

DEVELOPMENT OF NEW HOT ROLLED WEATHERING STEELS AT COSIPA: THE NEW COS-AR-COR 300 AND 350 GRADES

Marcos Roberto S. da Silva ⁽¹⁾
José Herbert Dolabela da Silveira ⁽²⁾
Antonio Augusto Gorni ⁽³⁾
José Ricardo Peçanha Guia ⁽⁴⁾
Nelson Capiotto ⁽⁵⁾
Heli Lacerda Gomes ⁽⁶⁾
Cleyton de Campos Filho ⁽⁷⁾

ABSTRACT

The COSIPA hot strip mill supplies flat products for several applications to the internal and external market. A product line that is growing in the hot strip mill production mix is the weathering steels designed as COS-AR-COR.

COSIPA already produces hot coils of COS-AR-COR 400/400E and 500 copper weathering steels that already have their specification parameters and operational procedures consolidated with excellent performance in terms of mechanical properties, corrosion resistance and applicability at the customers.

In order to further advance this kind of products, COSIPA has developed two new low copper, high silicon weathering steels, COS-AR-COR 300 and 350. This paper shows the characteristics and applicability of these two new weathering steels manufactured in COSIPA.

Keywords: Hot strip mill, weathering steels, silicon.

-
- (1) Metallurgical Engineer, Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: marcoasilva@cosipa.com.br
 - (2) Metallurgical Engineer, M. Eng., Chief of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: herbert@cosipa.com.br
 - (3) Materials Engineer, M. Eng., Dr. Eng., Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: gorni@cosipa.com.br
 - (4) Metallurgical Engineer, Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: joseguia@cosipa.com.br
 - (5) Chemistry Bacharel, M.Chemical, Product Analyst of Integrated & Product Management, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: capiotto@cosipa.com.br
 - (6) Metallurgical Technician, Process Assistant of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. Email: heligomes@cosipa.com.br
 - (7) Electrical Engineer, Administrative Assistant of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: cleytoncampos@cosipa.com.br

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS AÇOS PATINÁVEIS LAMINADOS A QUENTE NA COSIPA COS AR COR 300 E 350

Marcos Roberto S. da Silva ⁽¹⁾
José Herbert Dolabela da Silveira ⁽²⁾
Antonio Augusto Gorni ⁽³⁾
José Ricardo Peçanha Guia ⁽⁴⁾
Nelson Capiotto ⁽⁵⁾
Heli Lacerda Gomes ⁽⁶⁾
Cleyton de Campos Filho ⁽⁷⁾

INTRODUÇÃO

Sabe-se, há mais de 80 anos, que a adição de pequenas quantidades de cobre, exerce um efeito benéfico sobre os aços, reduzindo a velocidade em que são corroídos quando expostos às condições atmosféricas normais. De maneira geral, uma adição de 0,20% de cobre duplica a resistência à corrosão atmosférica dos aços estruturais. Esse novo conceito de liga começou a ser massivamente aplicada no início da década de 30, com o surgimento dos aços estruturais *Cor-Ten*, então usados especialmente na indústria ferroviária [1,2].

O que distingue essa liga peculiar em relação aos aços comuns é o fato de que, sob certas condições ambientais de exposição, ela desenvolve uma camada de óxidos aderentes e protetores, chamada de pátina, que atua reduzindo a velocidade do ataque dos agentes corrosivos presentes no meio ambiente.

Na década de 1950 este material começa a ser especificado por arquitetos para a construção de estruturas de edifícios, sendo que a ferrugem formada constituía por si mesma um revestimento protetivo não só aceitável como atraente. A partir de então, os aços patináveis foram cada vez mais utilizados com sucesso em inúmeras obras civis, especialmente onde se deseja reduzir a necessidade de manutenção, especialmente a pintura periódica.

Os aços patináveis, enquadrados em diversas normas que especificam limites de composição química e propriedades mecânicas, têm sido utilizados no mundo todo na construção de edifícios com múltiplos andares, pontes, viadutos, passarelas, defensas, torres de transmissão, telhas, etc. Sua grande vantagem, além de dispensarem a pintura em certos ambientes, é possuir resistência mecânica maior de que a dos aços estruturais comuns.

No Brasil, aços deste tipo também encontram grande aceitação entre os engenheiros, sendo utilizados em diversos edifícios, viadutos e pontes espalhados pelo Brasil. Pode-se citar como exemplos de arquitetura as estruturas da catedral de Brasília e do edifício-sede da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais (ABM) em São Paulo.

-
- (1) Metallurgical Engineer, Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: marcoasilva@cosipa.com.br
 - (2) Metallurgical Engineer, M. Eng., Chief of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: herbert@cosipa.com.br
 - (3) Materials Engineer, M. Eng., Dr. Eng., Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: gorni@cosipa.com.br
 - (4) Metallurgical Engineer, Process Analyst of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: joseguia@cosipa.com.br
 - (5) Chemistry Bacharel, M.Chemical, Product Analyst of Integrated & Product Management, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP. E-Mail: capiotto@cosipa.com.br
 - (6) Metallurgical Technician, Process Assistant of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. Email: heligomes@cosipa.com.br
 - (7) Electrical Engineer, Administrative Assistant of the Hot Rolling Technical Support Group, Companhia Siderúrgica Paulista - COSIPA, Cubatão SP, Brazil. E-Mail: cleytoncampos@cosipa.com.br

Esses aços continuam sendo usados na construção de vagões ferroviários que dispensam pintura, como algumas centenas da unidades que foram recentemente incorporados à frota da Brasil Ferrovias.

A presença de outros elementos associados ao cobre, tais como níquel, silício, cromo, fósforo e molibdênio, melhoram ainda mais resistência à corrosão atmosférica do aço. O custo crescente do cobre fez com que o conceito de aços patina-veis fosse otimizado ao longo dos anos. Atualmente há a tendência de substituí-lo, ainda que parcialmente, por outros elementos de liga mais econômicos, como o cromo, silício e fósforo. O silício, em particular, apresenta outras vanta-gens, como contribuir para um aumento acentuado da resistência mecânica do aço através do endurecimento por solução sólida, acrescentando 84 MPa na resistência mecânica do aço a cada ponto percentual adicionado, independentemente do tratamento térmico aplicado ao produto. Além disso, o silício contribui para diminuir a fragilidade a quente associada à presença de cobre no aço [2,3].

A competitividade entre os produtores de bens e serviços dentro de um mercado globalizado tem exigido dos diversos segmentos industriais a escolha de fornecedores que permitam a otimização de seus processos e a redução de custos. Além disso, a crescente expansão da construção civil em âmbito nacional e a carência de infra-estrutura no país favore-cem o aumento do consumo de aços estruturais para aplicações de alta responsabilidade e resistentes a corrosão.

Esta visão de mercado e a necessidade de obter cada vez mais velocidade e flexibilidade no atendimento aos clientes fez com que o sistema Usiminas e, em particular, a COSIPA, desencadeasse um processo de ampliação da família de aços estruturais resistentes a corrosão com teor minimizado de cobre, levando ao surgimento das ligas COS-AR-COR 300 e 350, produzidas no L.T.Q. da COSIPA. A tabela 1 mostra os valores objetivados de propriedades mecânicas para estes dois produtos.

| | COS-AR-COR 300 | COS-AR-COR 350 |
|----------|----------------|----------------|
| LE [MPa] | ≥ 300 | ≥ 350 |
| LR [MPa] | 400 ~ 550 | 500 ~ 650 |
| AT [%] | ≥ 19 | 16 |

Tabela 1. Propriedades mecânicas objetivadas para os novos aços estruturais patináveis COS-AR-COR 300 e 350.
Table 1. Mechanical properties specified to the new hot rolled weathering steels COS-AR-COR 300 and 350.

Este trabalho tem como objetivo apresentar os desenvolvimentos nos parâmetros de processo e nos procedimentos ope-racionais que permitem ao L.T.Q. da COSIPA o fornecimento deste produto conforme as propriedades mecânicas e tolerâncias dimensionais solicitadas pelos clientes.

DESENVOLVIMENTO EXPERIMENTAL

Foi decidido que os novos aços COS-AR-COR 300 e 350 deveriam apresentar *alloy design* com teor minimizado de cobre, fato compensado pelo aumento no teor de silício e fósforo. Dessa forma promoveu-se redução dos problemas potenciais causados pela fragilidade a quente causada pela presença de teores relativamente elevados de cobre.

O procedimento de desenvolvimento de novos produtos na COSIPA passa pela criação de documento que envolve todas a etapas do processo de fabricação do aço que definem parâmetros e procedimentos para a elaboração do lote inicial da experiência.

Durante a fase inicial deste projeto, realizou -se através de simulações matemáticas, previsões sobre os valores dos pa-râmetros do processo de Laminação de Tiras a Quente que deveriam ser esperados para as novas ligas. Entre esses pa-râmetros se encontram distribuição de carga nas cadeiras do Trem Acabador, corrente dos motores, taxa de redução e

potência. Além disso, foram verificados fatores limitantes em outros equipamentos que pudessem interferir na fabricação deste produto.

Baseado nesta simulação foi possível definir os valores confiáveis operacionalmente para as temperaturas de entrada e acabamento, espessura de esboço, dimensões de placa e espessura e largura do produto, entre outros. Neste fase o foco foi concentrado na obtenção das propriedades mecânicas especificadas para o produto e na minimização dos impactos na produtividade e rendimentos de laminação, como também a garantia de segurança operacional da linha.

Uma vez definidas as temperaturas de laminação foi iniciada a segunda fase de preparação, que resumiu-se na definição de procedimentos operacionais e no seqüencial de laminação. Os procedimentos operacionais definem condições de operação tais como tempos de aquecimento, temperaturas de desenformamento, posicionamento no cone de laminação, quantidade de placas a serem laminadas, esquemas de descamação compatíveis com as temperaturas de laminação e a qualidade superficial exigida pelo produto.

Finalmente, antes da laminação propriamente dita, estipulou-se o seqüencial de laminação com a evolução gradativa da espessura e da quantidade de placas por cone para serem testadas.

Durante a laminação, as atenções concentraram-se na qualidade superficial, planicidade da tira na saída do L.T.Q. e na forma do bobinamento.

As bobinas processadas seguiram a rota incluindo laminação de acabamento, para que pudesse ser feita uma avaliação de qualidade superficial, aspecto importante principalmente em função da formação da carepa siliciosa e de planicidade. Foram retiradas amostras para a execução de ensaios laboratoriais visando a verificação das propriedades mecânicas especificadas, além da resistência à corrosão do produto.

Com a validação de todos os itens de qualidade e aplicabilidade nos clientes do novo produto, incluindo a avaliação dos índices de resistência a corrosão do produto, encerrou-se o processo de desenvolvimento do novo material. Desta forma, viabilizou-se o fornecimento, em escala comercial, de dois novos produtos resistentes a corrosão aos clientes de aços estruturais da COSIPA.

RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados obtidos em termos de dispersão de propriedades mecânicas do aço COS-AR-COR 300 estão mostrados nas figuras de 1 a 6. Pode-se observar que o nível de capacidade do processo de laminação de tiras a quente foi bastante alto, com valores de C_{pk} oscilando entre 1,4 e 2,8. O mesmo ocorreu para o aço COS-AR-COR 350, onde os valores C_{pk} de oscilaram entre 1,6 e 2,6. Este nível excepcional de consistência nas propriedades mecânicas garante o bom desempenho destes materiais em aplicações estruturais.

Já a figura 7 mostra as curvas de polarização obtidas em laboratório a partir de amostras de aços comum (A36), patinável com alto teor de silício (COS-AR-COR 300) e patinável com baixo teor de silício (COS-AR-COR 400). Esse gráfico mostra que a composição química balanceada de silício, cobre e fósforo do aço COS-AR-COR 300 apresentou tensão de corrosão I_{CORR} mínima, indicando melhor desempenho dessa liga do ponto de vista da resistência à corrosão atmosférica em relação às demais ligas.

A caracterização quanto à resistência à corrosão dos aços COS-AR-COR 300 e 350 continua em andamento. Foram cortadas amostras que estão expostas sob diversos tipos de atmosfera (urbana, industrial, marítima e rural) para verificar seu real desempenho sob condições típicas de aplicação dos materiais estruturais.

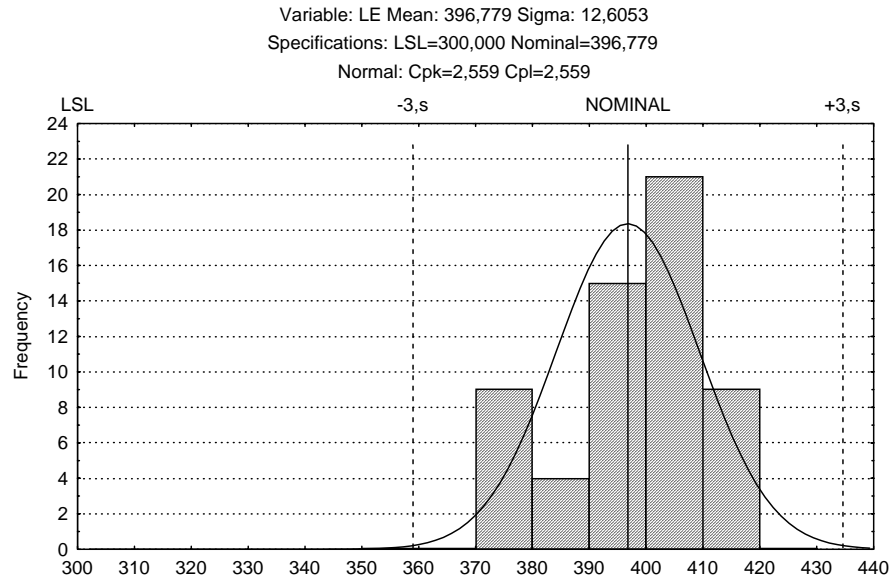


Figura 1. Distribuição de limite de escoamento obtida para o material COS-AR-COR 300. Note-se o nível de capacidade C_{pk} superior a 2,5.
 Figure 1. Yield Strength results of the COS AR COR 300. Note that capability level is up to 2,5.

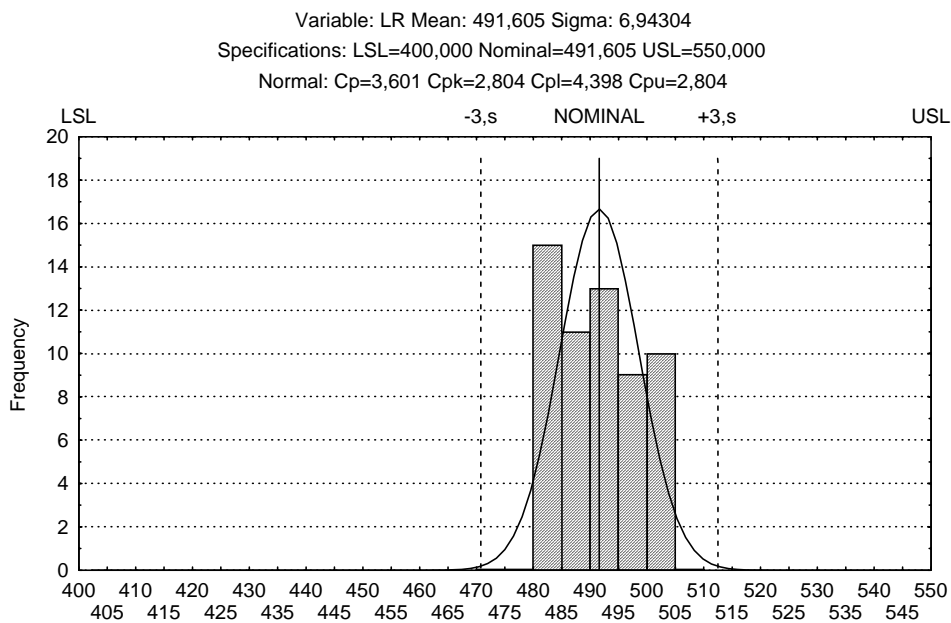


Figura 2. Distribuição de limite de resistência obtida para o material COS-AR-COR 300. Note-se o nível de capacidade C_{pk} superior a 2,8.
 Figure 2. Tensile Strength results of the COS AR COR 300 steel. Note that capability level is up to 2,8.

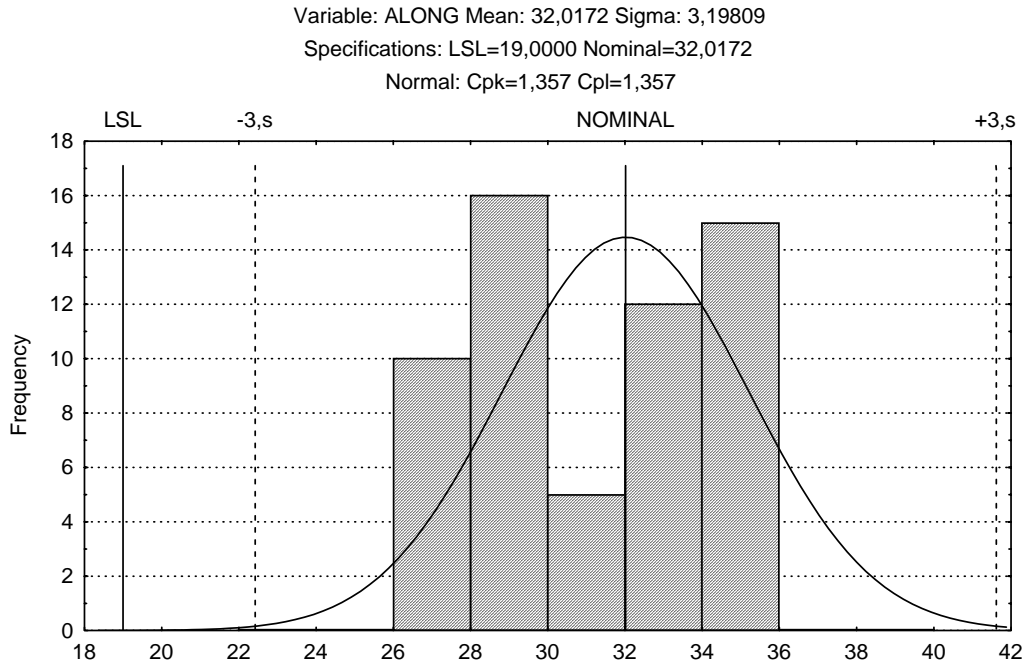


Figura 3. Distribuição de alongamento total obtida para o material COS-AR-COR 300. Note-se o nível de capacidade C_{pk} superior a 1,3.

Figure 3. Total Elongation results of the COS AR COR 300 steel. Note that capability level is up to 1,3.

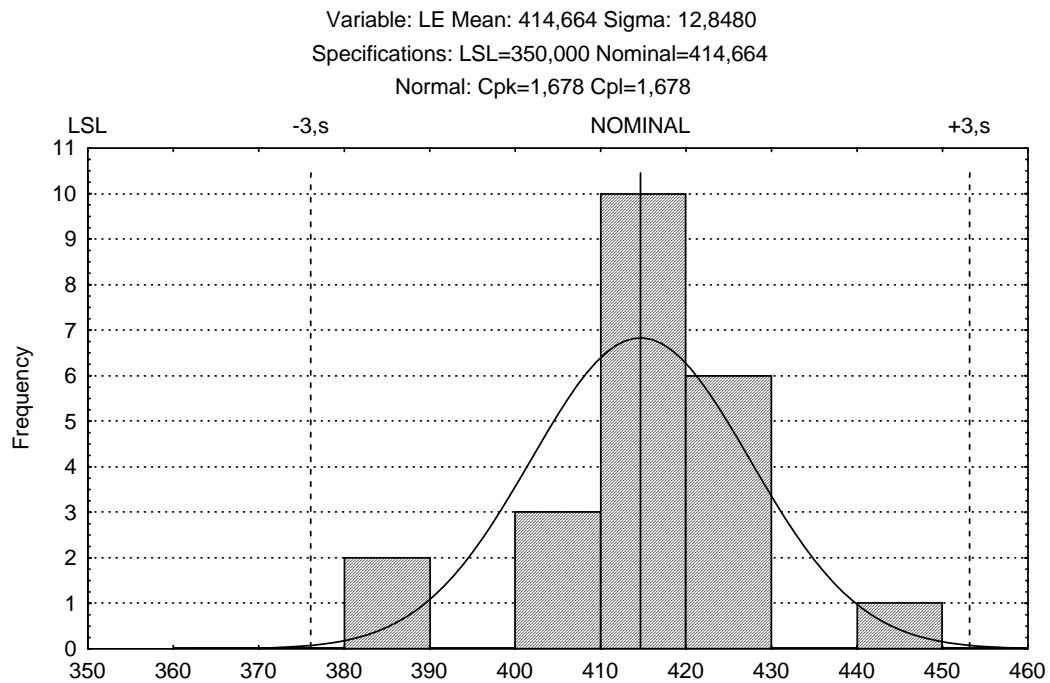


Figura 4. Distribuição de limite de escoamento obtida para o material COS-AR-COR 350. Note-se o nível de capacidade C_{pk} superior a 1,6.

Figure 4. Yield Strength results of the COS AR COR 350. Note that capability level is up to 2,5

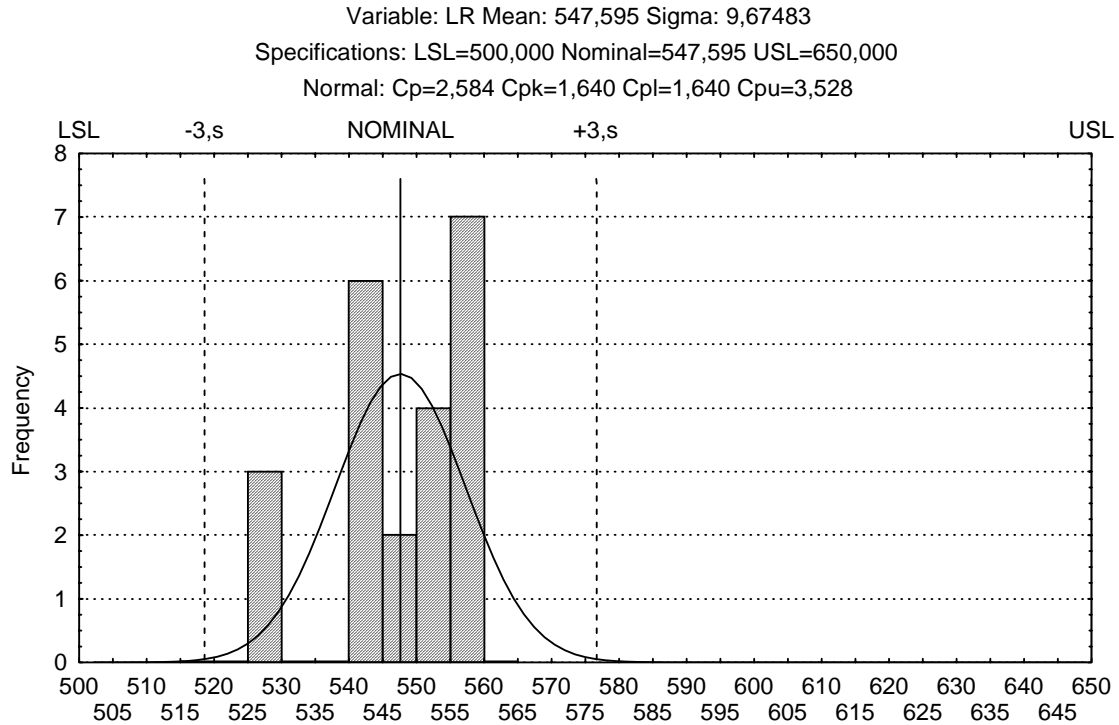


Figura 5. Distribuição de limite de resistência obtida para o material COS-AR-COR 350. Note-se o nível de capacidade C_{pk} superior a 2,5.

Figure 5. Tensile Strength results of the COS AR COR 350 steel. Note that capability level is up to 2,5.

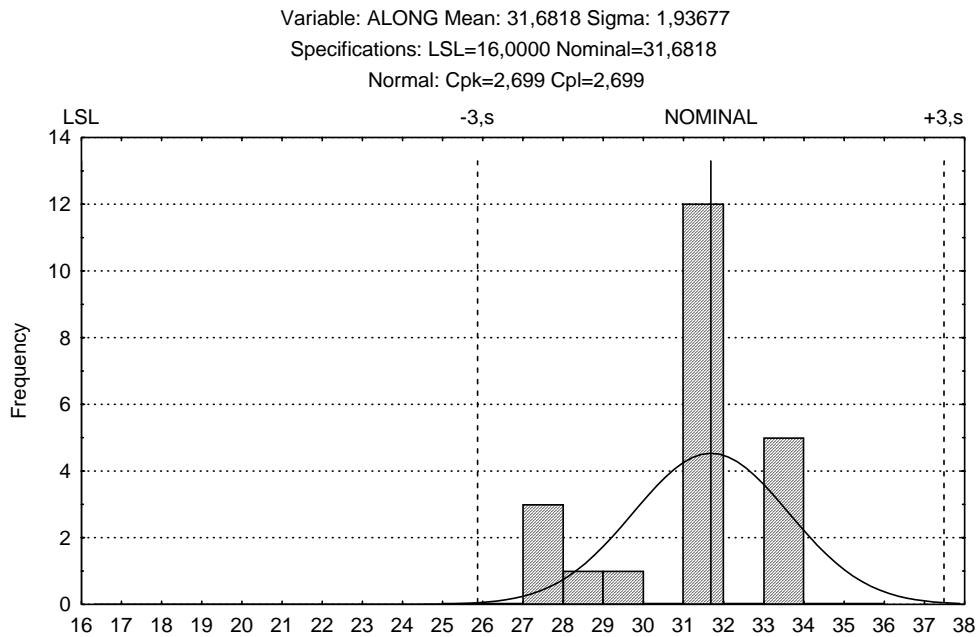


Figura 6. Distribuição de alongamento total obtida para o material COS-AR-COR 350. Note-se o nível de capacidade C_{pk} superior a 2,6.

Figure 6. Total elongation results of the COS AR COR 350 steel. Note that capability level is up to 2,6.

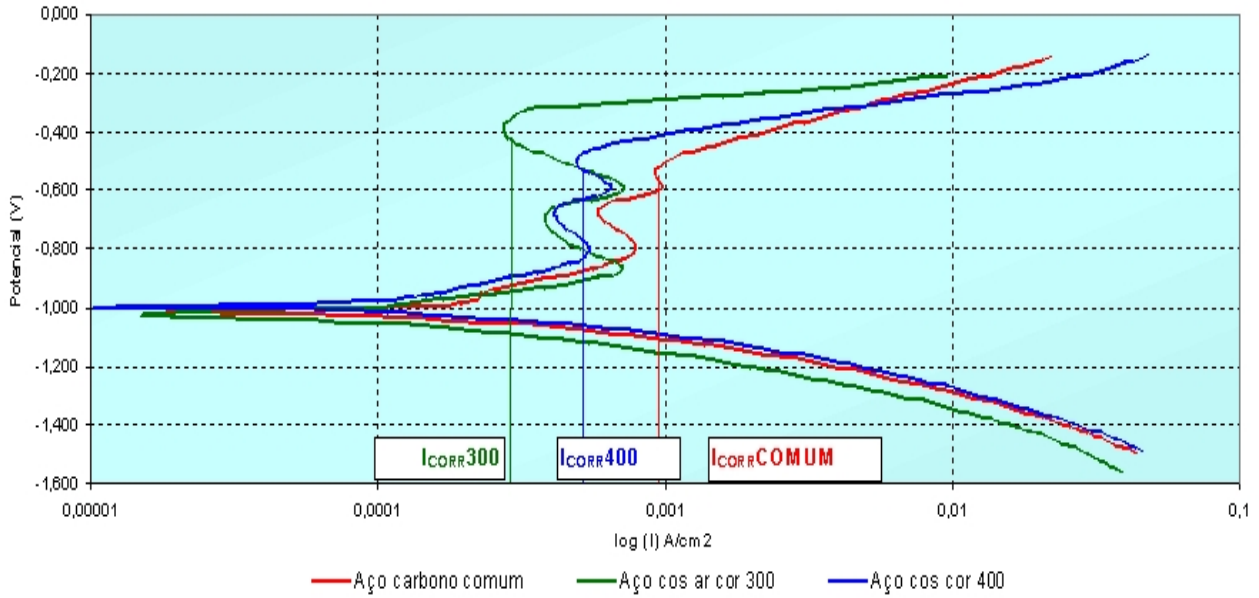


Figura 7. Curvas de polarização obtidas para amostras de aço A36, COS-AR-COR 300 e COS-AR-COR 400 imersas em solução de NaCl a 0,1M.

Figure 7. Polarization curves from A36, COS-AR-COR 300 e COS-AR-COR 400 samples immerge on NaCl solution with 0,1M.

CONCLUSÕES

O crescimento da demanda por aços estruturais tornou necessário aumentar a prontidão e flexibilidade do sistema USIMINAS no atendimento seus clientes consumidores de produtos resistentes à corrosão atmosférica. Dentro desse quadro foi solicitado o desenvolvimento de bobinas a quente na qualidade COS-AR-COR 300 e 350 a serem produzidas no Laminador de Tiras a Quente da COSIPA.

Através do desenvolvimento dos parâmetros e procedimentos operacionais da linha atingiu-se a otimização da produtividade, qualidade superficial e dos resultados requeridos do produto em termos de propriedades mecânicas, precisão de bitola, resistência à corrosão e aplicabilidade. A comparação em termos da resistência à corrosão atmosférica com aços similares este novo produto também apresentou resultados mais favoráveis para as novas ligas.

Com isso a COSIPA disponibiliza dois novos produtos resistentes a corrosão atmosférica e permite ao sistema Usiminas maior disponibilidade para o atendimento deste mercado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PANNONI, F.D. História, Comportamento e Uso dos Aços Patináveis na Engenharia Estrutural Brasileira. In: 59º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. **Anais...** São Paulo, Julho 2004, 678-689.
2. WILSON, A.D. **Guidelines for Fabricating and Processing Plate Steel**. Bethlehem-Lukens Plate, Coatesville, 2000, 97 p.
3. KRISHNADEV, M.R. Development of Strong, Tough Structural Steels Based on Copper-High-Silicon Additions. **Metals Technology**, July 1980, 305-306.