

AÇOS MICROLIGADOS AO VANÁDIO EMPREGADOS EM BARRAS NERVURADAS

JEAN CARLOS VICENTE ROMANENGI¹, JOSÉ EDUARDO QUARESMA²

¹Graduando no curso de engenharia civil da Universidade de Araraquara - UNIARA. Araraquara-SP E-mail: jeanromanenghi@hotmail.com

²Orientador: Docente do curso de engenharia civil da Universidade de Araraquara – UNIARA. Araraquara-SP E-mail: quaresma@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
15 a 17 de setembro de 2021

RESUMO: O ramo da construção civil sempre está buscando novos meios de se inovar, buscando melhorar suas técnicas de construção e as características técnicas dos materiais envolvidos. Este trabalho demonstra o emprego de aços microligados em barras de aço nervuradas, os famosos “vergalhões”. Material chave nos esforços de tensão nas estruturas de concreto armado, os vergalhões seguiram o método convencional de produção do aço através da aciaria elétrica, desenvolvendo tarugos com aços microligantes, com vanádio presente em sua composição química. Os tarugos passam pelo processo de laminação, através do seu reaquecimento, sua conformação e seu resfriamento formando a vergalhão. O objetivo deste trabalho é demonstrar a economia de tempo e recursos, e também a garantia de resistência mecânica e alta soldabilidade nos vergalhões com aços microligados, sendo o elemento vanádio o destaque na garantia desses fatores, comparando as plantas siderúrgicas utilizadas nos artigos de (NUNES, 2009) e (DAROIT, 2012). Trabalho feito atendendo a exigência normativa de características mecânicas presente na norma brasileira ABNT NBR 7480, com vergalhões na categoria CA50. E atende a exigência de propriedades mecânicas e composição química dentro do limite estabelecido pela norma brasileira ABNT NBR 8965.

PALAVRAS-CHAVE: Aço Microligado, Resistência, Soldabilidade, Vergalhão, Vanádio.

MICRO ALLOYED STEEL USED IN RIBBED BARS

ABSTRACT: The construction industry is always looking for new ways to innovate, seeking to improve its construction techniques and the technical characteristics of the materials involved. This work demonstrates the use of microalloyed steels in ribbed steel bars, the famous “rebars”. Key material in the tensile efforts in reinforced concrete structures, the rebars followed the conventional method of steel production through the electric steel mill, developing billets with microalloying steels, with vanadium present in its chemical composition. Billets go through the rolling process, through their reheating, shaping and cooling, forming rebar. The objective of this work is to demonstrate the saving of time and resources, as well as the guarantee of mechanical strength and high weldability in rebars with microalloyed steels, with the vanadium element being the highlight in the guarantee of these factors, comparing the steel plants used in the articles of (NUNES, 2009) and (DAROIT, 2012). Work carried out in compliance with the normative requirement of mechanical characteristics present in the Brazilian standard ABNT NBR 7480, with rebars in category CA50. And it meets the requirement of mechanical properties and chemical composition within the limit established by the Brazilian standard ABNT NBR 8965.

KEYWORDS: Microalloyed Steel, Rebar, Resistance, Vanadium, Weldability.

INTRODUÇÃO

Muito empregado na construção civil, as barras de aço nervuradas, ou simplesmente vergalhões são utilizados há anos junto com o concreto, unindo a resistência a tração que o aço possui

e a resistência a compressão do concreto, sendo que a combinação de armações feitas de aço junto com o concreto é popularmente conhecida como concreto armado.

Como afirma (NUNES, 2009), quando pretende-se garantir uma boa resistência mecânica ao produto, os elementos químicos como carbono e manganês são os mais utilizados, porém devido a sua baixa soldabilidade, elemento importante nas barras no atual mercado, o uso dessas propriedades necessitaria ser mais baixo. Através da constatação de (DAROIT 2012), serão implementos aços microligados em elementos como vanádio e que atendam os limites de propriedades nas barras nervuradas CA-50, seguindo a norma brasileira ABNT NBR 7480, e que atendam a norma brasileira ABNT NBR 8965, garantido boa soldabilidade aos vergalhões.

O artigo foi realizado acompanhando o processo de fabricação do aço através de aciaria elétrica, a produção dos vergalhões pelo processo de laminação à quente e o processo de corte e dobra nas armaduras soldadas., comparando as plantas siderúrgicas utilizadas nos artigos de (NUNES, 2009) e (DAROIT 2012). As características dos aços microligados que garantem a resistência mecânica será comentada. Por fim, será feito uma análise dos resultados obtidos, no qual o elemento vanádio se destaca, garantindo as especificidades requeridas, tanto em soldabilidade quanto em resistência mecânica.

MATERIAL E MÉTODOS

O processo de desenvolvimento desse trabalho foi feito através das plantas industriais siderúrgicas de (NUNES, 2009) e (DAROIT 2012), seguindo o processo convencional de produção de um vergalhão, usando como matéria-prima principal, o minério de ferro. A produção de aço empregado nas plantas foi realizada em uma aciaria elétrica, cujo processo se deu através da redução do minério de ferro em alto-forno, produzindo seu derivado ferra gusa em estado líquido. Foi refinado no conversor LD, e o acerto de sua composição química final foi feito em forno panela, devido a adição de aços microligantes.

Na planta de (NUNES, 2009), o aço líquido é vazado em lingotamento contínuo de três veios produzindo tarugos de 14 m de comprimento e seção quadrada de 130 mm. Os tarugos são reaquecidos até 1200° C e passam por um trem de laminação contínuo de dois veios com 25 passes cada veio, sendo os 10 últimos realizados em bloco morgan, onde não há torção do produto durante o processo, diferente de um trem de laminação. Com o agora vergalhão produzido em sua forma final após o último passe, ele passa por um tubo de 30 m de comprimento com duas zonas de resfriamento que diminuem sua temperatura de 1000° C no último passe até uma faixa entre 800° C e 900° C. Com isso, o vergalhão é levado ao formador de espiras, onde as espiras formadas irão compor o rolo de vergalhão no final do resfriamento. Em seguida, é levado ao Stelmor, que é uma plataforma com ventiladores em sequência. Foram usados 5 ventiladores em ventilação máxima com uma velocidade na corrente de transporte de 0,6 m/s. segue para o coletor de espiras onde o rolo é formado entre 200° C e 450 ° C, dependendo do diâmetro do vergalhão, e é transportado por um sistema de ganchos ou palitos (figura 3.1), onde termina sendo prensado e amarrado.

Na planta de (DAROIT 2012), o aço líquido vazado em lingotamento contínuo produz tarugos de 120 mm de lado. São reaquecidos em forno de gás natural em uma temperatura de 1150 ° C. Passa por um trem de laminação de 22 passes, onde os últimos 8 passes são feitos em bloco acabador. O trem de laminação é composto por gaiolas horizontais e verticais que através de cilindros e canais de laminação, conformam o tarugo para as dimensões requeridas ao vergalhão. Em sua forma final após o último passe, o vergalhão de 8 mm produzido passa pelo sistema de resfriamento e abaixa sua temperatura a uma faixa entre 950° C e 1000° C para estar adequado a passar pelo formador de espiras. No formador de espiras, adquire seu formato de espiras, e em seguida é terminado seu resfriamento de maneira natural, sob ao ar, sobre uma esteira. Saindo da esteira, segue para o coletor de espiras, onde o rolo é formado e termina sendo prensado e amarrado.

(DAROIT 2012) detalha valores máximos de composição especificados pela norma ABNT NBR 8965. Já (NUNES, 2009) por sua vez, utilizou em seu trabalho limites mais exigentes do que a norma ABNT NBR 8965 em relação a soldabilidade do aço e da ABNT NBR 6118 em relação a soldabilidade do vergalhão, pois buscou atender especificações em normas internacionais. Com isso, limitou seu carbono equivalente a 0,50%, ao invés de 0,55% perante as normas brasileiras, assim como seu carbono objetivado em 0,20%, ao invés de 0,35%.

(DAROIT 2012) conduziu seus ensaios de tração em uma máquina de ensaios EMIC-DL 10.000 com capacidade de carga de 10 t. No total, 30 corpos de prova de vergalhão produzido com aço microligado ao vanádio foram postos em ensaio e suas amostras foram retiradas de suas espiras. Por estar em rolo, passou por um endireitamento manual. As amostras foram cortadas em 500 mm de comprimento e marcadas a cada 80 mm para determinar seu alongamento após sua ruptura. Os resultados de limite de escoamento e relação limite de resistência/escoamento foram comparados com 30 amostras de vergalhão de aço alto carbono e manganês nas mesmas especificações de suas amostras. Aplicou-se o dobramento a 180° em 15 amostras do material com suas extremidades livres e um pino com o dobro de diâmetro do vergalhão. Observado a olho nu, não apresentou nenhuma fissura ou trinca após sofrer deformação tratativa.

(NUNES, 2009) conduziu seus ensaios de tração em uma máquina hidráulica com capacidade de carga de 20 t. Por estar em rolo, o vergalhão foi endireitado manualmente. Foram cortadas amostras de 400 mm, com marcação a cada 20 mm para avaliar posteriormente o alongamento. Os ensaios de dobramento foram feitos em máquina elétrica. Aplicou-se o dobramento a 180° com as extremidades do material livres e com um pino com o dobro de diâmetro do vergalhão. Observado a olho nu, não apresentou nenhuma fissura ou trinca após sofrer deformação tratativa. (NUNES, 2009) realizou 2 experimentos, sendo o segundo buscando um vergalhão com carbono equivalente máximo de 0,50%, porém como houve redução de vanádio e adição de nióbio, não será comentado os resultados, pois o foco de desenvolvimento é no vanádio. O primeiro experimento de (NUNES, 2009) buscou produzir vergalhões CA50, atendendo a norma NBR-7480. Foram seis lingotes laminados de diâmetros de 6,30 mm, 8 mm e 10 mm, dois tarugos em cada diâmetro, produzindo 3,6 t de vergalhão em rolo para cada diâmetro. Foram feitas nessas condições vergalhões utilizando 0,20% V, 0,20% C e 0,80%Mn e vergalhões 0,45% C e 1,2%Mn. Nota-se que o vergalhão com vanádio atinge o valor mínimo exigido pela norma de 500 MPa, enquanto o vergalhão de alto carbono e manganês atinge valores próximos de 380 MPa, apontando uma evidente vantagem no vergalhão com vanádio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DAROIT 2012) utilizou em seu trabalho um aço carbono microligado ao vanádio, cuja composição química e sua comparação com a composição química máxima exigida pela norma ABNT NBR 8965, assim como o comparativo entre os carbonos equivalentes são apresentados nas tabelas abaixo.

C	Mn	Si	S	P	V	Fe
0,27	1,20	0,20	0,021	0,012	0,091	97,7

Tabela 1.1 Composição química do aço carbono microligado ao vanádio (% em peso), (DAROIT 2012).

	Ceq	C	Mn	Si	S	P
Valor Máximo da norma (%)	0,55	0,35	1,50	0,50	0,050	0,050
Valor do aço Utilizado (%)	0,52	0,27	1,20	0,20	0,021	0,012

Tabela 1.2 Comparativo entre valores de composição química do aço carbono microligado ao vanádio e os valores máximos determinados pela norma brasileira ABNT NBR 8965 (% em peso), (DAROIT 2012).

	Valores médios do vergalhão estudado com vanádio.	Valores médios do vergalhão estudado com alto carbono e manganês	Especificação ABNT NBR 7480, categoria CA 50
Le (MPa)	544	560	500 (mínimo)
Lr (MPa)	753	-	540 (mínimo)

Alongamento (%)	18,1	-	8 (mínimo)
Lr/Le	1,38	1,55	1,08 (mínimo)

Tabela 1.3 Resultados das propriedades mecânicas do vergalhão microligado ao vanádio, vergalhão com alto carbono e manganês, e especificações das mesmas propriedades segundo a norma (DAROIT 2012).

(NUNES, 2009) empregou sua composição química no primeiro experimento com vanádio em valores mínimos de 0,2%. As amostras dos seis tarugos produzidos e suas respectivas composições químicas estão listadas na tabela abaixo.

Tarugo	Bitola do vergalhão fabricado (mm)	Composição Química											Ceq
		C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Sn	V	N2	
1	10,0	0,230	0,170	0,760	0,008	0,022	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	30,0	0,3767
2	10,0	0,230	0,170	0,760	0,010	0,023	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	43,0	0,3767
3	6,3	0,240	0,180	0,790	0,009	0,022	0,030	0,030	0,030	0,001	0,220	36,0	0,3925
4	6,3	0,240	0,170	0,750	0,009	0,021	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	28,0	0,3850
5	8,0	0,240	0,170	0,750	0,009	0,022	0,010	0,030	0,030	0,001	0,220	36,0	0,3842
6	8,0	0,230	0,170	0,760	0,009	0,020	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	23,0	0,3767

Tabela 1.4 Composição química das amostras retiradas das bobinas de vergalhão (NUNES, 2009).

Diâmetro nominal (mm)	Limite de escoamento (MPa) – aproximado
6,30	570 - 595
8,0	510 - 555
10,0	520 - 575

Tabela 1.5 Limite de escoamento por diâmetro nominal produzido com o aço microligado ao vanádio (NUNES, 2009).

	Valores médios do vergalhão estudado com vanádio - aproximado	Valores médios do vergalhão estudado com alto carbono e manganês - aproximado	Especificação ABNT NBR 7480, categoria CA 50
Le (MPa)	510 - 595	370 - 380	500 (mínimo)
Lr (MPa)	-	-	540 (mínimo)
Alongamento (%)	15,80	-	8 (mínimo)
Lr/Le	1,40	-	1,08 (mínimo)

Tabela 1.6 Resultados das propriedades mecânicas do vergalhão microligado ao vanádio, vergalhão com alto carbono e manganês, e especificações das mesmas propriedades segundo a norma (NUNES, 2009).

CONCLUSÃO

Com o presente trabalho sendo feito seguindo uma metodologia comparativa entre os trabalhos de (DAROIT 2012) e (NUNES, 2009), observa-se que ambos os projetos seguiram praticamente o mesmo processo de fabricação do vergalhão, com pequenas diferenças encontradas no processo de laminação. Os projetos seguiram a linha de produção de vergalhão com aço carbono microligado ao vanádio e obtiveram os seguintes resultados:

- A presença do elemento vanádio na composição química do vergalhão produzido por ambos os autores foi eficaz para garantir resistência mecânica necessária pela norma, assim como limite de escoamento mínimo, limite de resistência mínima, relação entre limite de resistência mínima/limite de escoamento mínima e alongamento mínimo foram atendidos seguindo as especificações da norma brasileira ABNT NBR 7480.

- Os vergalhões com aço microligado ao vanádio verificado por ambos os autores tiveram como resultado valores de carbono equivalente inferior ao valor exigido pela norma brasileira ABNT NBR 8965. O que confira aos distintos vergalhões uma boa soldabilidade.
- É importante ressaltar que o processo de resfriamento dos vergalhões foi feito de maneira distinta entre os autores. Enquanto (NUNES, 2009) realizou o resfriamento final de seus vergalhões através do Stelmor, configurando um resfriamento mecânico mais controlado. Já (DAROIT 2012) realizou o resfriamento final de seus vergalhões de maneira natural, sob ao ar. Porém, ambos obtiveram resultados finais satisfatórios nas adequações normativas das normas ABNT NBR 7480 e ABNT NBR 8965.
- Não houve nenhuma identificação a olho nu de trinca ou fissuras nos ensaios de dobramento em ambos os projetos, quando se verificou suas respectivas regiões tracionadas.

Após serem feitas todas as considerações acima, o emprego do elemento vanádio na fabricação de vergalhões usados nas variadas estruturas de concreto armado, mostrou-se uma solução viável na substituição de um vergalhão convencional de alto C e Mn, não demonstrando diferenças consideráveis em relação a sua aplicabilidade e por ter atendido todas as especificidades normativas, tanto em resistência mecânica, quanto em soldabilidade.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/Fapesq pela concessão de bolsa de pesquisa ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7480: Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8965: Barras de aço CA 42 S com características de soldabilidade destinadas a armaduras para concreto armado – Especificação. Rio de Janeiro, 1985.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014.
- CHILQUE, A.R.A.; SILVA, L.B.; RAMOS, W.R.; LINO, R.E. Soldagem de vergalhão em aço microligado. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jheison-Santos/publication/329260004_CONTROLE_DA_VIDA_REMANESCENTE_EM_EQUIPAMENTOS_INDUSTRIAIS_QUE_OPERAM_EM_CONDICOES_DE_FLUENCIA/links/5c110564299bf139c75346fa/CONTROLE-DA-VIDA-REMANESCENTE-EM-EQUIPAMENTOS-INDUSTRIAIS-QUE-OPERAM-EM-CONDICOES-DE-FLUENCIA.pdf. URL: <https://www.researchgate.net>
- DAROIT, M. O estudo de aço microligado ao vanádio para produção de barra nervurada para concreto armado com características de soldabilidade. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/61401/000863234.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. URL: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/61401>
- GLADOWSKI, R.J. A Review of Vanadium Microalloying in Hot Rolled Steel Sheet Products. International Seminar 2005 on Application Technologies of Vanadium in Flat- Rolled Steels, 2005.
- NUNES, L.M. Desenvolvimento de aço microligado para a produção de vergalhões nervurados. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_1.PDF
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_2.PDF
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_3.PDF
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_4.PDF
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_5.PDF
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_6.PDF
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_7.PDF
https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/32736/32736_8.PDF
 URL:http://bdtd.ibict.br/vufind/Record/PUC_RIO1_66a86a9e0b9332f81dc79659163ec656