOS, Paulo H. dos, MOTA, José R. de F., Melhoria da Qualidade Superficial do Aço Inoxidável P430A 2B-Brilhante, RT10-594/2007- ACESITA S.A.- Desmistificando o Defeito "Fosco" para Obter o Sucesso do P430A 2B-brilhante - 45º Seminário de Laminação Processos e Produtos Laminados e Revestidos - ABM, Porto de galinhas, PE, Brasil, Out-2008.
- 7 SANTOS, Rafael W. F., HECK, Nestor C. – Estudo da Interação Aço / Atmosfera em Fornos de Tratamento Térmico – UFRS – Escola de Engenharia de Materiais, September – 2008.
- 8 FARINA, Alexandre – Estagiário USP, OLIVEIRA, Tarcísio: Orientador Centro de Pesquisa ArcelorMittal Inox Brasil. Resultado Parcial de Estudo com Universidade sobre a Dissolução de Precipitados do aço P430A/E – 2008.
- 9 LABIAPARI, Wilian da S., FERREIRA, José Sérgio, BATISTA, José C., FOUBERT, Jerome, ALCÂNTARA, Cláudio Moreira, OLIVEIRA, Tarcísio Reis, COIMBRA, Diogo de Souza - RT10-555/2007 - ACESITA S.A.- Estudo da Rugosidade, Diâmetro de Cilindro e Redução nos Passes de Laminação a Frio dos Aços P430A e P430E.
- 10 ASTM-A480/A480M-02, Standard Specification for General Requirements for Flat-Rolled Stainless and Heat-Resisting Steel Plate, Sheet, and Strip, pag 3, 2002.