

ASPECTOS MERCADOLÓGICOS E METALÚRGICOS ASSOCIADOS A PRODUÇÃO
DE CHAPAS GROSSAS DE AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

- Sr. Luiz Alves Amorim Júnior (1)
Sr. Luiz Eduardo Negrisoni R.Oliveira (2)
Engº Josemar G. Ferreira (3)
Prof. Dr. Ronald Lesley Plaut (4)

Dentro do enfoque deste seminário, que visa analisar os desenvolvimentos e perspectiva do setor de aços inoxidáveis, é nossa intenção comentar sobre a existência de uma empresa produtora que busca atender integralmente a demanda do mercado nacional, relativo a chapas grossas de aços inoxidáveis austeníticos.

-
- (1) Diretor Comercial - Plaminox S/A.
(2) Gerente Administrativo-Financeiro - Plaminox S/A.
(3) Gerente de Controle de Qualidade - Plaminox S/A.
(4) Prof. Doutor - Departamento de Engenharia Metalúrgica da EPUSP

1. Aspectos Mercadológicos Associados a Produção de Chapas Grossas de Aço Inoxidável.

O Projeto "Plaminox" foi concebido principalmente a partir da necessidade de substituir importações, com o objetivo de produzir chapas grossas de aços inoxidáveis da série 300, de acordo com as Normas ASTM A240 e A480, nas espessuras de 6,35 até 51mm.

A convocação realizada pela ACESITA - Cia. de Aços Especiais Itabira, em dezembro de 85, com intuito de estabelecer junto à mesma, uma empresa que produzisse tais chapas grossas, fez surgir em empresários brasileiros a intenção de investir US\$ 15.000.000,00 no projeto: PLAMINOX S/A.

Iniciou-se, então, a elaboração do projeto, que previa uma linha de produção que atendesse todas as necessidades apontadas, e que, principalmente, buscasse colocar as chapas dentro de normas cujo padrão de qualidade fosse aceito internacionalmente.

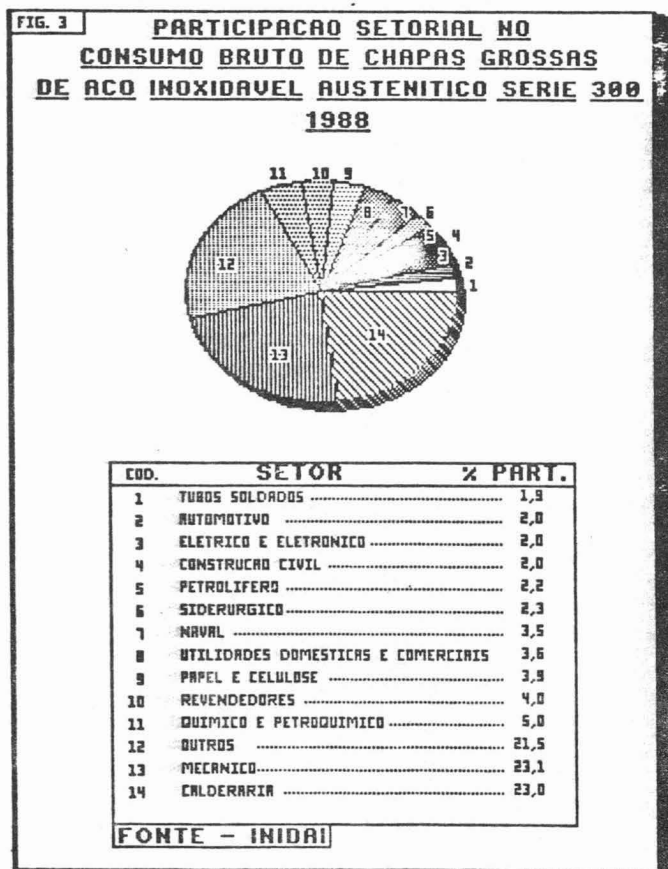
Contando com o total apoio da própria ACESITA e de órgãos governamentais, tais como: CONSIDER, CDI, INDI, BNDES, BDMG, GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS, PREFEITURA DE TIMÓTEO, os empresários puderam, então, realizar a efetivação do projeto em um prazo de, aproximadamente, 3 anos.

Com base no que existe de mais moderno, em termos de equipamentos nas melhores indústrias deste ramo, a nível mundial, foram instalados equipamentos específicos visando atender as necessidades do mercado nacional, em uma primeira fase para, posteriormente, alcançar o mercado internacional.

A Plaminox encontra-se instalada numa área de 50.000 m², com 6.000 m² de área construída e uma capacidade instalada de 24.000 t/ano, contando com mais de 1.000 empregados diretos e indiretos.

As chapas grossas de aços inoxidáveis austeníticos são largamente utilizadas em diferentes setores, tais como: automotivo, elétrico e eletrônico, construção civil, petrolífero, siderúrgico, naval, papel e celulose, química e petroquímica, mecânica, caldeiraria e, açúcar e álcool, onde as características de resistência à agressão química e/ou térmica, são fatores determinantes na escolha deste material.

A figura 3 ilustra a participação setorial no consumo bruto de chapas grossas de aço inoxidável austeníticos da série 300, para o ano de 1988. Observemos a participação preponderante dos setores mecânico e caldeiraria.



A figura 1 ilustra um aspecto externo das instalações, e a figura 2, um aspecto interno.

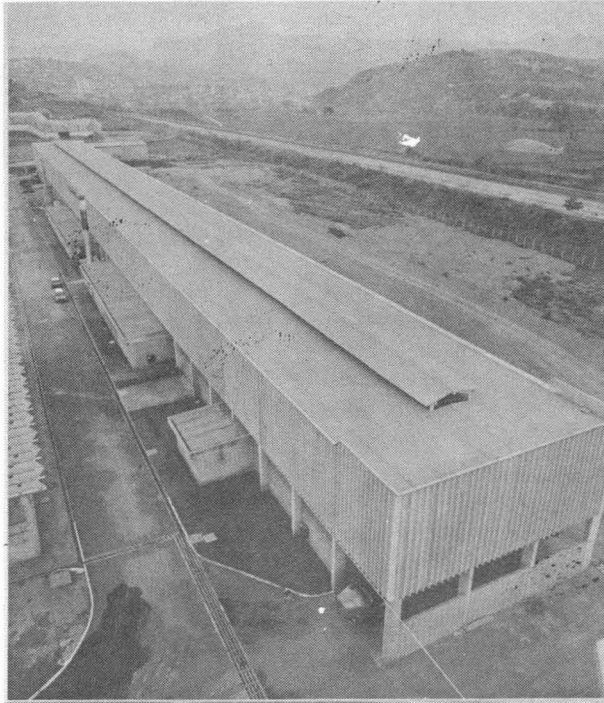


FIG.01

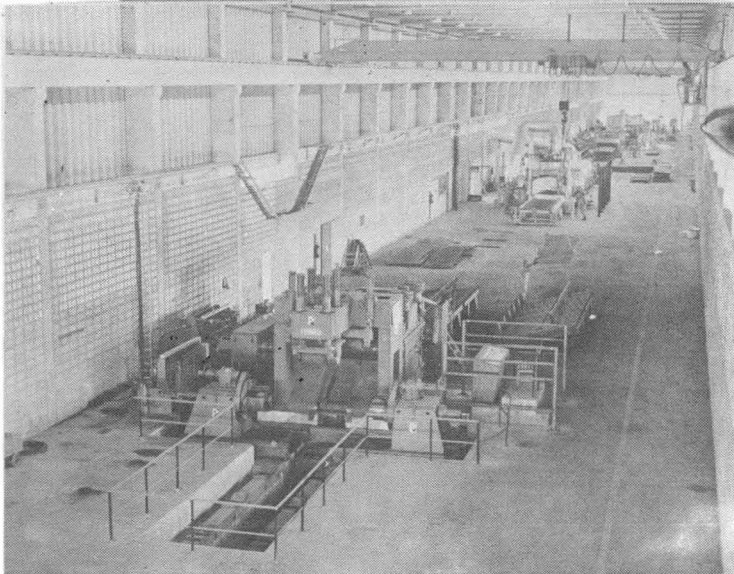


FIG.02

As figuras de 4 a 6 ilustram a evolução da demanda nacional de chapas grossas para os diferentes tipos de aços inoxidáveis austeníticos, a saber: AISI 304, 304L, 316 e 316L, no período de 1980 a 1988. A partir desta data, é indicada a evolução mensal, quando da entrada em operação da Plaminox.

FIG.04

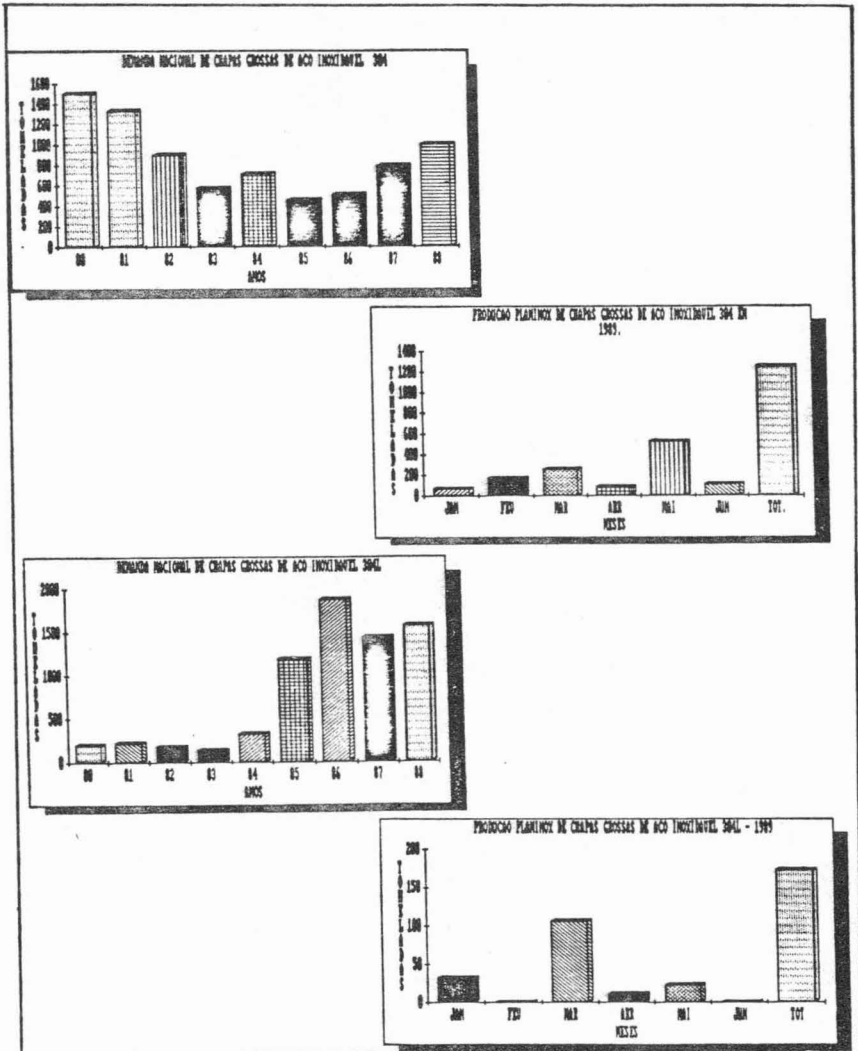
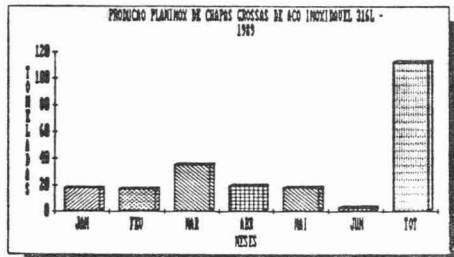
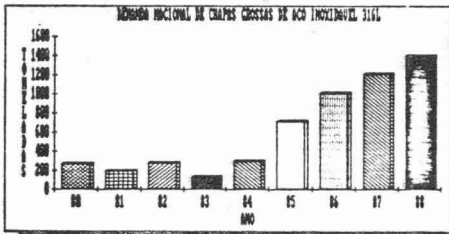
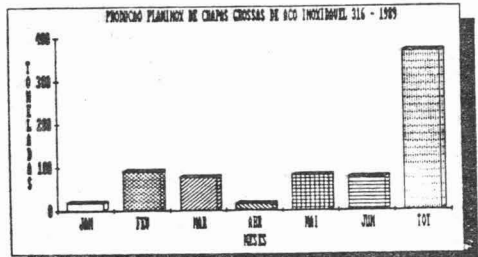
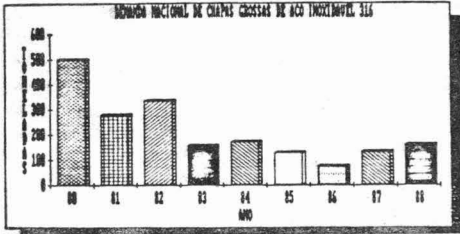


FIG.05



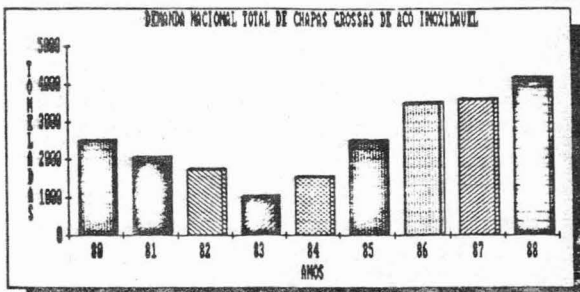
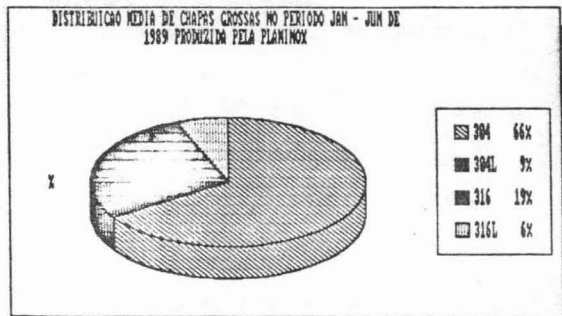
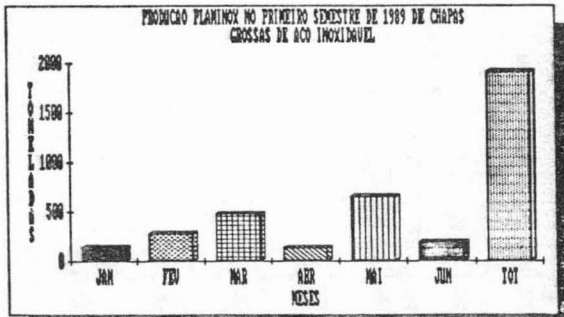
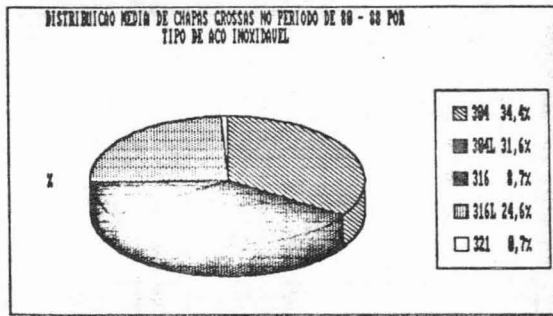


FIG. 06



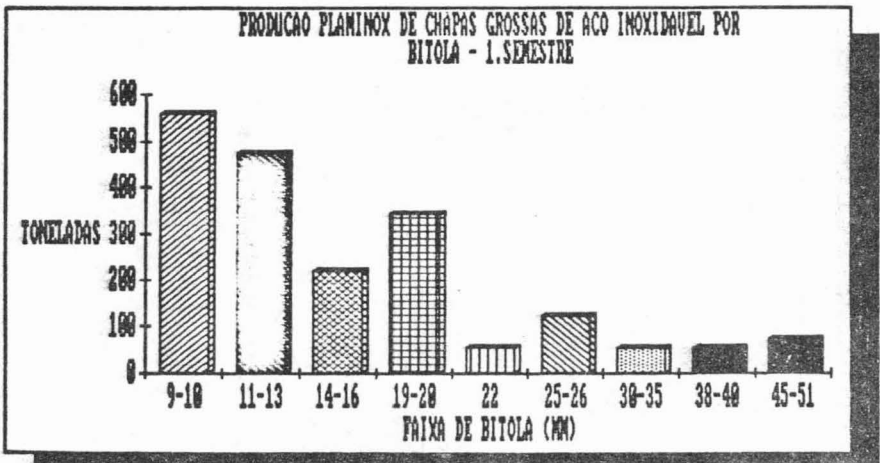
Os dados do INIDAI, refletem a demanda nacional, não estando computados nes ses valores, as importações diretas realizadas pelo sistema "Draw-Back" e Befiex.

Pela análise destas figuras, percebe-se um incremento na demanda a partir ' de 1984, mantendo esta tendência em 1989, se-lo que, desse total, o INIDAI representa 56,3%.

Esse incremento é da ordem de 800 t/ano. Fazendo-se uma projeção para 1989, podemos estimar uma demanda, para este ano, de 5.000 t, das quais, 40% já foram atendidas no primeiro semestre, restando 3.000 t para o segundo seme stre, estando a Plaminox plenamente capacitada para o atendimento total da demanda nacional.

A figura 7 apresenta para o ano de 1989 (até junho) a distribuição por bitola, a produção realizada pela Plaminox.

FIG.07



As figuras 8 a 14 ilustram algumas aplicações típicas das chapas grossas fornecidas pela Plaminox.

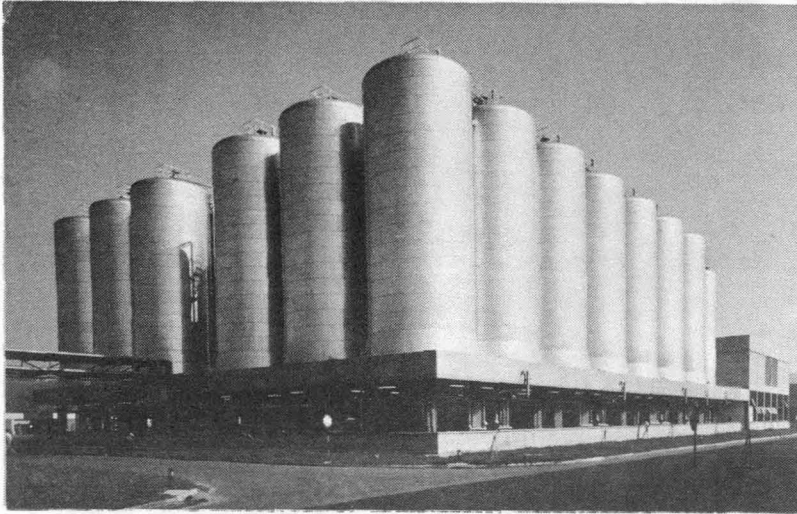


Fig. 8: Tanque Fermentador de Cerveja construído em aço AISI 304, para a indústria alimentícia (espessura 9mm) - Jacareí-SP.

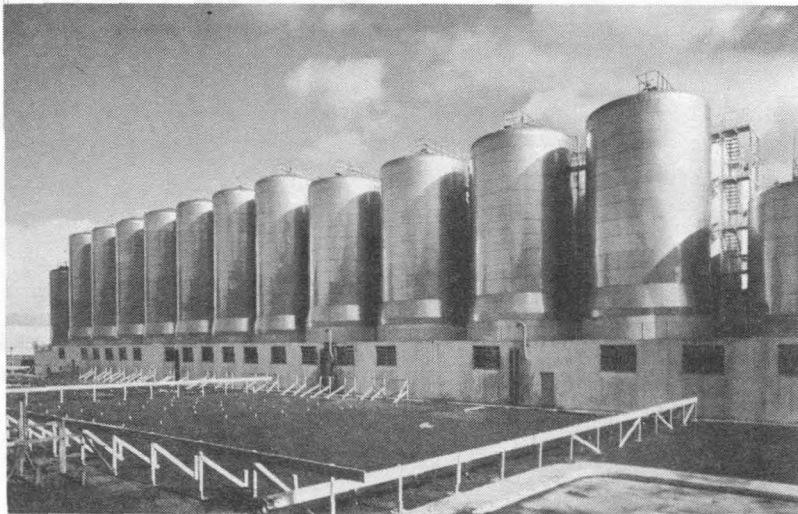


Fig. 9: Tanque Fermentador de Cerveja construída em aço AISI 304, para a indústria alimentícia (espessura 9mm). Jacarepaguã - RJ.

CORTEZIA - NORDON INDÚSTRIA METALÚRGICA S/A.

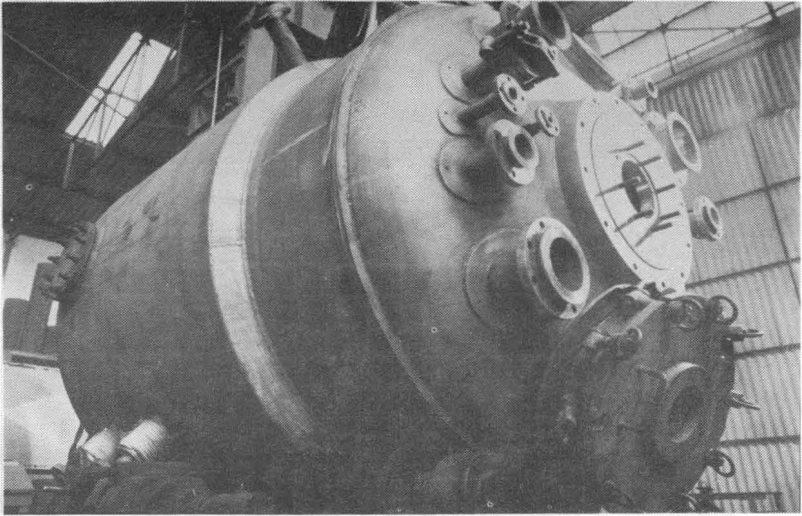


Fig. 10: Reator construído em aço AISI 316L, para a indústria química

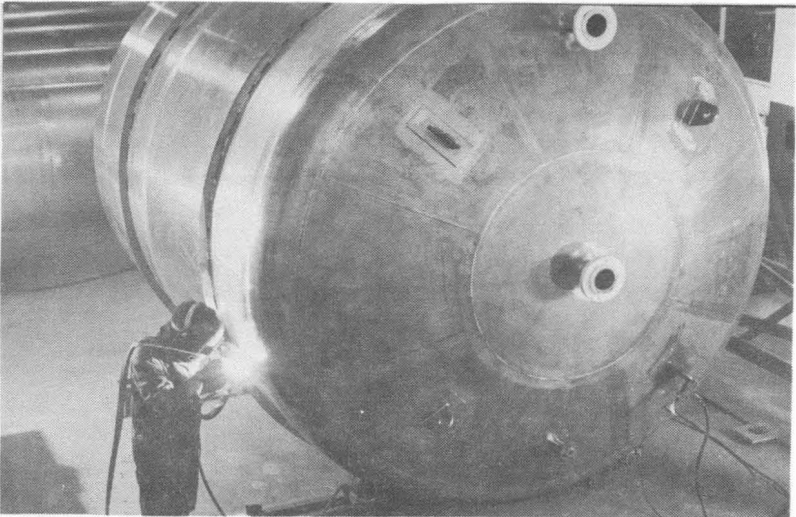


Fig. 11: Vaso de Pressão construído em aço AISI 316L, para a indústria química

CORTEZIA - EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS JEAN LIEUTAUD LTDA.



Fig. 12: Rosca Repolpadora construída em aço AISI 304L, para a indústria de papel e celulose

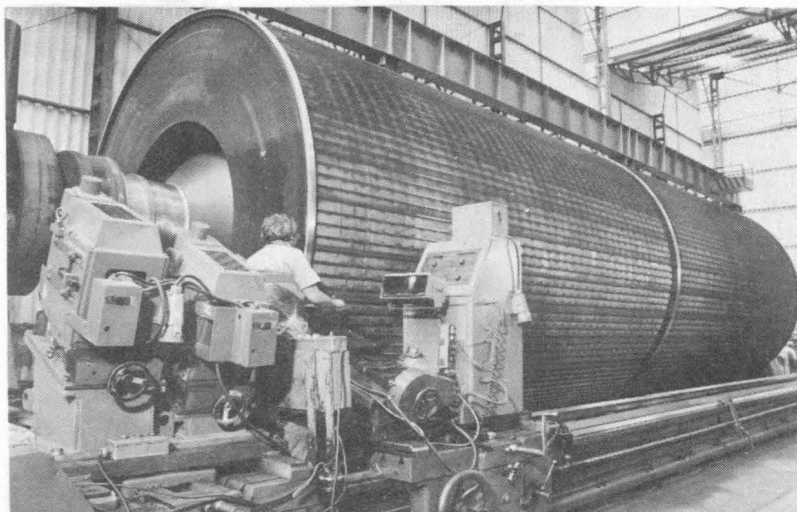


Fig. 13: Filtro Corudek fabricado em aço AISI 304L, para a indústria de papel e celulose, para filtrar pasta de celulose
CORTEZIA - EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS JEAN LIEUTAUD LTDA

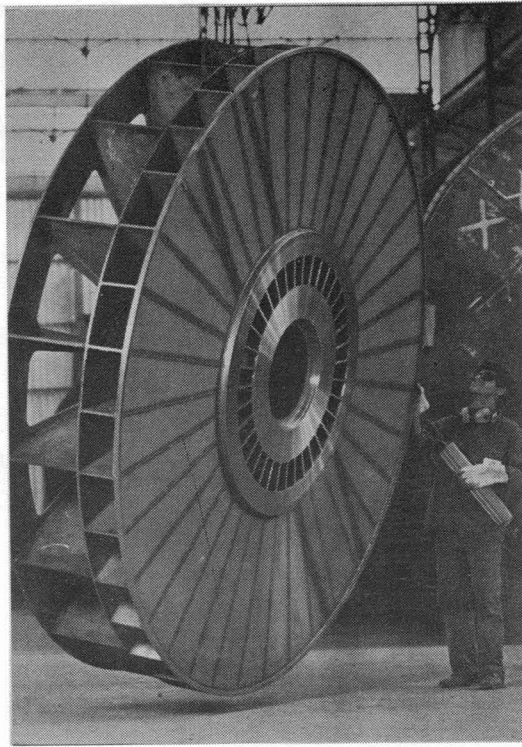


Fig. 14: Rotor fabricaado em aço AISI 304L, componente integrante do filtro Corudeck

A figura 15 ilustra esquematicamente o fluxograma empregado na produção de chapas grossas de aços inoxidáveis austeníticos tratados termicamente pela Plaminox, onde destacamos os seguintes equipamentos:

- A LCT (Linha de Corte Transversal), tem uma capacidade de corte de até 14 mm, velocidade de operação de 4 a 14 m/min, o que proporciona uma produção teórica de 20 t/h, ou seja, 20 chapas/h nesta etapa;
- O Forno (G.L.P.), com uma capacidade de carga de 3,8 t/h, é dotado de setor de refrigeração forçada (água);
- Uma unidade de plasma para corte de chapas grossas, com espessuras acima de 25 mm, sendo que para espessuras inferiores o corte é efetuado em tesoura guilhotina;
- A etapa seguinte é o desempenho das chapas grossas;
- Para o estágio de acabamento das chapas, é efetuada a etapa da decapagem química (HF + HNO₃), no aço inoxidável.

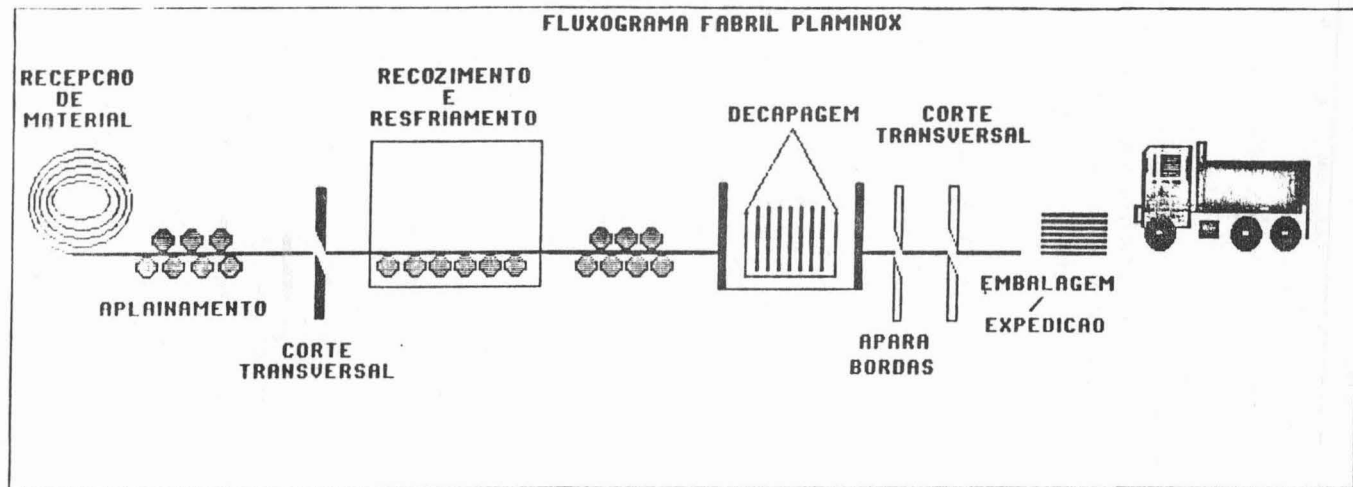


FIG. 15

Cada chapa processada é acompanhada desde a sua recepção, por um rigoroso processo de controle de qualidade, que possibilita uma alta confiabilidade das suas propriedades químicas e físicas. Este Controle de Qualidade, base para o rastreamento, é indispensável para o atendimento dos requisitos das normas, acima citadas.

Os clientes da Plaminox recebem um Certificado de Qualidade de cada chapa, contendo as dimensões do produto, a composição química, características metalúrgicas e as propriedades mecânicas, assegurando, assim, a utilização do produto em seu próprio processo de industrialização.

2. Aspectos Metalúrgicos Associados ao Tratamento Térmico de Chapas Grossas de Aço Inoxidável Austenítico

Introdução

O tratamento térmico de Aços Inoxidáveis Austeníticos, na forma de chapas grossas, com espessuras de 6,35 mm até 51 mm, é efetuado visando modificar a estrutura metalográfica, as propriedades mecânicas, o nível de tensões residuais, bem como restaurar a máxima resistência à corrosão, quando esta propriedade foi afetada adversamente por processamento prévio. Frequentemente, a combinação de uma resistência à corrosão satisfatória é obtida conjuntamente com a otimização das propriedades mecânicas no mesmo tratamento térmico.

Nos Aços Inoxidáveis Austeníticos da série AISI 300, quando resfriados rapidamente da temperatura de recozimento (1008 °C - 1120 °C), o carbono permanecerá em solução sólida super-saturada, não se verificando nenhum efeito deletério de precipitação de carbonetos (1).

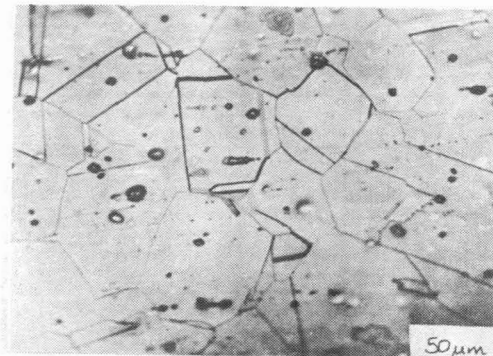


Fig. 16: Microestrutura típica de aço inoxidável série AISI 300. Ataque eletrolítico-ácido oxálico - Estrutura em Degrau -

No entanto, se por razões de processamento, quer durante a conformação mecânica, quer durante a solda, tivermos um esfriamento mais lento, verificaremos a precipitação de carbonetos, genericamente $M_{23}C_6$, onde o radical M é basicamente Cr, Fe ou Mo na forma de $Cr_{23}C_6$, $(Cr, Fe)_{23}C_6$ ou $(Cr, Fe, Mo)_{23}C_6$.

A consequência prática desta precipitação será a degradação da resistência à corrosão intergranular, conhecida por sensitização (fig. 17).

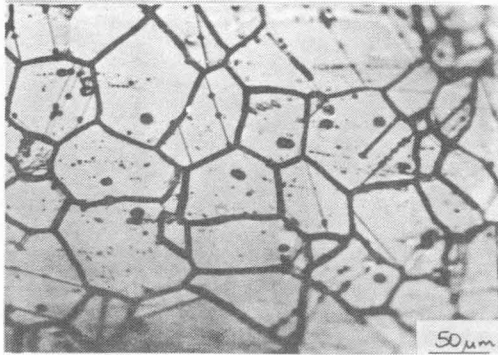


Fig. 17: Microestrutura típica de aço inoxidável série AISI 300. Ataque eletrolítico-ácido oxálico - Estrutura Valetada -

Sensitização e a Prática Operacional

A sensitização resulta do empobrecimento de cromo junto aos contornos de grão decorrente da formação do carboneto, acima mencionado.

Mulford (2) conduziu estudos em ligas comerciais da série AISI 300 empregando espectroscopia eletrônica de Auger em conjunto com microscopia eletrônica de transmissão, evidenciando este empobrecimento, como exemplificado nas figuras 18 e 19.

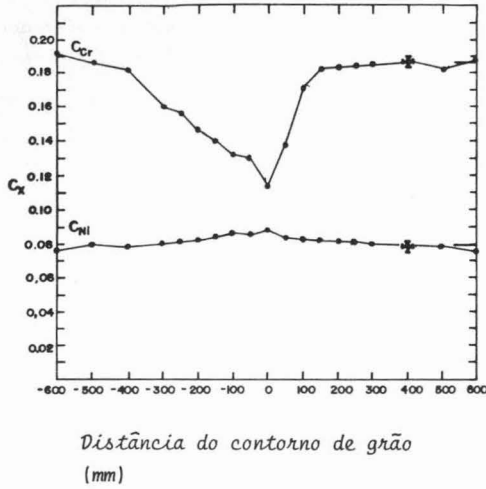


Fig. 18: Perfil de composição ao longo do contorno de grão em aço AISI 304L - evidenciando a variação dos teores de níquel e de cromo (fração em peso) em função da distância do contorno de grão (2).

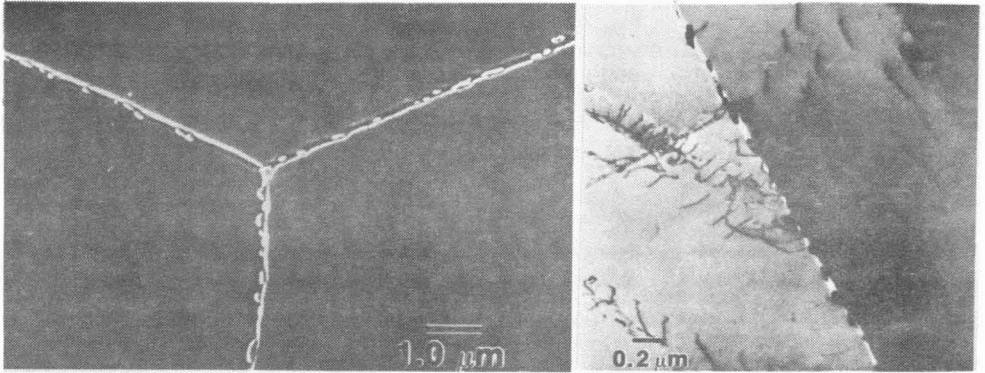


Fig. 19: Imagem de elétrons secundários em microscópio eletrônico de transmissão em contorno de grão, evidenciando partículas de $M_{23}C_6$.

- Carbonetos Precipitados (5) -

É importante lembrarmos que o carbono difunde rapidamente nestas ligas, com parativamente com o cromo, de modo que, quantidades significativas de cromo são retiradas de um volume de material bem próximo do carboneto em crescimento e ao longo do contorno de grão adjacente ao carboneto.

Lembremos, também, que o cromo é o elemento-chave associado a resistência à corrosão de aço, de modo que este empobrecimento de cromo é que conduz à susceptibilidade a corrosão intergranular.

O empobrecimento em cromo na matriz austenítica tem sido demonstrado como sendo a causa primária da sensitização, porém vários trabalhos (1) (3) têm incluído outras variáveis que alteram a termodinâmica e/ou a cinética de formação do carboneto no contorno de grão. São citadas variáveis, tais como: conformação a frio, presença de martensita, tamanho de grão e de elementos que alteram a atividade de cromo ou do carbono na liga metálica ou ainda que segregam no contorno de grão e, portanto, retardam a nucleação e crescimento do carboneto (presença de fósforo, enxofre, nitrogênio, molibdênio, boro), principalmente na faixa crítica de sensitização de 850 °C a 450 °C.

A sensitização tem sido estudada, de acordo com Loria (3), através das curvas tempo - temperatura - sensitização (TTS), isotérmicas, válida para o tratamento térmico, bem como através das curvas de resfriamento contínuo-sensitização (CCS), de estudo mais recente (4), válidas principalmente para condições de solda.

Nos estudos de sensitização isotérmica as variações principais são a temperatura e o tempo de permanência na temperatura isotérmica, ao passo que no resfriamento contínuo são a temperatura máxima e a velocidade de resfriamento.

Neste ponto, é importante frisarmos que, durante o tratamento térmico de chapas grossas, devemos levar em conta tanto as curvas TTS como as curvas CCS, uma vez que, com o aumento da espessura haverá uma diminuição da velocidade de resfriamento, partindo-se da temperatura de solubilização. Essa temperatura, por sua vez é crescente em função do teor de carbono nos aços 18 Cr - 10 Ni - Fe, como pode ser visto na figura 20 (1).

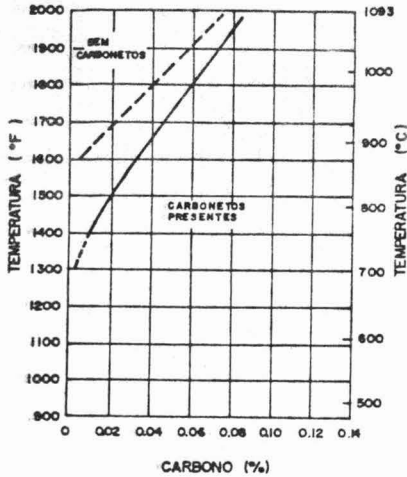


Fig. 20: Solubilidade do carbono nas ligas Fe-Cr-Ni

A tabela 1 resume ciclos típicos de tratamento térmico de solubilização, em pregados na Plaminox.

TABELA 1 - CICLOS TÍPICOS

AÇO AISI 304

<u>% C</u>	<u>TEMPERATURA DA CHAPA (°C)</u>
0,02	1.050
0,02 - 0,03	1.060
0,03 - 0,05	1.070
0,05 - 0,06	1.080
0,06 - 0,07	1.090
0,07 - 0,08	1.100

AÇO AISI 316

<u>% C</u>	<u>TEMPERATURA DA CHAPA (°C)</u>
0,03	1.100
0,03 - 0,06	1.110
0,06 - 0,08	1.120

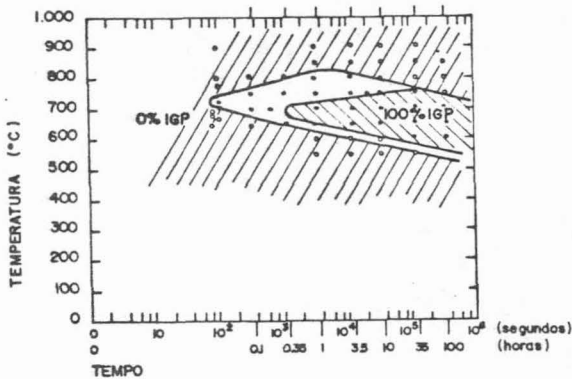
TEMPOS

1,4 min/mm de espessura

Por esta prática operacional, observamos que deveremos ter a completa solubilização dos carbonetos na chapa grossa.

Após esta solubilização, estas chapas grossas deverão sofrer subsequentemente o resfriamento em velocidade tal que evite sensitização e, por outro lado, não cause um empenamento excessivo no material.

Neste sentido, as figuras 21 e 22, ilustram algumas curvas TTS para os aços 304 e 316.



Sensitização Isotérmica - A262E corpos de prova solubilizados a 1.100 °C-1 h, esfriados em água.

Fig. 21: Cinética de precipitação para o aço AISI 304. (6)

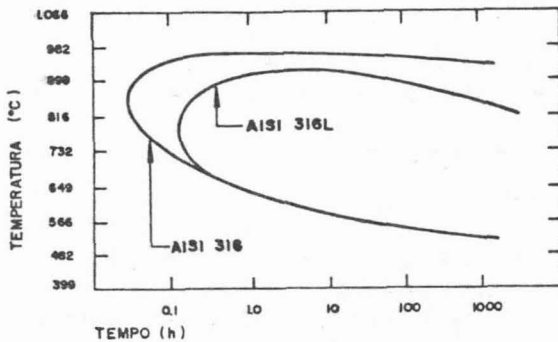


Fig. 22: Cinética de precipitação para os aços AISI 316 e 316L (1)

Por outro lado, a figura 23 (3) - associada à curva CCS - ilustra a velocidade crítica de esfriamento em função do teor de carbono para o aço AISI 304 (1).

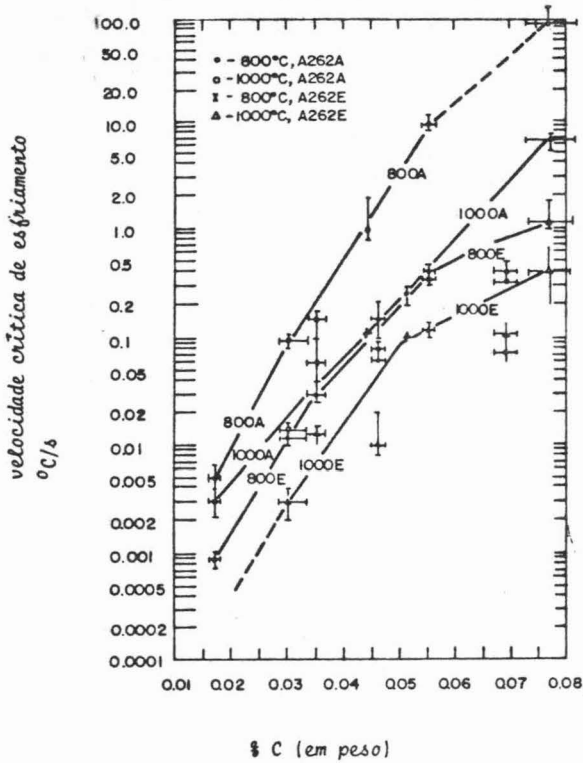


Fig. 23: Curva CCS - velocidade crítica de esfriamento para o aço AISI 304. Aquecido a 1000 $^{\circ}\text{C}$ (para tratamento térmico) e 800 $^{\circ}\text{C}$ (para soldagem) (3) (4)

Lembramos que o valor da velocidade crítica é aquela abaixo da qual é verificada a sensitização, de acordo com as práticas A262A ou 262E.

No que tange a estas, convém lembrar que a prática A262A avalia a precipitação de carbonetos, ao passo que a prática A262E avalia a sensitização avaliadas através da metalografia quantitativa, respectivamente pela porcentagem de ataque intergranular (§ IGA- em literatura inglesa) e pela porcentagem de penetração intergranular (§ IGP- em literatura inglesa) (4).

As normas ASTM A240 e A480 utilizam a prática A262A, empregando o critério de aceita/não aceita, mas não necessariamente implicando na rejeição do material. Caso não tenha passado por esta prática, somente então é que se aplica os demais testes ácidos, tais como: A262B até E, como base para rejeição, onde este último é empregado com maior frequência.

A prática corrente da Plaminox é tal que visa, através do tratamento térmico obter mediante o empregado do teste A262A, a eliminação da estrutura valetada.

É importante lembrar que nas aplicações subsequentes destas chapas grossas, tais como aquecimento para conformação da chapa ou soldagem, devemos levar em consideração a figura 23, onde podemos observar que, para temperaturas de aquecimento da ordem de 800 °C, a velocidade crítica de esfriamento é maior do que aquela quando o tratamento térmico em temperaturas superiores a 1000 °C. Em outras palavras, é necessário tomarmos as devidas precauções durante o aquecimento subsequente destas chapas grossas, mesmo após o tratamento térmico de solubilização, efetuado pela Plaminox.

Conclusão:

Com base no exposto acima, podemos concluir:

1. A Plaminox encontra-se capacitada para atender integralmente a demanda nacional de chapas grossas de aço inoxidável austenítico, da série 300, fornecidos pela Acesita, nas bitolas de 9 a 51mm, de acordo com as Normas ASTM A240 e A480 suprimindo portanto, eventuais importações.
2. A capacidade excedente de produção da Plaminox deverá em futuro próximo, ser direcionada ao mercado internacional.
3. É necessário tomarmos as devidas precauções durante o aquecimento subsequente de chapas grossas através da conformação a quente ou de soldagem, para que não se percam as propriedades adquiridas quando do tratamento térmico efetuado pela Plaminox.

Referências Bibliográficas

1. Peckner, D., Bernstein I.M. -
"handbook of Stainless Steels" -
Mc Graw - Hill
2. Mulford, R.A. et al.
Corrosion - Nace
Vol. 39, nº 4, abril, 1983, páginas 132 - 139
3. Loria, E.A.
J. of Testing and Evaluation
Vol. 14, nº 2, março de 1986, páginas 81 - 96
4. Solomon, H.D.
Corrosion - Nace
Vol. 40, nº 2, fevereiro, 1984, páginas 51 - 59
5. Briant, C.L. et al
Corrosion Nace
Vol. 38, nº 9, setembro, 1982 - páginas 468 - 477
6. Solomon, H.D.
Corrosion - Nace
Vol. 34, nº 6, junho, 1978 - páginas 183 - 193

