

Copyright 2016, ABRACO

Trabalho apresentado durante o INTERCORR 2016, em Búzios/RJ no mês de maio de 2016.

As informações e opiniões contidas neste trabalho são de exclusiva responsabilidade do(s) autor(es).

COR-TEN[®] : Uma história de 50 anos no Brasil

S.J. Travassos^a, Célia R. Tomachuk^b, Hercílio G. de Melo^c

Abstract

Let's start at the very beginning – a very good place to start (Sound of Music): the *scientific history*. COR-TEN[®] steel was developed in the United States and arrived in Brazil in 1966. The weathering steel celebrates its 50th anniversary in the Brazilian market. As the first paper, we here present the development history of weathering steels in Brazil and an analysis of the Brazilian scientific production. The 50th anniversary marks the beginning of a new research in the Department of Metallurgical Engineering and Materials of the School of Engineering of the University of São Paulo.

Keywords: COR-TEN[®], weathering steel, atmospheric corrosion, scientific history, research.

Resumo

O aço COR-TEN[®] foi desenvolvido nos EUA, tendo chegado ao Brasil em 1966. Portanto, em 2016, *the weathering steel*, ou aço patinável, comemora seus 50 anos no mercado brasileiro. Este trabalho traz a história do desenvolvimento dos aços patináveis no Brasil e uma breve análise da produção científica no país, como também marca o início de uma linha de pesquisa que está sendo implementada no Laboratório de Processos Eletroquímicos (LPE) do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. O 50º Aniversário fornece possibilidade para uma recriação dos aços patináveis e novas oportunidades para pesquisas brasileiras.

Palavras-chave: COR-TEN[®], aço patinável, aço aclimável, corrosão atmosférica, história, pesquisas.

Introdução

WEATHERING STEELS, conhecido como aços patináveis ou aclimáveis, por serem empregados em estruturas metálicas sem pintura e expostas às intempéries, apresentam propriedades de resistência à corrosão superiores aliadas a baixo custo, quando comparados aos aços estruturais convencionais (ASTM A36) (1-4).

^a Doutoranda, Engenheira Metalúrgica – Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP

^b Prof. Doutor, Química – Departamento de Ciências Básicas e Ambientais, Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo - USP

^c Prof. Doutor, Engenheiro Químico – Departamento de Engenharia Metalúrgica e Materiais, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo - USP

A exemplo do Japão, que em 2009, marcou seus 50 anos de fabricação do aço COR-TEN[®], este artigo, a ser apresentado no INTERCOR 2016, celebra os 50 anos de existência dos aços patináveis no Brasil. A principal motivação deste trabalho, além da data comemorativa, foi preservar as valiosas informações de Bordignon et al. (5), quando relata, em 1986, a evolução da produção de aços ARBL no Brasil.

No presente artigo, apresenta-se uma breve história do aço COR-TEN[®] no Brasil, marcas registradas no País, e uma análise da produção científica brasileira, baseada em trabalhos técnicos, artigos, dissertações e teses publicados sobre este material.

História no Brasil

Os aços patináveis foram desenvolvidos inicialmente nos Estados Unidos pela U.S. Steel em 1933, e receberam a denominação de COR-TEN[®] como abreviação de resistência à corrosão (*CORrosion resistance*) e resistência à tração (*TENSile strength*). São aços de elevada resistência mecânica e de resistência à corrosão atmosférica superior aos conhecidos *aços ao cobre*, desde que expostos a ciclos de molhamento e secagem em atmosferas adequadas (2).

No Brasil, são também conhecidos como aços patináveis ou aclimáveis (*Weathering steel – WS*). No *site* do Centro Brasileiro de Construção em Aço – CBCA encontra-se uma extensa publicação sobre o que é o aço patinável publicado por Pannoni (1).

A composição química original do aço COR-TEN[®] e sua equivalência na norma ASTM é mostrada na Tabela 1 (2).

Tabela 1 - Composição química do aço COR-TEN[®] (%) (2)

AÇO	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	V	ASTM
USS CORTEN A	≤ 0,12	0,25- 0,75	0,20- 0,50	0,07- 0,15	≤ 0,05	0,25- 0,55	0,50- 1,25	≤ 0,65	-	A242
USS CORTEN B	≤ 0,19	0,30- 0,65	0,80- 1,25	≤ 0,04	≤ 0,05	0,25- 0,40	0,40- 0,65	≤ 0,40	0,02- 0,10	A588
USS CORTEN C	≤ 0,19	0,30- 0,65	0,80- 1,35	≤ 0,04	≤ 0,05	0,25- 0,40	0,40- 0,70	≤ 0,40	0,40- 0,10	A871

Desde seu desenvolvimento e comercialização inicial nos Estados Unidos da América, a utilização dos aços patináveis foi se espalhando pelo mundo, onde diferentes condições de exposição existem. Em 1972, é reportado por Leonardo as indústrias siderúrgicas licenciadas pela U.S. Steel para a produção do aço COR-TEN[®] fora dos Estados Unidos, a saber: Nippon Steel; British Steel Corporation; Thyssen Niederrhein; Italsider; S.A. Cockerill – Ougree - Providence et Esperance – Longdoz; Stora Kopparberg; Wender-Siderlor; e Cia. Siderúrgica Nacional (3).

No Brasil, os aços patináveis foram desenvolvidos paralelamente aos aços ARBL (aços de alta resistência e baixa liga), microligados ao V, Ti, Nb e Mo. No caso dos aços ARBL patináveis, a adição de determinados elementos de liga como: **cobre, cromo, níquel, fósforo e silício**, promove a formação de uma camada de óxidos aderente, impermeável e autoprotetora (pátina) durante a exposição da superfície metálica à atmosfera.

Os aços ARBL patináveis são, então, materiais estruturais de elevada resistência mecânica e à corrosão atmosférica (4). Em 1986, Bordignon (5) fez um paralelo do desenvolvimento do aço patinável no Brasil com o desenvolvimento da indústria do aço no País. A Tabela 2 apresenta uma breve cronologia do aço COR-TEN® no Brasil.

Tabela 2 – Cronologia do aço COR-TEN® (*weathering steel*) no Brasil (5)

Data	Descrição
1964	- O Eng. Mozart de Castro França conduziu a 1ª pesquisa de aços microligados no Brasil.
1966	- 1ª produção de aços ARBL no Brasil em escala comercial. - A CSN recebe assistência técnica da United States Steel , como consequência de acordo de licença estabelecida para produzir o aço COR-TEN® – aço patinável ligado ao vanádio em seus graus B e C. - 1ª utilização de aço COR-TEN® na construção civil – viaduto na cidade de Volta Redonda, RJ (Figura 1).
1966	- A USIMINAS inicia a produção de aços microligados na área de chapas grossas e estabelece acordo de assistência técnica com o Japão (Yawata Iron and Steel Co.). - Produção de três aços ARBL microligados: SAR-50, SR-55 e SAC-50.
1968	- A CSN desenvolve quatro tipos de aços microligados ao nióbio - NIOB-AR.
1973	- A CSN conduz estudos para substituição do V pelo Nb . - Desenvolvimento de aço NIOCOR 1 e 2 – graus equivalentes ao COR-TEN® A e COR-TEN® B.
1976	- Produção comercial do aço NIOCOR .
1977	- A CSN registra a marca NIOCOR no INPI.
CESSA A PRODUÇÃO DE AÇO COR-TEN® NO BRASIL	



Figura 1 – Fotos do viaduto Nossa Senhora das Graças na cidade de Volta Redonda, RJ
Fonte: Autor

A assistência técnica dos Estados Unidos e do Japão desempenhou um papel importante no desenvolvimento dos aços patináveis no Brasil, conforme Tabela 2.

Na Tabela 2, a Cosipa não foi citada, pois sendo empresa mais nova, sua produção de aços ARBL só ganhou significado na segunda metade dos anos 70. O aço patinável microligado ao

Nb, denominado COS-AR-COR, por exemplo, foi desenvolvido em 1980. Esta siderúrgica não teve assistência técnica do exterior para o desenvolvimento de aços ARBL patináveis.

Hoje, os aços patináveis para uso estrutural estão totalmente integrados no mercado brasileiro, e são produzidos por todas as usinas siderúrgicas integradas instaladas em território nacional. Estes incluem as marcas comerciais: COR 400 Gerdau, COR A588 Gerdau, COS-AR-COR 400 e COS-AR-COR 500, CSN COR420, CSN COR 480 e CSN COR 500, CST COR 400 e CST COR 500, USI-SAC-300 e USI-SAC-350, VMB 250cor, VMB 300cor e VMB 350cor.











Marcas registradas no INPI

A evolução da tecnologia de aços patináveis no Brasil é clarificada na Tabela 3 pelos registros de marcas e patentes no Instituto Nacional da Propriedade Industrial - INPI (6). Nota-se que, a *United States Steel Corporation*, detentora da tecnologia do aço COR-TEN[®] mantém desde 1954 a sua marca COR-TEN[®] ativa no Brasil.

Em 1977, a CSN registra a marca NIOCOR, seguida pelo COS-AR-COR da Cosipa em 1983 e USI-SAC-50 da Usiminas em 1990. O registro da marca COS-AR-COR encontra-se ativo no INPI. O NIOCOR foi substituído pelo CSN COR 400 e CSN COR 500, e o USI-SAC-50 pela nova família de USI SAC baixo teor de cobre (USI SAC 300 E USI SAC 350).

COR-TEN AZP é a nova marca da *U. S. Steel Corporation*, chapa de aço pré-pintada com a aparência de ferrugem do COR-TEN[®].

Tabela 3 - Marcas Registradas no INPI (6)

Prioridade	Marca	Situação	Titular	Classe
07/05/1954	 COR-TEN	 Registro	UNITED STATES STEEL CORPORATION	06:20
06/01/1977	 NIOCOR	 Extinto	COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL	06:20
10/11/1983	 COS-AR-COR	 Registro	COMPANHIA SIDERURGICA PAULISTA - COSIPA	06:10
27/11/1990	 USI-SAC-50	 Extinto	USINAS SIDERURGICAS DE MINAS GERAIS SA USIMINAS	06:20
17/08/2006	 COR-TEN AZP	 Registro	UNITED STATES STEEL CORPORATION	NCL(8) 06

Aplicação do aço patinável na construção civil no Brasil

A construção em aço no Brasil foi impulsionada pela criação da Fábrica de Estruturas Metálicas (FEM) da Companhia Siderúrgica Nacional na década de 1950. A FEM executou várias obras em todo o território nacional até seu fechamento em 1998.

Ildony relata o uso do aço COR-TEN[®], pela primeira vez em 1966, no viaduto Nossa Senhora das Graças em Volta Redonda, RJ sobre a Rede Ferroviária Federal (Figura 1), com área de 3.780 m², pesando 667 t, com vãos de 30 m (7). Posteriormente, entre 1973 e 1978, veio a construção do elevador da Perimetral na cidade do Rio de Janeiro, hoje demolido, e ainda, em 1979, o viaduto do km 95 da Rodovia Presidente Dutra em Volta Redonda executado em aço NIOCOR, reportado por Pinho (8). Outras obras executadas pela FEM em aço patinável são encontradas no livro “Edificações em Aço do Brasil” de Luís Andrade Dias, como a sede da Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração – ABM (USI-SAC-50) e a Estação Largo 13 (COS-AR-COR 500) em São Paulo (9).

Pesquisas em aço patinável (*Weathering steel*) no Brasil : Contribuições e tendências

Foi feita a tabulação de **50 artigos**, relatórios, boletins, teses e dissertações em aços patináveis, na área de corrosão, referente ao período de 1966 a 2015 - **50 anos de aço COR-TEN® no Brasil** . Sua construção foi baseada em revisão de literatura, em base de dados da USP, Portal CAPES, biblioteca da ABM, ABRACO, além de alguns *sites* da internet, incluindo assim periódicos não indexados. Este levantamento, não é para ser considerado como uma revisão de literatura, mas sim para ser usado para motivar reflexões sobre o tema.

O primeiro artigo brasileiro publicado sobre o tema data de 1972, “O AÇO COR-TEN® PRODUZIDO NA CSN”, por Leonardos & Souza, adquirido gentilmente do acervo técnico da ABRACO (3). Logo depois, em 1974, surge Miranda com seus estudos de aço patinável desenvolvidos no *Centre Belge d'Etude de la Corrosion* – CEBELCOR, Bélgica (10). Este trabalho até hoje tem sido muito citado na literatura.

A Figura 2 apresenta, a partir de 1972, a evolução do número de publicações por ano.

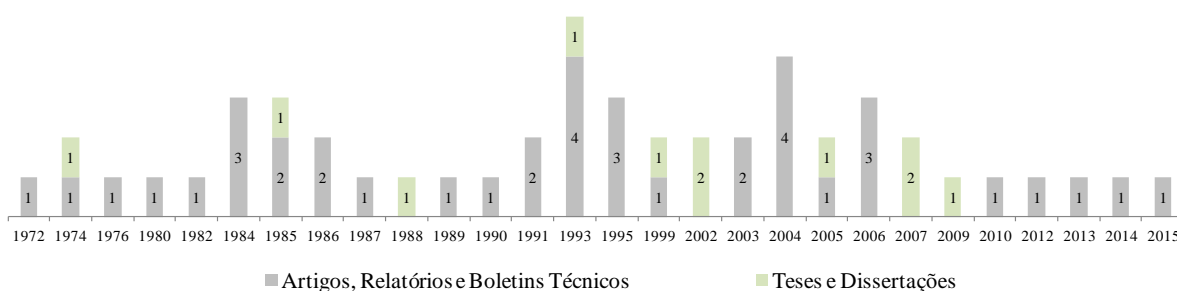


Figura 2 - Evolução das publicações brasileiras em aços patináveis na área de corrosão, encontradas na literatura, no período de 1972 a 2015

Teses e Dissertações

Sabe-se que a primeira tese sobre aço patinável, na área de corrosão, foi desenvolvida em 1974 na UFRJ, por Miranda, no entanto, não foi encontrada na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT. Ela está relacionada na compilação apresentada na Figura 2.

A partir de 1985 até 2002, o tema foi estudado por diferentes grupos da Universidade de São Paulo- USP. A Figura 3 mostra a participação da USP na produção acadêmica de teses e dissertações.

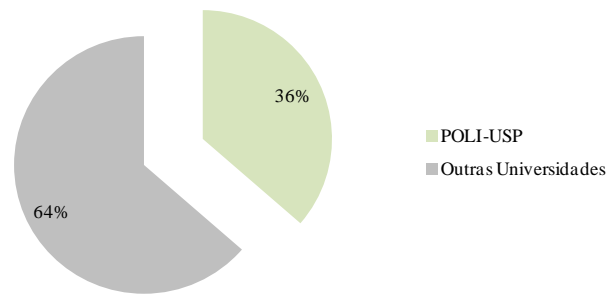


Figura 3 - Participação da USP na produção acadêmica de dissertações e teses em aço patinável na área de corrosão

Sobre a participação da USP na produção acadêmica, percebe-se uma lacuna de 13 anos em atividades de pesquisa na POLI/USP, a última tese defendida foi em 2002 por Pannoni (11). Em 2015, iniciou-se o estudo da Corrosão Atmosférica de Aços Patináveis no Laboratório de Processos Eletroquímicos (LPE) do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. No projeto em desenvolvimento, pretende-se avançar no conhecimento com pesquisa associando estudos eletroquímicos, ensaios acelerados cíclicos (CCT), que sejam mais realísticos para avaliar a corrosão atmosférica, e também com o uso de técnicas de caracterização avançadas (Radiação Síncroton) para caracterização da camada de pátina formada.

Periódicos e Conferências

No que se refere às publicações nacionais, o levantamento mostra que a ABRACO e a ABM foram importantes canais de divulgação de conhecimento científico, com a ABRACO participando com 23 % (9 artigos) e ABM com 18 % (7 artigos), dentro deste universo (39 artigos), subtraindo teses e dissertações.

No âmbito internacional, existem 12 publicações brasileiras em Periódicos e Conferências, o que representa 31 % do total das publicações, subtraindo teses e dissertações (Figura 4).

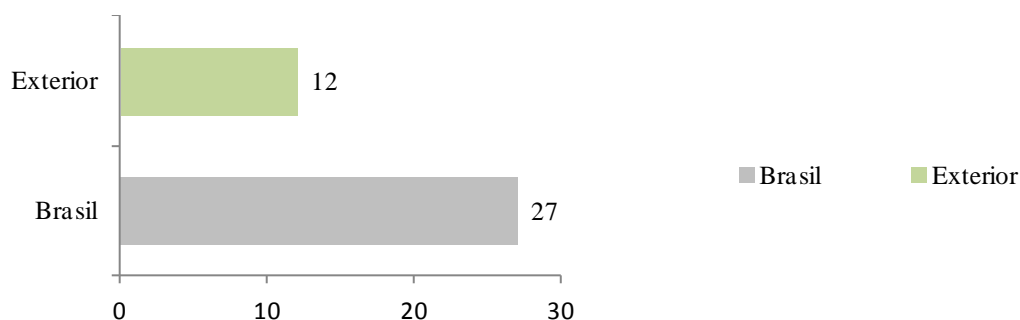


Figura 4 - Número de publicações na área de corrosão sobre aços patináveis publicados em jornais e eventos nacionais e internacionais

Fazendo um paralelo com a produção científica internacional sobre o tema, foram encontradas em março de 2016, na base de dados Scopus, 641 documentos publicados sobre aço patinável

na área de corrosão, sendo 166 deles produzidos pela China, seguida do Japão, com 150, Estados Unidos com 66 e Espanha com 25 documentos (Figura 5).

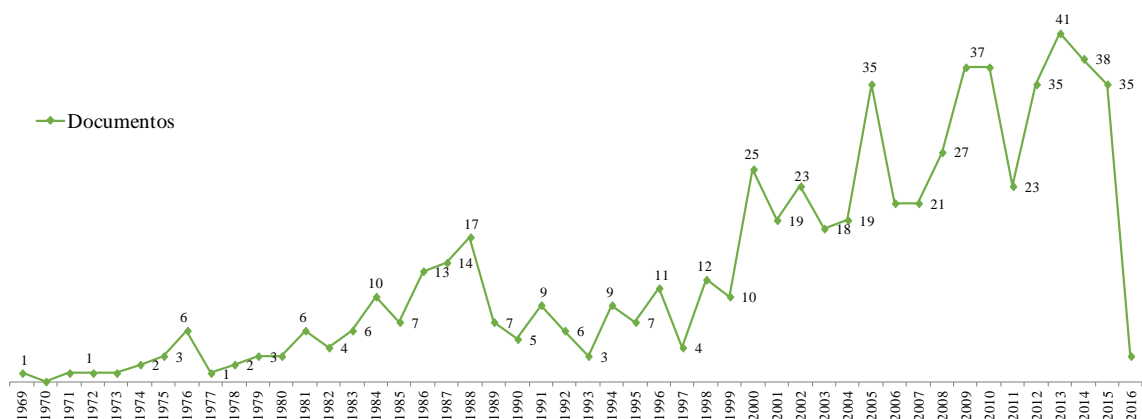


Figura 5 - Número de documentos encontrados na base de dados Scopus no período de 1969 a 2016

Importante ressaltar que a interface das atividades de pesquisa entre universidades, institutos de pesquisa e indústrias é considerada vital para alinhar tecnologia e inovação.

Conclusões

A partir dos dados apresentados, pode-se inferir que:

- a aquisição da tecnologia americana nos estágios iniciais da produção de aços microligados ajudou o Brasil no desenvolvimento dos aços ARBL patináveis;
- no Brasil, os aços patináveis foram desenvolvidos paralelamente aos aços ARBL, aços microligados ao V, Ti, Nb e Mo;
- hoje, os aços patináveis estão totalmente integrados no mercado brasileiro e são produzidos por todas as usinas siderúrgicas brasileiras;
- o trabalho sumariza a produção científica existente sobre os aços patináveis no Brasil e serve para motivar reflexões sobre o tema.

Agradecimentos

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES pela oportunidade de realização deste trabalho.

Referências bibliográficas

- (1) PANNONI, F. **Aços patináveis**. <http://www.cbca-acobrasil.org.br/site/biblioteca.php>, inserido em 30/09/2015 e acessado em 02/2016.

-
- (2) MURATA, T. **Ullig's Corrosion Handbook**. 2. ed., Ed. R. Wiston Revie, 2000, cap. 35, p. 569-580.
 - (3) LEONARDOS, G.; SOUZA, D. I. O aço Cor-Ten produzido na CSN. In: CONGRESSO ABRACO, 1972. **Anais...** Associação Brasileira de Corrosão, 1972, p. 57-65.
 - (4) BORDIGNON, P.J.; BRITO, R. M.; AZAMBUJA, S.; ROSAS, W. R. Caracterização e aplicação de um aço ARBL pátinavel - Niocor, desenvolvido na CSN. **Metalurgia ABM**, v. 36, n. 275, p. 685-9, 1980.
 - (5) BORDIGNON, P. J. P.; OLIVEIRA, E. Q.; SCHIESARI, J. R. P.; MACHADO, S. A. Evolution of HSLA Steels Production in Brazil. An Influencing Factor in the increasing Consumption of Special Ferro-Alloys. In: INFACON IV - INTERNATIONAL FERRO ALLOYS CONGRESS., 1986. **Anais...** Rio de Janeiro, Brasil, 1986, p. 263-278.
 - (6) <https://gru.inpi.gov.br/pePI/servlet/MarcasServletController>, acessado em 10/02/2016.
 - (7) BELLEI, I. H. O uso do Aço nas Construções da Cidade do Aço, 2009. Disponível em http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=960. Acessado em 10/02/2016.
 - (8) PINHO, F. A prova do tempo (entrevista), **Revista Arquitetura & Aço**, nº 36, p. 32-33, dez. 2013.
 - (9) DIAS, L. A. **Edificações de aço no Brasil**, Zigurate Editora, 1993.
 - (10) MIRANDA, L. R, **Los aspects electrochimiques de la corrosion atmosférique des Aciers patinables**, RT 221, CEBELCOR, v. 125, Oct. 1974.
 - (11) PANNONI, F. **Efeito do cobre, do fósforo, do níquel e do molibdênio sobre a resistência à corrosão atmosférica de aços carbono**. 2002. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2002.