

Recebido em 11/2019. Aceito para publicação em 01/2020.

UMA METODOLOGIA PARA GARANTIA DE PROPRIEDADES DO AÇO ASTM A-131 GRAU AH36 PARA FINS DE MODIFICAÇÕES NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE ESTACA TORPEDO

A METHODOLOGY TO GUARANTEE THE MECHANICAL PROPERTIES OF ASTM A131 STEEL GRADE AH36 FOR MODIFICATIONS IN THE MANUFACTURING PROCESS OF “TORPEDO STAKE”

Silvana de Abreu Martins¹

Aristoclê Aguiar Filho²

Andre Luiz Costa e Silva³

Resumo: Para fazer quaisquer mudanças em um processo de fabricação é necessário verificar se as propriedades do material utilizado atendem aos requisitos necessários, neste caso, os requisitos são estabelecidos pela ASTM. Este trabalho propõe uma metodologia para avaliação detalhada e criteriosa das propriedades do aço ASTM a-131 grau ah36, utilizado na fabricação de estaca torpedo. A estaca torpedo é uma estaca para ancoragem de estruturas flutuantes em águas profundas e ultraprofundas. O objetivo é garantir confiabilidade nos resultados na aplicação deste aço quando modificado o processo de fabricação da estaca torpedo. No presente trabalho foi utilizado o aço ASTM a-131 grau ah36, doado pelo Arsenal de Marinha do Brasil. Com esse estudo é possível verificar se as suas propriedades estão dentro dos requisitos necessários para, ao fazer modificações no processo de fabricação por calandragem, originar o corpo cilíndrico da estaca torpedo, com características dentro de padrões desejáveis. Essa metodologia inclui identificação da amostra com análise de caracterização e equivalência da amostra seguida de preparação e orientação dos corpos de prova, ensaio de ultrassom, macrografia, micrografia, ensaio de análise química da amostra, ensaio de impacto da amostra. A metodologia proposta mostrou-se adequada e confiável e com o resultado verificou-se que o aço fornecido está de acordo com as especificações necessárias.

Palavras-chave: Aço ASTM a-131 grau ah36; estaca torpedo; metodologia.

Abstract: To change any manufacturing process, it is necessary to verify whether the properties of the material employed are in accordance with necessary requirements, and in this case the requirements are defined by ASTM. This work proposes a methodology for the detailed and judicious evaluation of the properties of ASTM a-131 grade ah36 steel, used in the manufacture of “torpedo stake”. “Torpedo stake” is a stake used for anchoring deep and ultra-deep water floating structures. The purpose is to guarantee reliability in the results, in the application of this steel when the process of manufacture of the “torpedo stake” is modified. ASTM a-131 grade ah36 steel, donated by the Brazilian Navy Arsenal, was used in the present work. With this study, it is possible to verify whether its properties meet the requirements to, when modifying the manufacture process by calendering, originate the cylindrical body of the “torpedo stake”, with characteristics inside the desirable standards. This methodology includes sample identification with analysis of sample characterization and equivalence, followed by specimen preparation and orientation, ultrasound test, macrography, micrograph, test on the chemical analysis of the sample, and impact test. The proposed methodology was adequate and reliable,

¹ Fundação Centro Universitário da Zona Oeste - UEZO, Brasil. E-mail: silabmartins@gmail.com.

² Fundação Centro Universitário da Zona Oeste - UEZO, Brasil. E-mail: aristoclefilho@gmail.com.

³ Fundação Centro Universitário da Zona Oeste - UEZO, Brasil. E-mail: andre.costaesilva@gmail.com.

and with the result, it was verified that the steel supplied is in accordance with the required specifications.

Keywords: ASTM a-131 grade ah36 steel; "Torpedo stake"; methodology.

1 INTRODUÇÃO

Em quaisquer mudanças em um processo de fabricação é essencial ter confiabilidade nas matérias-primas utilizadas e a garantia de que suas propriedades atendam às normas pertinentes. Neste caso, os requisitos são estabelecidos pela ASTM. Este trabalho propõe uma metodologia para avaliação detalhada e criteriosa das propriedades do aço ASTM a-131 grau ah36, utilizado na fabricação de estaca torpedo, patente de Medeiros Junior e Carvalho (2018). A estaca torpedo é uma estaca utilizada pela Petrobrás para ancoragem de estruturas flutuantes em águas profundas e ultraprofundas. Várias áreas da engenharia são envolvidas na sua fabricação, como por exemplo, a conformação mecânica e a soldagem. O processo de conformação utilizado na sua fabricação é a calandragem. O processo de calandragem convencional é a deformação na direção ortogonal à direção de laminação. Com este processo, são necessários, pelo menos, oito virolas com comprimento de 2,2 m para formar o corpo cilíndrico de uma estaca deste tipo unidas por soldagem, totalizando sete soldas circunferências que somam aproximadamente 26m e equivalem a aproximadamente 200 kg de metal depositado. Com uma modificação, no processo, realizando a calandragem na direção paralela à de laminação, o número de soldas e os custos poderiam ser reduzidos de maneira bastante significativa.

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia eficiente para garantir as propriedades necessárias do aço ASTM a-131 grau ah36, utilizado em testes, para verificar a viabilidade técnica da modificação na direção de conformação, ou qualquer outra modificação no processo de fabricação de estacas torpedo. No caso da modificação na direção de conformação, esta poderá trazer economia, pois aumentaria o comprimento das virolas para formar o corpo cilíndrico da estaca e reduziria o número de soldas necessário e assim também reduzindo a quantidade de metal depositado. Esta economia se estenderia aos custos de insumos, mão de obra e inspeção. Para este estudo, foram utilizadas duas amostras de aço ASTM A-131 Grau AH36, medindo 50 x 500 x 500mm.

Há uma superposição natural entre o conceito de aços ARBL e classificações baseadas no emprego, isto é, aços ARBL são empregados como aços estruturais, aços para indústria automobilística, aços para tubulações, vasos de pressão, dentre outras. Além disso, alguns destes aços têm sido agrupados em famílias, em função de alguma característica comum, tais como: aços bifásicos (*dual-phase*), aços de perlita-reduzida (*reduced-pearlite*), aços laminados controladamente aços *spray quenched* e etc. Evidentemente, todas as classificações ou agrupamentos podem ser úteis dentro de determinadas condições; importante, entretanto, não se deixar confundir pelas diversas nomenclaturas, pois assim, como o próprio "nome" dado ao aço, estas nomenclaturas não

podem alterar suas propriedades e características. Estas decorrem, fundamentalmente, de sua composição química, processamento e, conseqüentemente, da estrutura (macro e micro), e não dependem da "etiqueta" que se coloca no produto (SILVA; MEI, 2006).

As últimas décadas viram grandes desenvolvimentos na tecnologia dos aços ARBL. A maioria destes desenvolvimentos foi baseada na compreensão da correlação entre propriedades e microestrutura (SILVA; MEI, 2010).

Um processo que permita obter, durante a laminação, austenita de grão fino e, eventualmente, encruada, favorece, naturalmente, a nucleação de ferrita no resfriamento e resulta em microestruturas de grão extremamente fino (GAO; BAKER, 1999). Para se atingir estas condições, tratamentos termomecânicos em que deformações significativas são realizadas a temperaturas inferiores à temperatura de recristalização do material, são necessários (SILVA; MEI, 2010).

A composição química de aços estruturais com uma microestrutura ferrita-perlita vem se desenvolvendo no sentido de diminuir o teor de carbono, aumentar a soldabilidade, com maior teor de elementos de micro-liga, para fornecer refinamento de grãos, solução sólida e reforço de precipitação. Durante a formação de UOE de tubos soldados de grande diâmetro (mais de 400 mm), a queda de resistência de chapa em tubulação, o efeito Bauschinger, depende da classe do aço, ou seja, do conteúdo do elemento de micro-liga e do processamento (KOSTRYZHEV; STRANGWOOD; DAVIS, 2013). Embora a definição mais popular do efeito Bauschinger se refira à redução da tensão de escoamento para carregamento reverso, o efeito é mais complexo do que se pensava anteriormente e envolve não apenas a força de escoamento inicial, mas também toda a tensão de escoamento após a pré-formação. Acredita-se que as principais causas estejam associadas ao estresse elástico e / ou anisotropia na resistência ao movimento de deslocamento (ABEL; MUIR, 1972). O efeito Bauschinger pode ser também observado em muitos metais ou ligas tais como ferro, cobre, alumínio, latão etc. e até em alguns materiais não metálicos (KOSTRYZHEV; STRANGWOOD; DAVIS, 2010). A magnitude do efeito Bauschinger depende da composição, através da presença de precipitados de microligas, e do processamento prévio, do tamanho e da distribuição dos precipitados de microligas. (KOSTRYZHEV; STRANGWOOD; DAVIS, 2010). Assim, na fabricação de estaca torpedo, assim como, no momento de extração dos corpos de prova de ensaios possível que possa ocorrer em algum momento o efeito Bauschinger exigindo atenção especial.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A liga utilizada neste estudo é a ASTM A-131 AH36. Duas amostras com dimensões respectivas de 55mm x 500mm x 1.000mm e 55mm x 500mm x 1.500mm (espessura x

largura x comprimento), extraídas da chapa de aço AH36, originalmente medindo 55mm x 2.200mm x 6.000mm (espessura x largura x comprimento), foram doadas pelo Arsenal de Marinha do Brasil e fabricadas pela siderúrgica alemã *Stahlwerker Peine-Salzgitter AG* da planta de *Salzgitter*.

2.1. Identificação e Corte da Amostra

As amostras foram traçadas com linha e alvaiade, identificadas e marcadas suas direções de laminação com tipos numéricos e alfabéticos para garantir a rastreabilidade das amostras. O corte foi feito pelo processo de oxicorte nas instalações do Arsenal de Marinha do Brasil. Todo o processo, inclusive o transporte até as instalações da Nuclep, foi supervisionado pelo autor, para não haver possibilidade de extravio ou troca de material.

A orientação dos grãos, define a direção de laminação e coincide com o comprimento da chapa, por ter sofrido maior deformação. As localizações dos cortes das amostras foram cuidadosamente definidas, de forma que, durante a operação de calandragem fosse possível atender as duas condições objeto desta pesquisa: deformação da chapa ortogonal a direção de laminação e deformação paralela a direção de laminação. As amostras foram identificadas como MP01-12/2.2015-001 e MP01-12/2.2015-002.

2.1.1 Identificação Das Amostras

As amostras foram identificadas como: MP01-12/2.2015-001 para o material que sofreu deformação causada pelo processo de calandragem ortogonal a direção de laminação (processo convencional) e identificadas como MP01-12/2.2015-002 para o material que sofreu deformação paralela a direção de laminação. Conforme se pode observar nas figuras 1 e 2.

Figura 1 - Fotografia da chapa antes do corte das amostras.



Fonte: Os autores.

Figura 2 - Amostras cortadas e identificadas.



Fonte: Os autores.

2.1.2 Análise de Caracterização e Equivalência da Amostra

A documentação fornecida não declara que a chapa fora produzida com base na especificação ASTM A-131 AH36, embora esteja registrado, no campo material, a sigla Y AH36. Por esta razão, foram realizados os seguintes ensaios para garantir que o material da amostra pode ser aplicado: Ensaio de Ultrassom; Macrografia; Micrografia; Análise química do produto; Ensaio de tração; Ensaio de impacto.

No que diz respeito ao processo de fabricação, a documentação é clara no sentido de que a chapa foi obtida pelo processo de laminação, sofreu tratamento térmico de Normalização, requisitos exigidos pela especificação ASTM A-131.

2.2 Preparação e Orientação dos Corpos de Prova

Na fase de caracterização, buscou-se conhecer as propriedades mecânicas das chapas em três regiões distintas: $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ e $\frac{3}{4}$, da espessura, medido a partir da face interna, após a deformação. Desta forma, durante a fase de comparação dos resultados, foi possível conhecer, para cada condição de calandragem, o comportamento das regiões da linha neutra, regiões que sofreram tração e regiões que sofreram compressão.

Foram retirados de cada uma destas regiões mencionadas acima, três conjuntos de corpos de prova de tração e impacto, em um total de nove corpos de prova, com seus eixos axiais transversal a direção de laminação e cinco corpos de prova de tração com seus eixos axiais longitudinal a direção de laminação, sendo dois a $\frac{1}{4}$ da espessura, um a $\frac{1}{2}$ espessura e dois a $\frac{3}{4}$ da espessura. Quadro 1 apresenta as informações referentes aos corpos de prova.

Quadro 1 - corpos de prova, identificação, localização e quantidade.

Ensaio	Localização	Quantidade	Identificação
Tração transversal	1/4	3	TA1- TA2-TA3
Impacto	1/4	3	CA1-CA2-CA3
Tração longitudinal	1/4	2	TI1-TI2
Tração transversal	1/2	3	TB1-TB2-TB3
Impacto	1/2	3	CB1-CB2-CB3
Tração longitudinal	1/2	1	TM1
Tração transversal	3/4	3	TC1-TC2-TC2
Impacto	3/4	3	CC1-CC2-CC3
Tração longitudinal	3/4	2	TE1-TE2
Total		23	

Fonte: Os autores.

Os corpos de prova transversais à direção de laminação, foram identificados da seguinte forma:

- Os que ficarão a $\frac{1}{4}$ da espessura tomando como referência o menor raio de deformação após a calandragem, foram identificados como TA1, TA2, TA3.
- Os que ficarão a $\frac{1}{2}$ espessura foram identificados como TB1, TB2, TB3.
- Os que ficarão a $\frac{3}{4}$ da espessura tomando como referência o menor raio de deformação após a calandragem, foram identificados como TC1, TC2, TC3.

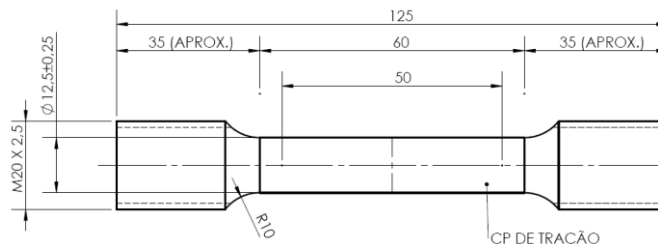
Os corpos de prova longitudinais a direção de laminação, foram identificados da seguinte forma:

- Os que ficarão a $\frac{1}{4}$ da espessura tomando como referência o menor raio de deformação após a calandragem, foram identificados como TI1, TI2.
- O que ficou a $\frac{1}{2}$ espessura foi identificado como TM1.
- Os que ficarão a $\frac{3}{4}$ da espessura tomando como referência o menor raio de deformação após a calandragem, foram identificados como TE1, TE2.

Os corpos de prova para Ensaio de Tração foram confeccionados conforme a norma ASTM A-370 Edição 2011 – conforme a Figura 3, corpo de prova circular. Suas medidas

principais são: comprimento total de 125mm, comprimento útil de 50mm, cabeças com comprimento de 35mm e rosca M20 x 2,5.

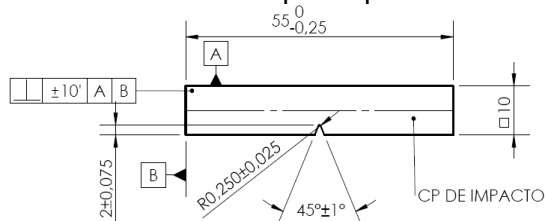
Figura 3 - Dimensionamento do corpo de prova do Ensaio de Tração.



Fonte: ASTM A-370

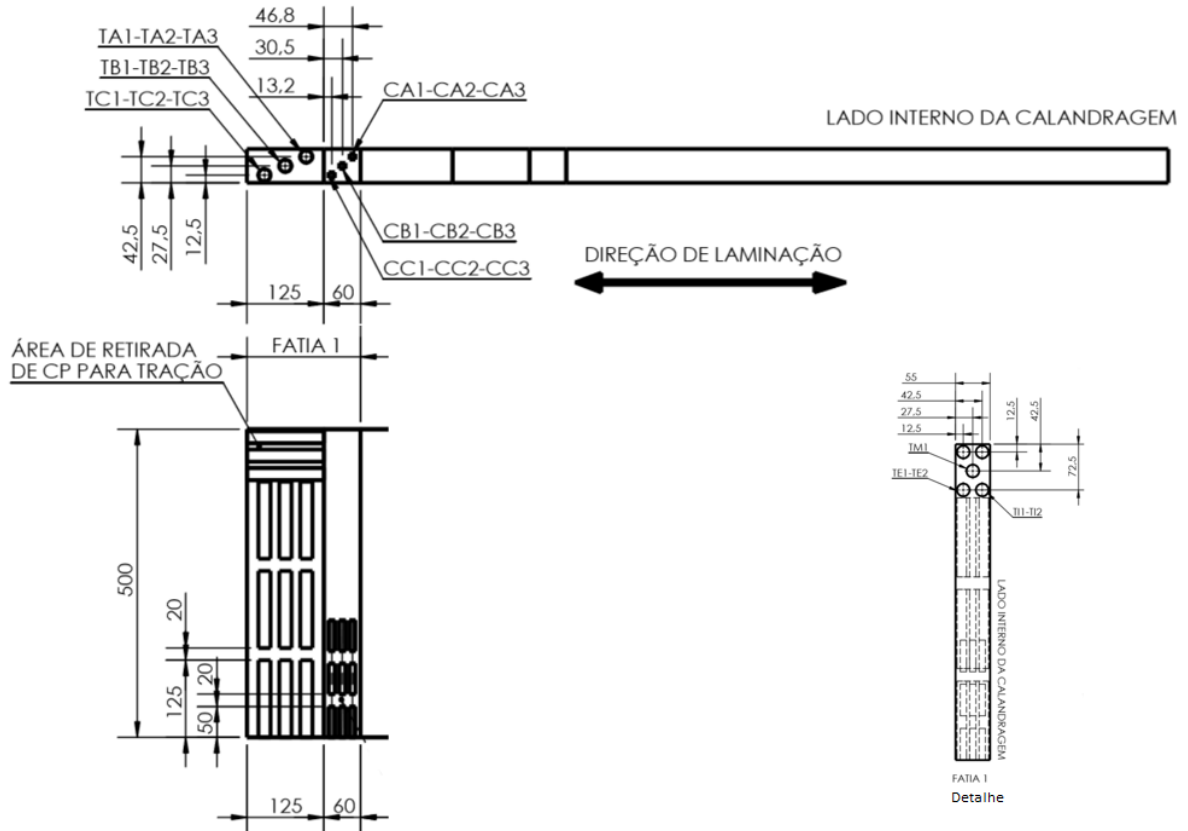
Os corpos de prova para Ensaio de Impacto foram confeccionados conforme a norma ASTM A-370 Edição 2011, o tipo escolhido foi o Charpy com entalhe em V "STANDARD FULL SIZE SPECIMEN". Suas medidas principais são: 10mm x 10mm x 55mm (largura x espessura x comprimento) e entalhe tipo V a 45°. Sua localização e identificação foram apresentados no Quadro 1, as figuras 4, 5, 6 e 7 ilustram as características e informações sobre os corpos de prova dos Ensaio de Impacto e de tração.

Figura 4 - Dimensionamento do corpo de prova do Ensaio de Impacto.



Fonte: ASTM A-370

Figura 5 - Desenho da localização dos corpos de prova do Ensaio de Tração e Ensaio de Impacto.



Fonte: ASTM A-370

Figura 6 - Fotos da traçagem dos corpos de prova do Ensaio de Tração e Ensaio de Impacto.



Fonte: Os autores.

Figura 7 - Fotos dos corpos de prova do Ensaio de Tração e Ensaio de Impacto prontos para o ensaio.



Fonte: Os autores.

2.3 Ensaios de Ultrassom

Embora não seja exigido pela especificação do material, é desejável verificar se existe descontinuidade que, por ventura, venha a comprometer os ensaios posteriores, por esta

razão, antes de iniciar os ensaios destrutivos, realizou-se o ensaio de ultrassom em 100% do volume das amostras, pela técnica de contato direto com feixe normal, utilizando: transdutor B2SN fabricante GE; equipamento OLYMPUS modelo EPOCH série 100038710; bloco de calibração K1 e normas de ensaio ASME V – artigo 1; 5 e 23 (ASME SA - 435).

Não foram evidenciadas indicações relevantes no ensaio por ultrassom, sendo aprovado conforme registrado no Relatório de Ensaio Por Ultrassom Nº 0001/17, fornecido.

2.4 Macrografia

O ensaio Macrográfico foi realizado com o objetivo de comprovar a direção de laminação, os corpos de prova foram cortados nas duas amostras, pelo processo de oxicorte medindo 55mm x 70mm x 100mm (espessura x largura x comprimento), essas dimensões foram definidas para que fosse possível se obter uma imagem tridimensional da direção de laminação. A direção de laminação que estava identificada na amostra foi transferida para o corpo de prova antes do corte, as faces que seriam atacadas, foram fresadas reduzindo suas dimensões em 10mm, com o propósito de retirar a zona termicamente afetada pelo processo de oxicorte. Posteriormente retificadas, polidas e atacadas com Nital a 10%. A figura 8 mostra o oxicorte dos corpos de prova, já a figura 9, ilustra a identificação das amostras e a marcação da direção de laminação (DL>>>) e a figura 10 mostra o Ataque Químico com Nital a 10%.

Figura 8 - Oxicorte dos corpos de prova.



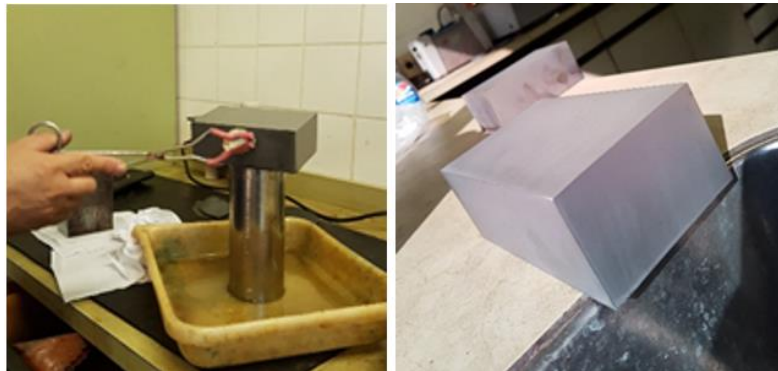
Fonte: Os autores.

Figura 9 - Identificação das amostras e a marcação da direção de laminação (DL>>>).



Fonte: Os autores.

Figura 10 - Ataque Químico com Nital a 10%.



Fonte: Os autores.

O ataque químico revelou uma estrutura isotrópica, sem segregações visuais, impossibilitando a identificação da direção de laminação, isso é muito comum em aços produzidos com refinamento de grão, condição exigida pela especificação do material desta pesquisa. Uma alternativa mais eficaz para identificar a direção de laminação é realizar o ensaio de tração em duas condições: longitudinalmente ao maior comprimento da chapa e transversalmente ao maior comprimento da chapa. A direção de laminação será aquela que apresentar maiores valores de tensões máximas e de escoamento.

3 RESULTADOS

3.1 Micrografia

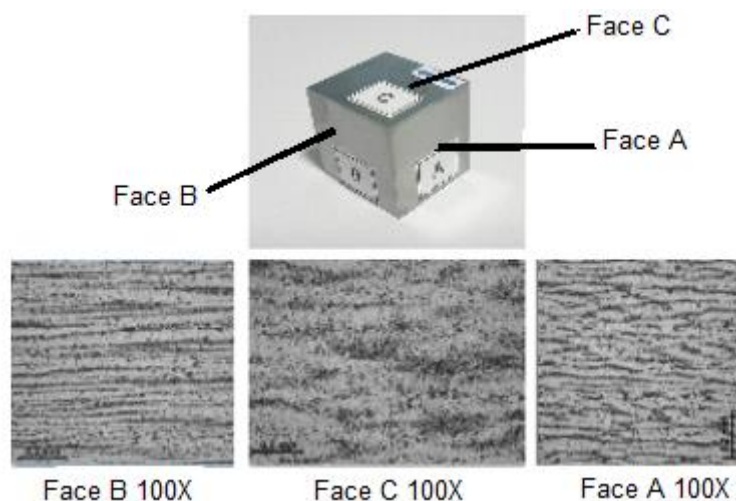
Embora a direção de laminação fosse conhecida, pois a retirada da amostra da chapa de origem tenha sido acompanhada e marcada nas amostras tal direção, julgou-se necessário ilustrar através da micrografia eletrônica a direção de laminação, pois todo o desenvolvimento desta pesquisa teve como referência a direção de laminação.

Um corpo de prova medindo 20mm x 20mm x 20mm, foi retirado da amostra MP.01-12/2.2015-001. Posteriormente retificado, polido e atacado quimicamente com Nital.

Observado ao microscópio eletrônico extraiu-se imagens com ampliação de 50x, 100x e 200x.

A figura 11 ilustra o corpo de prova ensaiado e as imagens das respectivas faces A, B e C, com ampliação de 100x, a seta indica a direção de laminação que pode ser comprovada pela micrografia da face C.

Figura 11 - Micrografia ilustrando a direção de laminação.



Fonte: Os autores.

3.2 Ensaio de Análise Química da Amostra

O Ensaio de Análise Química foi realizado em um corpo de prova medindo 14mm x 54mm x 86mm (Espessura x Largura x Comprimento). O Laboratório MTC utilizou o Espectrômetro Por Emissão Óptica: fabricante Spectro Sul Americana Comércio LTDA – identificação MTC 2050 – certificado 121411/06-A com validade até 02/2018, o método utilizado foi Fe-10-F e a norma de referência ASTM A 751, edição 2014a. Os resultados obtidos são apresentados no quadro 2.

Quadro 2 - Resultados obtidos na Análise Química das Amostras.

MP.01-12/2 2015-001 Análise Química em %						
C	Si	Mn	P	S	Al	Cu
0,169	0,352	1,51	0,013	0,0042	0,039	0,023
Cr	Ni	Mo	V	Nb	Ti	C eq
0,029	0,03	0,0056	0,0065	0,037	0,0015	0,42

Fonte: Os autores.

3.3 Ensaio de Tração Longitudinal e Transversal para Caracterização das Amostras

Como mencionado no item “Preparação e orientação dos corpos de prova” foram confeccionados nove corpos de prova para o ensaio de tração com orientação transversal a direção de laminação e cinco corpos de prova com orientação longitudinal a direção de laminação, o quadro 3 apresenta os resultados obtidos em cada região ensaiada.

A orientação do corpo de prova é a sua posição em relação ao sentido de laminação. Denomina-se transversal o corpo de prova que possui o seu eixo axial transversal a direção de laminação e os resultados do limite de resistência e limite de escoamento apresentam valores menores comparados aos dos corpos de prova longitudinal, devido a maior facilidade do rompimento das “fibras”. Já o corpo de prova longitudinal, apresenta resultados de limite de resistência e limite de escoamento maiores, pois o eixo axial do corpo de prova está orientado na direção de laminação da chapa e suas “fibras” são alongadas durante o ensaio.

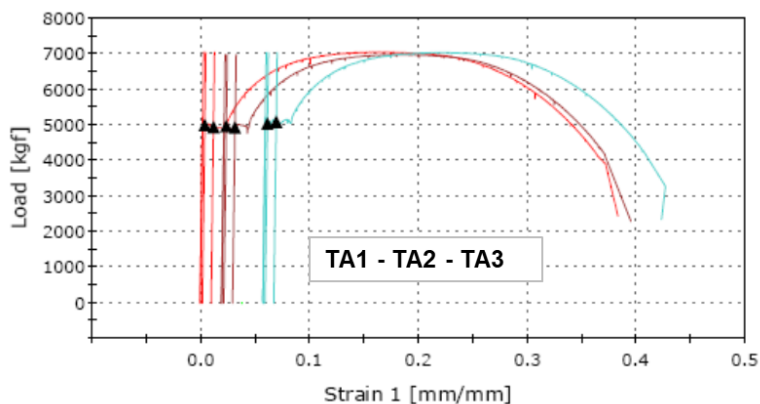
Quadro 3 - Resultados do Ensaio de Tração para caracterização das amostras.

CP	Orientação	Local (*)	Limite de Resistência (490-620 MPa)	Média do LR [MPa]	Limite de Escoamento mínimo [355 MPa]	Média do LE	Alongamento mínimo em 50mm [22%]	Média do AL [%]
TA1	Transversal	1/4	541	542	385		37	37
TA2		1/4	544		388	387	37	
TA3		1/4	542		389		36	
TB1		1/2	538	541	373		32	35
TB2		1/2	541		374	380	39	
TB3		1/2	544		392		33	
TC1			3/4	536	536	385		38
TI1	Longitudinal	1/4	543	544	392	398	36	36
TI2		1/4	544		403		35	
TM1		1/2	543	543	394	394	33	33
TE1		3/4	539	541	378	367	37	37

Fonte: Os autores.

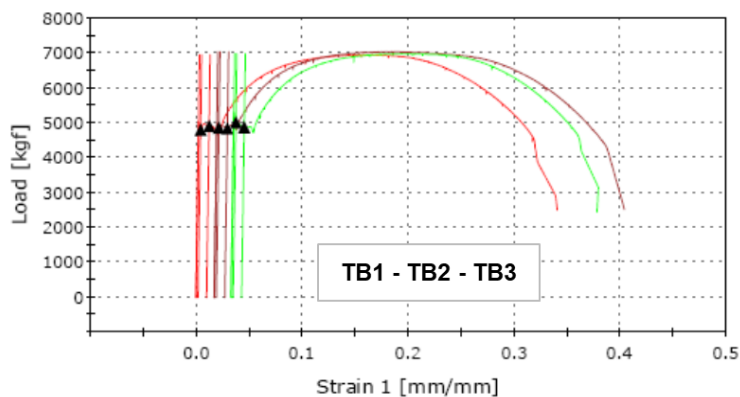
Os gráficos a seguir, das figuras 12 à 16 foram gerados no relatório do ensaio de tração para caracterização das amostras, emitido pelo equipamento EMIC 23-600.

Figura 12 - Carga x Deformação amostras TA1 -TA2 -TA3



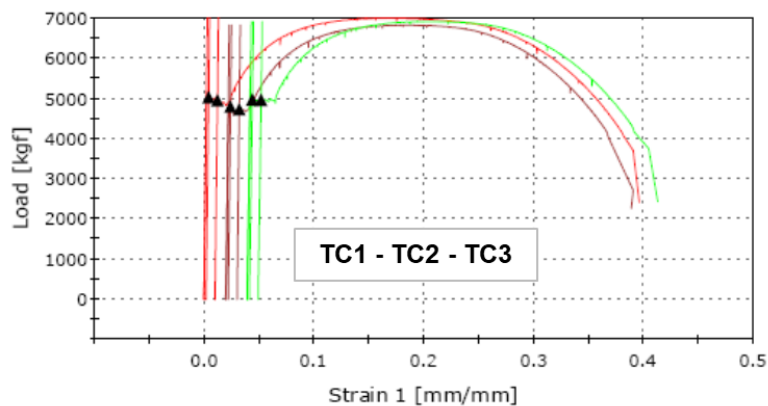
Fonte: Os autores.

Figura 13 - Carga x Deformação amostras TB1 - TB2 - TB3



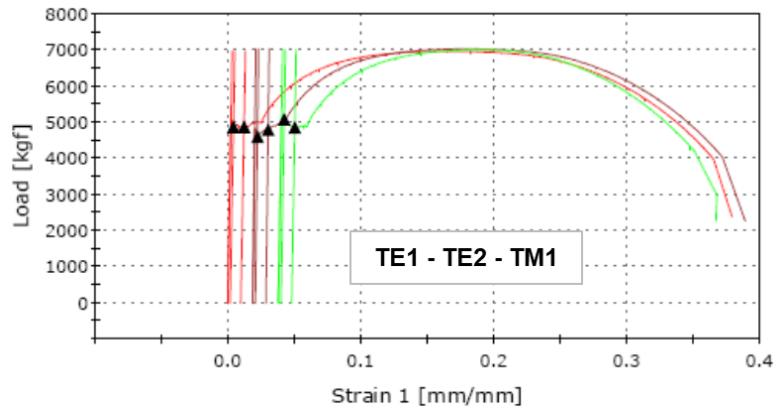
Fonte: Os autores.

Figura 14 - Carga x Deformação amostras - TC1 - TC2 - TC3



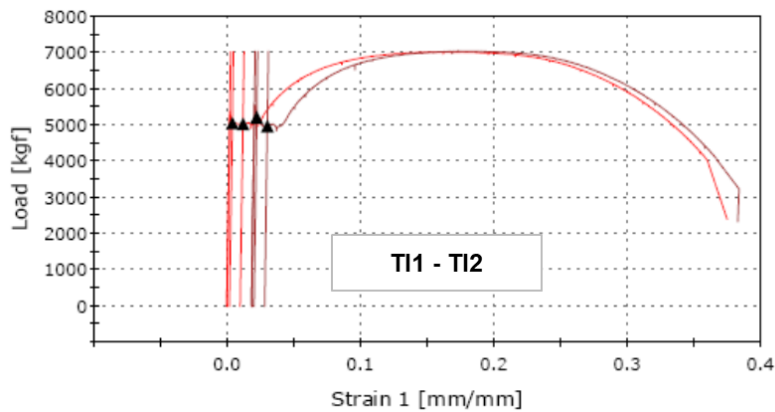
Fonte: Os autores.

Figura 15 - Carga x Deformação amostras TE1 - TE2 - TM1



Fonte: Os autores.

Figura 16 - Carga x Deformação amostras TI1 - TI2



Fonte: Os autores.

Analisando-se os resultados obtidos, é possível observar que, tanto os valores individuais quanto os valores médios estão dentro da faixa 490 – 620MPa, que é a faixa requerida pela norma para os valores de Limite de Resistência e estão acima de 355MPa, que é o valor mínimo requerido para o Limite de Escoamento.

Como mencionado no item “Preparação e Orientação dos Corpos de Prova ” foram confeccionados nove corpos de prova para o ensaio de impacto com orientação transversal a direção de laminação, o quadro 4 apresenta os resultados obtidos em cada região ensaiada. Orientação do corpo de prova é a sua posição em relação ao sentido de laminação. Denomina se transversal o corpo de prova que possui o seu eixo axial transversal a direção de laminação, os resultados da tenacidade em corpos de prova com

orientação transversal costumam apresentar valores menores, se comparados aos resultados dos CP com orientação longitudinal, pois no CP com orientação transversal, as fibras ficam paralelas a direção do entalhe do corpo de prova.

O ensaio foi realizado em máquina tipo martelo pendular conforme a norma ASTM A751/A751M-11, os CP foram resfriados e ensaiados a temperatura de 0 °C, conforme requerido pela norma ASTM A131/131M-08.

Quadro 4 - Resultados do Ensaio de Impacto nos CP para caracterização das amostras

CP	Orientação	Localização (*)	Energia Absorvida [27 J] min	Média da Energia Absorvida [27 J] min
CA1	Transversal	1/4	195	185
CA2		1/4	189	
CA3		1/4	171	
CB1		1/2	160	146
CB2		1/2	105	
CB3		1/2	174	
CC1		3/4	176	182
CC2		3/4	181	
CC3		3/4	189	

Fonte: Os autores.

Analisando os resultados, observa-se que os mesmos atingiram valores bem superiores aos 27J requeridos para corpos de prova transversal.

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados da análise química, ensaios de tração e impacto observa-se que não há desvio dos valores requeridos pela especificação ASTM A131 para o grau AH 36. Concluiu-se que a metodologia é adequada e que as amostras estavam aptas a serem utilizadas no experimento para mudança na direção de conformação, ou qualquer outra modificação no processo de fabricação para oferecer melhorias no processo de fabricação de estaca torpedo.

REFERÊNCIAS

ABEL, A.; MUIR, H. The Bauschinger effect and discontinuous yielding. **Philosophical Magazine**, v. 26, n. 2, p.489–504, 1972.

ASTM A370-18 - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing Of Steel Products**. United States: s.n., 2018.

KOSTRYZHEV, A. G.; STRANGWOOD, M.; DAVIS, C. L. Bauschinger Effect in Microalloyed Steels: Part I. Dependence on Dislocation-Particle Interaction. **Metallurgical and Materials Transactions A**, p. 1399-1408, 2010.

KOSTRYZHEV, A. G.; STRANGWOOD, M.; DAVIS, CL. Bauschinger effect in Nb and V alloyed line-pipe steels. **Ironmaking & Steelmaking** , v. 36, n. 3, p. 186-192, 2013.

GAO, N.; BAKER, T.N. Austenite grain growth behaviour of microalloyed Al-V-N and Al-V-Ti-N steels. **ISIJ International**, v. 38, p. 744-751. 1999.

MEDEIROS JUNIOR, C. J. DE; CARVALHO, L. F. G. de. **Estaca torpedo com poder de garra aumentado e com abas para ancoragem permanente ou temporária de estruturas flutuantes e método de instalação**. Depositante: Petróleo Brasileiro S.A. - Petrobras (BR/RJ). PI 0405799-6 B1- Depósito: 21 dez. 2004. Concessão: 12 jun. 2018.

SILVA, A. L. V. da C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

SILVA, A. L. V. da C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010.