# JUNTAS SOLDADAS DO AÇO DOMEX 700 POR ARAME TUBULAR COM 1,5 DE NIÓBIO NO FLUXO

## *WELDED DOMEX 700 STEEL JOINTS BY TUBULAR WIRE WITH 1,5 NIOBIUM IN FLOW*

José Nilton de Souza Júnior[I]
Vinícius Fauro Martins[II]
Antônio Carlos Muniz Ventura Júnior[III]
Maria Aparecida Bovério[IV]
Raquel Gomes Meirelles[V]

**RESUMO**

Esse artigo apresenta os resultados de uma pesquisa sobre a soldagem em aço *Domex* no processo por arame tubular com 1,5% de nióbio em seu fluxo. Para isso, o tema-problema dessa pesquisa foi avaliar de que maneira o nióbio influência o aço *Domex* 700 no processo de soldagem por arame tubular. Os objetivos específicos buscaram, na literatura, os conceitos centrais de processo de soldagem de arame tubular, a compreensão da importância do aço *Domex* 700 para saber sobre sua reação com o nióbio, e a descrição das propriedades do "nióbio. Os procedimentos metodológicos pautaram-se na pesquisa bibliográfica, documental e laboratorial realizada nos laboratórios de Ensaios Mecânicos e Análise Metalógraficas da FATEC de Sertãozinho/SP e no laboratório de medicina da USP, de Ribeirão Preto/SP. Os resultados indicam que no ensaio de impacto os corpos de prova apresentaram maior tenacidade na ZTA em função de maior presença de bainitas inferior e ferritas aciculares, diferentes do metal de solda, que apresentaram maior dispersão de microconstituintes e carbonetos de nióbio precipitados nos contornos de grãos da ferrita acicular. Os ensaios de tração os corpos de prova transversais CP 1 e CP2 romperam na solda, devido ao resfriamento rápido proporcionado pelo ciclo térmico e por trabalhar com soldagem multipasses, obtendo bons resultados de resistência comparado ao do metal de base. No ensaio de dureza todos os CPs tiveram resultados corroborando com os resultados destrutivos do material de solda. Assim, é possível concluir que com à adição de 1,5% de nióbio no fluxo do arame tubular há uma boa interação de fusão no metal de solda, precipitando na forma de carbonetos ao longo dos contornos de grãos.

**Palavras-chave**: Nióbio. Aço *Domex* 700. Soldagem. Arame tubular.

**ABSTRACT**

This article presents the results of research on Domex steel welding in the process by tubular wire with 1.5% niobium in its flux. For this, the problem-theme of this research was to evaluate how niobium influences Domex 700 steel in the tubular wire welding process.

[I] Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo, de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: juninhostz2012@gmail.com
[II] Estudante do Curso Superior de Tecnologia em Mecânica: Processos de Soldagem da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo, de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: brasilvini-fauro@outlook.com
[III] Prof. Especialista/Mestrando da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo, de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: acm.ventura@gmail.com
[IV] Profa. Pós-Dra. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo, de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: maria.boverio@fatec.sp.gov.br
[V] Prof. Esp. da Faculdade de Tecnologia Deputado Waldyr Alceu Trigo, de Sertãozinho – São Paulo – Brasil. E-mail: raquelita.meirelles@gmail.com

The specific objectives sought, in the literature, the central concepts of the tubular wire welding process, the understanding of the importance of Domex 700 steel to know about its reaction with niobium, and the description of the properties of niobium. The methodological procedures were based on bibliographic, documentary and laboratory research carried out in the FATEC Mechanical Testing and Metallographic Analysis laboratories in Sertãozinho / SP and in the USP medicine laboratory, in Ribeirão Preto / SP. The results indicate that in the impact test, the specimens showed greater tenacity in the ZTA due to a greater presence of inferior bainites and acicular ferrites, different from the weld metal, which showed greater dispersion of microconstituents and precipitated niobium carbides in the grain boundaries of the acicular ferrite. The tensile tests on the transversal specimens CP 1 and CP2 broke in the weld, due to the rapid cooling provided by the thermal cycle and by working with multipass welding, obtaining good results the resistance compared to the base metal. In the hardness test all PCs had results corroborating the destructive results of the weld material. Thus, it is possible to conclude that with the addition of 1.5% niobium in the flux of the tubular wire there is a good melting interaction in the weld metal, precipitating in the form of carbides along the grain boundaries.

**Keywords:** Niobium. Domex steel 700. Welding. Tubular wire.

Data de submissão do artigo: 13/08/2020.
Data de aprovação do artigo: 04/11/2020.
DOI: 10.33635/sitefa.v3i1.105

## 1 INTRODUÇÃO

Uma pesquisa desenvolvida aponta que no Brasil encontram-se localizadas as maiores reservas de nióbio (Nb) do mundo e que, por esse motivo, estudos relacionados a esse assunto têm sido incentivados, principalmente pelo fato de esse elemento químico ser estudado como revestimento em materiais metálicos expostos a condições corrosivas, como em ambientes presentes na indústria de óleo e gás (MOTTA, 2011).

Souza Junior (2011), explica que o Nb apresenta excelente resistência à corrosão em soluções de cloreto, mesmo com a presença de agentes oxidantes. Esse mesmo autor acrescenta que, em exposição ao ar, ocorre a formação espontânea de uma camada que é aderente e resistente à corrosão.

Nesse contexto, considera-se pertinente fazer a seguinte questão de pesquisa: de que maneira o nióbio influencia o aço *Domex* 700 no processo de soldagem por arame tubular?

Tomando por base o objetivo da pesquisa, propõe-se analisar a influência de nióbio no aço Domex no processo de soldagem por arame tubular.

Do objetivo geral foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Buscar na literatura os conceitos centrais de processo de soldagem de arame tubular;
- Compreender sobre a importância do aço *Domex* 700 para saber sobre sua reação com o Nb.
- Descrever sobre as propriedades do nióbio.

Alguns fatores contribuíram para essa pesquisa. Um deles refere-se à sua importância acadêmica, uma vez que a temática tem sido pesquisada em estudos recentes, conforme pode ser constatado nos trabalhos de Motta (2011) e Souza Junior (2011).

Outra justificativa que levou a propor esse tema está no fato de que o aço pode ser aplicado tanto na construção civil, como também na indústria e no setor automobilístico e de utensílios domésticos (DECAFER, 2019). As informações da empresa ressaltam ainda, o fato

de que o aço constitui um importante componente para o funcionamento da economia, por meio do encadeamento de diversas cadeias produtivas.

Além de sua relevância para inúmeros ramos da economia, o aço destaca-se por ser um material 100% reciclável. Por suas propriedades é reutilizado para a transformação de outros produtos. O processo produtivo também vem se tornando cada vez mais sustentável, uma vez que várias usinas siderúrgicas do país têm investido em ações de sustentabilidade por meio de apoio a projetos sociais e uso de tecnologias limpas. Com 29 parques produtores, o Brasil exporta aço para mais de 100 países. Além dessas indústrias, o país possui outras empresas que são responsáveis pela distribuição e corte do material (DECAFER, 2019).

Os ensaios foram realizados nos laboratórios da FATEC/Stz para verificar a influência do nióbio nas propriedades do aço Domex, por meio de ensaios de tração, impacto e dureza.

## 2 CONCEITOS BÁSICOS DO PROCESSO DE SOLDAGEM ARAME TUBULAR

O processo de soldagem de arame tubular *Flux-Cored Arc Welding (FCAW)* é um método de união de metais aquecidos pelo arco elétrico definido entre a ponta do arame e do metal de base (MB). O arco elétrico e a poça de fusão são protegidos pelo fluxo no interior do arame (arames tubulares auto protegidos) ou por fonte gasosa externa. Os arames tubulares auto protegidos não têm a necessidade da proteção gasosa externa, já que no próprio fluxo dentro do arame possui elementos que geram os gases de proteção do arco elétrico e da poça de fusão. A combinação do fluxo no interior do arame junto com a proteção gasosa externa produz soldas de alta qualidade, arco estável e baixo nível de respingos. A composição química do fluxo também influencia nas propriedades mecânicas do metal de adição (ESAB, 2019).

Uma grande vantagem do processo de soldagem com arame tubular é a alta produtividade, que está ligada a alta taxa de deposição. Com distinção entre o revestimento externo metálico dos arames e a condutividade elétrica do fluxo interno.

A soldagem com arames tubulares vem aumentado muito nos últimos anos, no mundo. Altas taxas de deposição e o desenvolvimento de novos consumíveis tem levado as empresas a migrar para esse processo. Segmentos como o Naval & Offshore, construção pesada, soldagem de perfis estruturais, pipeline e reparo e manutenção estão entre os que mais utilizam esse processo (ESAB, 2019).

### 2.1 Caracterização do Aço *Domex*

O *Domex* 700 MC são aços de alto limite elástico para conformação a frio, excelente conformação e soldabilidade. Tais características mostram que esses aços são adequados para várias aplicações, como a utilização em estruturas, guindastes e, também, na indústria automobilísticas. A elevada resistência é usada para diminuir o peso das estruturas e aumentar a carga suportada pelas estruturas produzidas pelo aço *Domex* 700 MC (RODRIGUES, 2012).

Os aços *Domex* 700 MC são fabricados por processos metalúrgicos que asseguram uma pureza muito alta e depois são finalizados em um processo de laminação termomecânica, rigorosamente controlada que garante propriedades consistentes e homogêneas (RODRIGUES, 2012).

### 2.2 Definição e características do Nióbio

O nióbio é um elemento químico utilizado na produção de aços especiais e é resistente à corrosão e a altas temperaturas. Quando acrescentado ao aço, proporciona maior tenacidade e leveza o tornando mais resistente a torções e fraturas (CREA-AM, 2013).

O nióbio é utilizado em turbinas de avião, automóveis, gasodutos, em tomógrafos de ressonância magnética, na indústria aeroespacial, bélica e nuclear. No Brasil estão 98% das reservas (CREA-AM, 2013).

O nióbio (Nb) possui alta resistência à corrosão e mecânica e, também, é supercondutor. De acordo com Silveira e Oliveira (2018, p. 2), sua utilização acontece "principalmente em produções de ligas de aço de alta resistência, em turbinas de avião, pontes, mísseis, marca-passos, usinas nucleares entre outros".

No Brasil, a produção se concentra em ligas de ferro-nióbio, um dos seus usos é em implantes cirúrgicos. E óxido de nióbio, que é empregado em produção de lentes óticas, peças de motor, dentre outros produtos (SILVEIRA; OLIVEIRA, 2018).

## 2.3 Ensaios dos corpos de prova

O ensaio de tração trata-se de uma força aplicada em um corpo solido que provoca uma deformação no sentido do esforço acarretando numa pressão. Quando essa força propende ao alongamento, acontece a tensão de tração. O equipamento utilizado para realizar o ensaio de tração necessita ter os seguintes dispositivos: garras para prender a peça, uma carga para aplicar uma força e um instrumento para analisar a deformação o extensômetro. Quando aplicamos uma força de tração na superfície de um corpo de prova, criamos um alongamento que com certos limites, é proporcional a tensão aplicada. O ensaio de impacto faz com que a peça se sujeite a uma força com o intuito de rompê-la. Esse choque se define por uma transferência de energia rápida. Esse ensaio é importante, por mostrar de forma mais convincente, a reação dos materiais sob a ação de cargas dinâmicas, o que normalmente difere do comportamento quando sujeitos às cargas estáticas (ZOLIN, 2011). O ensaio de microscopia óptica é o método mais utilizado na inspeção da microestrutura e para realizar análises qualitativas e quantitativas do material a ser analisado. O microscópio óptico consiste na utilização da luz visível que recai na amostra e volta ao observador ao ser refletida pelo material, podendo ser aumentado de 50 a 2000 vezes. (COLPAERT, 2008 *apud* JULIÃO, 2019). O ensaio de dureza analisa a resistência do material, sendo indiretamente uma avaliação de outras propriedades mecânicas do material. No ensaio é verificada a resistência à deformação plástica local, pela introdução de outro material de dureza superior. O ensaio de dureza é uma técnica relativamente fácil que proporciona, em companhia com outros ensaios, compreender sobre o comportamento do material quando utilizado estruturalmente (ASTM 2015).

# 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Essa pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, documental e experimental ou laboratorial. Na pesquisa bibliográfica foi realizado um estudo geral sobre os principais trabalhos, revestidos de importância, por serem capazes de fornecer dados atuais e relevantes relacionados com o tema. (MARCONI; LAKATOS, 2003). Com fundamento na pesquisa literatura pertinente foi possível planificar o trabalho, bem como apresentar as informações indispensáveis sobre o nióbio.

A característica principal da pesquisa documental é que a fonte de coleta de dados está restrita a documentos, constituindo-se o que se denomina de fontes primárias (MARCONI; LAKATOS, 2003). Através da pesquisa documental foram pesquisadas as normas ASME IX e ASME II.

A pesquisa laboratorial foi realizada nos laboratórios de Ensaios Mecânicos e Análise Metalográficas da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Sertãozinho – SP – Brasil e no laboratório de medicina da USP, Câmpus de Ribeirão Preto – SP – Brasil.

## 3.1 Materiais

Para realização da pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Arame Tubular - KST TUB E81T1 NB 2G

**Tabela 1 – Composição Química Arame Tubular**

| Elemento | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Nb | Ti | Fe | Ceq. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % massa | 0,08 | 0,598 | 0,71 | 0,005 | 0,0160 | 0,047 | 0,001 | 1,70 | 0,50 | 0,01 | 0,022 |

**Fonte: Kestra (2019)**

- Aço *Domex* 700, com espessura de 19,0mm e composição química conforme Tabela 2.

**Tabela 2 - Composição Química *Domex* 700**

| Elemento | C | Si | Mn | P | S | Cr | Mo | Nb | Ti | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| % massa | 0,135 | 0,343 | 1,20 | 0,002 | 0,006 | 0,265 | 0,14 | 0,014 | 0,09 | Bal. |

**Fonte: SSAB (2019)**

- Máquina de solda
- Equipamentos de proteção individual (EPIs):

## 3.2 Métodos

As chapas utilizadas no processo de soldagem FCAW-G foram preparadas com as seguintes especificações: chapas de aço *Domex* 700 de seções retangulares com dimensões nominais de 19 mm de espessura, 500 mm de comprimento e 150 mm de largura, respectivamente. Os corpos de prova foram usinados com chanfro em V de 60°, com nariz de 3 mm, com abertura de raiz de 3 mm para solda de topo, conforme a norma ASME IX-17. Utilizou-se uma máquina de alta frequência, da marca Lincoln Electric 5350 Power Wave, com a tocha acoplada em um dispositivo de fixação no equipamento de corte tipo "tartaruga", com ângulo de trabalho de 90°, solda multipasses para reproduzirmos as mesmas condições de soldabilidade. No processo de soldagem se utilizou os seguintes parâmetros conforme indicado pelo fabricante Kestra do consumível: tensão (E) = 27±2V, intensidade de corrente (I) = 170±10A, corrente contínua e polaridade positiva, com vazão de gás $CO_2$ puro de 14 l/min, velocidade de alimentação do arame va = 7,0 m/min., velocidade de soldagem vs = 15,2 cm/min, stick-out de 15,0 mm. Os parâmetros foram mantidos constantes durante a produção das amostras, adotando-se para o rendimento de solda, ao processo semiautomático FCAW, como $\eta$=0,8, aporte térmico de soldagem de Hi = 1,45 KJ/mm., pré-aquecimento de 120°C e interpasse de 200°C, controlado com pirômetro térmico.

Foram realizados ensaios de tração com o equipamento SHANDONG, modelo WDW100EB, segundo as normas ASTM A370-12 e ASTM E8M. Esses ensaios foram realizados na FATEC Sertãozinho à temperatura ambiente com capacidade máxima de 100 KN. Foram ensaiados, para cada condição avaliada, três corpos de prova (CPs) de seção circular nas direções L (1 PC longitudinal) e T (2 PCs transversal) em relação a solda. A caracterização mecânica em tração foi feita em termos de limite de escoamento (Rp0,2 MPa), limite de resistência (Rm MPa) e alongamento total (A%).

O ensaio de impacto *Charpy* V foi realizado na FATEC Sertãozinho, seguindo a norma ASTM A370-12 e ASTM E23-16, à temperatura de +20°C, em 6 corpos de prova com

entalhe em V de duas zonas diferentes (metal fundido e zona termicamente afetada); as dimensões dos PCs (10 x 10 x 55 mm) e o posicionamento dos entalhes foram definidos com base na norma BS EN 10045-1:1990. Os entalhes foram posicionados ao centro do cordão de solda e na zona afetada pelo calor.

Para a caraterização do metal depositado foi retirada amostra no sentido transversal a espessura, após preparação metalográfica convencional foram submetidas ao ataque químico por Nital 10%. Nesse ponto foram examinadas em microscópio óptico (MO) marca ZEIS, modelo Axio Vert A1, as zonas (MB, MS e ZTA), com aumento de 200x a fim de se caracterizar influência do metal de solda nas microestruturas existentes. A análise química e microanálise por espectroscopia de energia dispersiva (EDS) obtida por meio do equipamento Oxford Instruments, realizada no laboratório de medicina da USP, Campus de Ribeirão Preto – SP, foi realizada no metal de solda, com ataque de Nital 10%, com o objetivo de identificar qualitativamente a composição das fases presentes na zona fundida (ZF), precipitados e a dispersão do nióbio, permitindo que se correlacione à MO com informações da composição detalhada.

Os ensaios de dureza *Vickers* carga de 10kg foram efetuados segunda a Norma Petrobras N-0133 no equipamento digital PANTEC, modelo MV2000 do laboratório de ensaios mecânicos da FATEC a temperatura de 20°C. Para o levantamento do perfil de microdureza da junta soldada, a amostra foi cortada para a retirada de uma seção transversal. Em uma linha horizontal A e B, como mostrado na Figura 1, foram executadas 20 medidas de microdureza com valor de carga de 1 Kgf (9,8 N) durante 20 segundos aproximadamente.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção destina-se a apresentar os resultados e as discussões dos ensaios realizados para essa pesquisa: ensaio de tração, ensaio de dureza, ensaio de impacto e metalografia.

- **Ensaio de tração**

Os resultados dos ensaios de tração dos três corpos de prova (CPs) de seção circular nas direções L (1 PC longitudinal da solda) e T (2 PCs transversais da junta soldada) estão na Tabela 3.

**Tabela 3 - Resultados obtidos no ensaio de tração**

| Identificação da Amostra | Resistência a tração σr(MPa) | Resistência ao limite de escoamento σy(MPa) | Al (%) | RA (%) |
|---|---|---|---|---|
| CP L | 680 | 620 | 14,0 | 43,0 |
| CP T1 | 700 | 640 | 11,2 | 44,0 |
| CP T2 | 910 | 860 | 12,5 | 22,3 |

**Fonte: os autores (2019)**

O resultado evidencia-se que as amostras apresentaram baixo percentuais de alongamento (Al%), o que está de acordo com os valores encontrados nos ensaios de impacto em função do teor de Nb. A resistência do metal de solda fica reduzida pela formação de microfases frágeis tipo M-A e pela precipitação de Nb (C,N), onde proporcionam uma baixa resistência à propagação de trincas prejudicando a tenacidade e a resistência mecânica dos metais de solda (BOSANSKY, *et at.,*1992). Na junta soldada, observa-se um resultado satisfatório em função do refinamento de grão, dissolução de microconstituintes e da presença

das estruturas martensitas e bainitas inferior do metal de solda, comparado com o metal de base. O resultado do corpo de tração longitudinal do metal de solda apresentou um resultado próximo ao da junta soldada (transversais) e do metal de base. Esse valor pode ser um indicativo de que com aumento de nióbio na matriz fundida (1,1% conforme EDS) possibilite uma melhora de propriedade com relação a classificação do consumível de solda.

- **Ensaio de impacto**

No ensaio de impacto foram realizados os testes em 6 CP, sendo que os entalhes foram feitos, três na solda e os outros três restantes na zona termicamente afetada (ZTA). A temperatura realizada durante o ensaio foi de 22ºC.

**Tabela 4 - Resultados obtidos no ensaio de impacto**

| Identificação da Amostra | Energia (J) |
|---|---|
| CP 1 Solda | 10 J |
| CP 2 Solda | 21 J |
| CP 3 Solda | 08 J |
| CP 1 ZTA | 212 J |
| CP 2 ZTA | 44 J |
| CP 3 ZTA | 200 J |

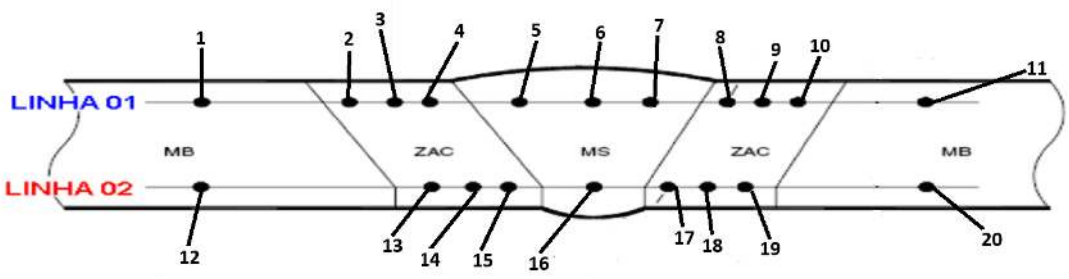
**Fonte: os autores (2019)**

Os resultados de impacto corroboram com os resultados de tração, apresentando uma diminuição da tenacidade do metal de solda em função dos precipitados de CNb na matriz e dos filmes de FeNb nos contornos de grãos da ferrita. O resultado da ZTA, devido as alterações das microestruturas em função da presença do microconstituinte A-M disperso na matriz, apresentou um resultado como alta tenacidade, diferenciando-se da microestrutura da analisada na ligação soldada. Isso deve-se a precipitação de estruturas ferriticas referentes do microconstituinte A-M presente.

- **Ensaio de dureza**

No ensaio de dureza *Vickers* foi realizado na seção transversal do material soldado conforme apresentado na Figura 1.

**Figura 1 – Ensaio de microdureza Vickers**




**Fonte: Petrobrás Norma 133 (2004)**

Os resultados de dureza *Vickers* do CP nas regiões do MB, ZTA e MS estão representados na Tabela 5 e na Figura 2. Os valores indicam uma grande variação da ZTA

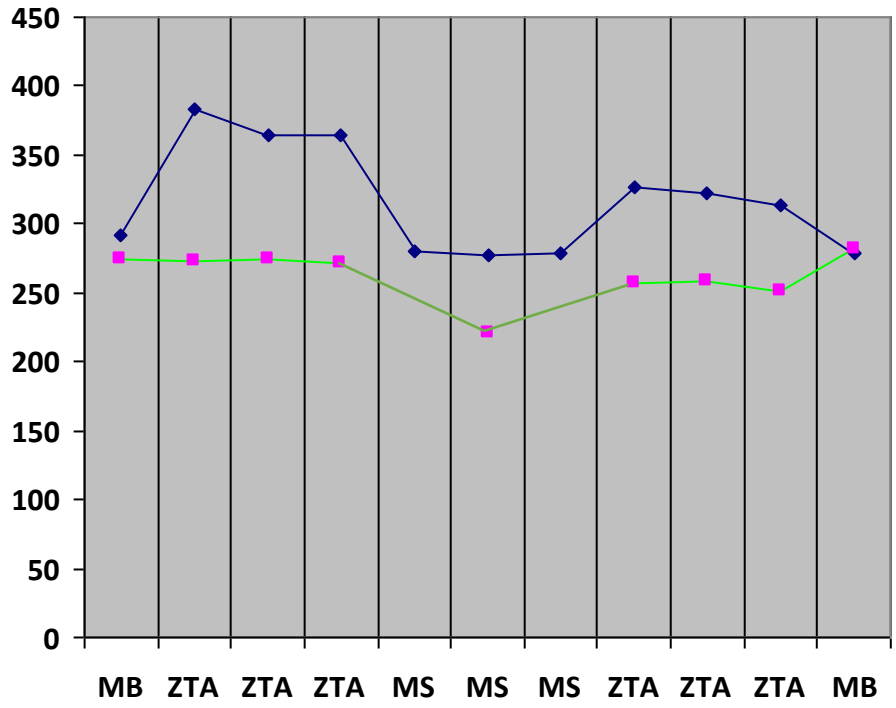
em relação ao MS, corroborando com os resultados de tração em função da presença de estruturas de solidificação em função da velocidade de dissipação de calor utilizada pelo aporte térmico na solda.

**Tabela 5 - Resultados de dureza *Vickers* 10Kg**

| Linha | MB | ZTA | ZTA | ZTA | MS | MS | MS | ZTA | ZTA | ZTA | MB |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 01 | 282 | 383 | 370 | 370 | 270 | 276 | 268 | 326 | 322 | 314 | 275 |
| 02 | 275 | 275 | 275 | 270 | na | 235 | na | 257 | 255 | 248 | 280 |

**Fonte: os autores (2019)**

**Figura 2 - Resultados da dureza *Vickers* 10Kg**



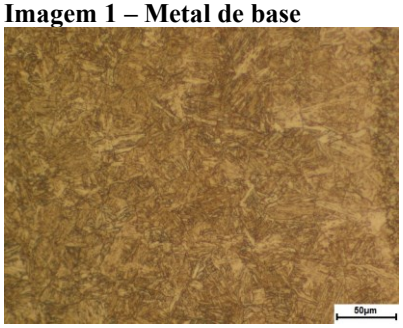

**Fonte: os autores (2019)**

Os valores médios o metal de base ficou em 271 HV, a ZTA sua média foi de 365 HV e por fim a zona fundida (ZF) foi de 278 HV.

- **Ensaio metalográfico**

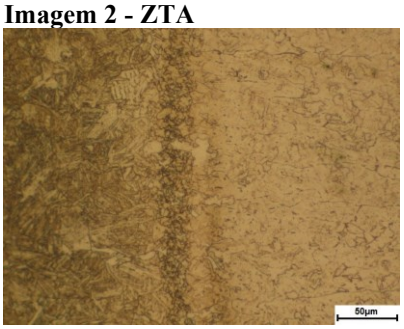
Na Imagem 1 a microestrutura do metal de base é composta por ferrita em forma de ripas e aciculares e com martensita revenida. A Imagem 2 é composta por martensita revenidas e bainitas, microestruturas resultantes na ZTA, devido a energia de soldagem aplicada ter uma dissipação térmica rápida ao redor da poça de fusão. Na Imagem 3 do metal de solda, percebe-se em função da energia de transferência ser elevada e a pela quantidade de nióbio na composição, retardou a transformação da austenita, proporcionando a difusão do carbono, precipitando na forma de carbonetos de nióbio ao longo dos contornos de grãos da ferrita acicular e dispersos na matriz martensita revenida.

**Imagem 1 – Metal de base**



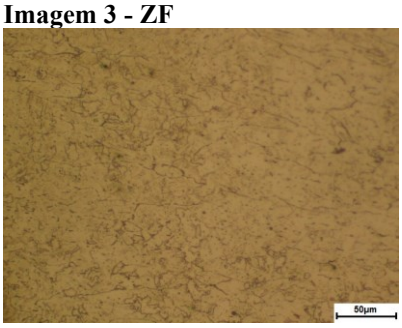
**Fonte: os autores (2019)**

**Imagem 2 - ZTA**



**Fonte: os autores (2019)**

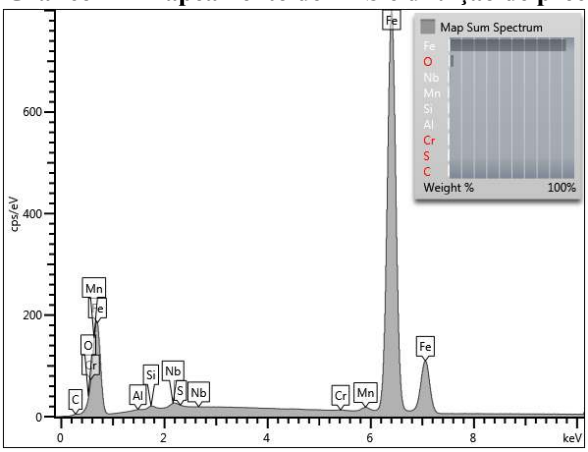
**Imagem 3 - ZF**



**Fonte: os autores (2019)**

O resultado EDS indica que a composição química da junta soldada tem uma porcentagem de 1,10% em peso de nióbio disperso na matriz e de precipitados de carboneto de nióbio. No Gráfico1 é possível analisar que o nióbio está presenta na região da solda na forma de precipitados dispersos na matriz e o carbono presente precipitado na forma de carbonetos Nb (C,N). Na micrografia da Imagem 3, a presença de estruturas martensitas revenidas e ferritas aciculares, o resultado do ensaio EDS mostra uma precipitação de carbonetos de nióbio ao longo dos contornos de grãos da ferrita acicular na forma de uma linha estreita e contínua, proporcionando uma queda de resistência no metal de solda devido ao ciclo de reaquecimento da soldagem multipasses.

**Gráfico 1 – Mapeamento de EDS e diluição de precipitados**







| Elem. | C | Fe | Nb | Mn | Cr | Si |
|---|---|---|---|---|---|---|
| %p | 0,00 | 93,36 | 1,10 | 0.77 | 0,08 | 0,51 |

**Fonte: os autores (2019)**

## 5 CONCLUSÃO

Assim, pelos resultados de impacto realizados, observa-se que variaram e os corpos de prova CP1 da ZTA e CP3 da ZTA tiveram resultados acima de 200 Joules, típicas de material de alta dutibilidade determinada por estruturas ferriticas. No entanto para os corpos de prova CP1 da solda, CP3 da solda e CP2 ZTA os resultados não foram satisfatórios por apresentarem fraturas frágeis nos ensaios de impacto, em virtude das microestruturas aciculares e dos microconstituintes como resultado dos CPs.

No ensaio de tração no CP1 da junta soldada a tensão de ruptura foi de 700 MPa e a tensão de escoamento 640 MPa. Esse corpo de prova obteve-se um resultado que atende ao metal de base especificado pelo fabricante como no mínimo de 700 MPa, assim como o CP2 (910 MPa).

No ensaio de dureza *Vickers* a média geral o metal de base ficou em 271 HV, dentro do especificado pelo fabricante do material; a ZTA sua média foi de 365 HV, acima comparado com o metal de base em função dos ciclos térmicos da soldagem, com presença de estruturas martensitas poligonais, aumentando sua resistência e diminuindo sua dutibilidade. A zona fundida (ZF) foi de 278 HV, resultados um pouco acima da média do metal de base e que determinaram uma maior resistência e menor tenacidade ao material, comparado ao metal de base.

No ensaio de EDS, os precipitados na matriz e as estruturas corroboram com os resultados nos ensaios de tração, dureza e impacto e nas microestruturas foi de total relevância para identificar e quantificar as estruturas, proporcionando uma melhor compreensão dos resultados obtidos.

As microestruturas obtidas no processo de soldagem na zona fundida foram compatíveis com os resultados apresentados nos ensaios, proporcionadas pelo percentual de nióbio adicionado ao fluxo do consumível, determinado no ensaio de EDS, na forma de precipitação no contorno de grão como FeNb e de carbonetos disperso na matriz, tornando possível a melhoria da propriedade de resistência do metal depositado, como fator importante do estudo desenvolvido.

Pode-se concluir que com a adição de 1,5% de nióbio no fluxo do arame tubular, o processo teve uma boa soldabilidade, um arco estável, pouco respingos, uma matriz fundida com dispersão de precipitados na forma de carbonetos de nióbio e filmes de ferro nióbio ao longo dos contornos de grãos das estruturas ferriticas aciculares, coerentes com o metal de base e a classe do consumível do metal de adição utilizado, por não ser adequado para a soldagem do *Domex* 700, obteve-se como resultado, um aumento de resistência na junta soldada com a presença de 1,1% de nióbio na matriz, proporcionando uma melhora na classificação da classe desse consumível.

## REFERÊNCIAS

ASME **Boiler and Pressure Vessel, an International Code. Code II, Part A**, Ferrous Material Specifications, 2017.

_____ **Boiler and Pressure Vessel, an International Code. Code II, Part C**, Consumibles Material Specifications, 2017.

_____ **Boiler and Pressure Vessel, an International Code. Code IX**, Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, and Welding and Brazing Operators, 2017.

ASTM. ASTM E10-15. **Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials.** ASTM International. Pennsylvania, United States. 2015.

BOSANSKY, J., & Evans, G. M.. Relationships between the properties of weld metals microalloyed with v and nb, their structure and substructure. **Welding International**, 6(12), 997–1002. 1992. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09507119209548332. Acesso em:06 jun. 2020.

CREA-AM. **Monopólio brasileiro do nióbio gera cobiça mundial, controvérsia e mitos**. 2013. Disponível em: https://www.creaam.org.br/src/site/noticia.php?id=2854. Acesso em: 08 març. 2018.

DECAFER.**A importância do aço para a economia e sustentabilidade**. 2019. Disponível em: https://decafer.com.br/a-importancia-do-aco-para-a-economia-e-sustentabilidade/. Acesso em: 29 out. 2019.

ESAB. **Processos de Soldagem**: Arames Tubulares. 2019. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/blog/processo_soldagem_arames_tubulares.cfm. Acesso em: 08 març. 2019.

JULIÃO, R.B. **Avaliação do impacto da preparação metalográfica na quantificação de austenita retida via EBSD em aço AHSS. 2019.** 42 f. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia de Materiais, 2019.

KESTRA **Universal Soldas Ind., Com., Imp. e Exp. Ltda**. 2019. Disponível em: http://www.kestra.com.br. Acesso em: 02 ago. 2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de** m**etodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MOTTA, F. P. **Propriedades de revestimento de nióbio obtidos por aspersão térmica a plasma sobre aço API 5L X65**. 2011. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

PETROBRÁS. Norma 133, Revisão J**. Soldagem**. 2004. Disponível em: https://www.docsity.com/pt/n-0133-1/4830275/. Aceso em: 28 jun. 2019

RODRIGUES, S. M. **Estudo do comportamento em fadiga de juntas soldadas de aços bifásicos de alta resistência mecânica.** 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2012.

SILVEIRA, Ana Luisa Assis; OLIVEIRA, Fabiana Lucena. Análise da potencialidade da produção de nióbio do estado do Amazonas e seus empecilhos. In: **V seminário internacional em ciências do ambiente e sustentabilidade na Amazônia**. Campus Universitário da UFAM, Manaus, 14 a 17 de agosto de 2018. Disponível em: https://even3storage.blob.core.windows.net/anais/93367.pdf. Acesso em: 26 abr. 2019.

SSAB. Domex 700 - **O aço estrutural de alta resistência com 700 MPa.** (2020). Recuperado em 09 junho, 2020 Disponível em: https://www.ssab.com.br/products/brands/strenx/products/strenx-700. Acesso em: 26 abr. 2019.

SOUZA JUNIOR, J.G. **Revestimento à base de nióbio e nióbio-ferro obtido por aspersão térmica hipersônica sobre aço API 5L X70. 2011**. 93 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação de Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais PPGE3M) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.

ZOLIN, Ivan. **Ensaios Mecânicos e Análises de Falhas:** Santa Maria - RS: e-Tec Brasil, 2011.