



CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA E ESTRUTURAL DO AÇO ASTM A131 CLASSE DH36 EM COMPARAÇÃO COM AÇO ASTM A36 UTILIZADO PARA PROJETOS ESTRUTURAIS

MECHANICAL AND STRUCTURAL CHARACTERIZATION OF ASTM A131 STEEL DH36 CLASS IN COMPARISON WITH ASTM A36 STEEL USED FOR STRUCTURAL PROJECTS

Rival Coelho da Silva – rival.silva@fatec.sp.gov.br

Tecnólogo em Mecânica: processos de soldagem
Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – São Paulo – Brasil

Profa. Pós-Dra. Simoni Maria Gheno – ghenom@fatec.sp.gov.br

Faculdade de Tecnologia (FATEC) – Sertãozinho – São Paulo – Brasil

RESUMO

Os projetos e plataformas offshore no Brasil são complexos e suas especificações técnicas de fabricação, construção e montagem das estruturas metálicas requerem intensa interação entre as áreas de engenharia, fabricação, qualidade, construção e montagem. A utilização de aços de alta resistência e processos de soldagem em navios e plataformas vem sendo aplicada para garantir a estabilidade estrutural e segurança em alto mar e, os processos de soldagem e materiais de alta resistência aplicados devem atender a normas de grandes classificadoras para garantir a uniformidade e qualidade dos serviços executados. Esse estudo analisou a composição química dos aços ASTM A 131 Classe DH 36 e ASTM A 36. Em seguida, esses materiais foram analisados através da caracterização estrutural, propriedades mecânicas, resistência à fadiga, ensaio Charpy e ensaio de tenacidade à fratura.

Palavras-chave: Aço ASTM A131; DH36; Aço ASTM A36; Caracterização mecânica e estrutural.

ABSTRACT

Offshore projects and platforms in Brazil are complex and their technical specifications for metal structures fabrication, construction and assembly require intense interaction between engineering, manufacturing, quality, construction and assembly departments. The use of high strength steels and welding processes on ships and platforms has been applied to ensure structural stability and high sea safety, and welding processes and high strength materials applied must meet the standards of large classification societies to ensure uniformity and quality of services performed. This study assessed the chemical composition of ASTM A 131 CLASSES DH 36 and ASTM A 36 steels. These materials were then analyzed through structural characterization, mechanical properties, fatigue strength, Charpy test and fracture toughness test.

Keywords: ASTM A 131 CLASSES DH steel; ASTM A 36 steel; Mechanical and structural characterization.

DOI:



1 INTRODUÇÃO

As recentes descobertas de óleo e gás no litoral brasileiro abriram oportunidades de um novo caminho para os fabricantes de aço em geral, apesar da recente participação no mercado offshore. Percebendo a elevação da demanda por projetos e plataformas offshore no Brasil e a tendência de internacionalização, as empresas se fixaram nas características técnicas que diferenciam estas estruturas das aplicadas para obras onshore, para assim investir com alto potencial. Os projetos constituem uma quantidade elevada de informações, detalhamento de fabricação e montagem, severidade das inspeções e controle. Por isso as especificações técnicas de fabricação, construção e montagem das estruturas metálicas offshore requerem intensa interação entre as áreas de engenharia, fabricação, qualidade, construção e montagem.

Em tempos mais remotos, quando não existiam materiais adequados e técnicas de junção eficazes, muitos estaleiros já utilizavam a soldagem na construção de navios, plataformas e embarcações. Conseqüentemente, essa época foi marcada por problemas metalúrgicos e graves acidentes, decorrentes principalmente da inexperiência e falta de treinamento dos profissionais envolvidos nos projetos, da baixa qualidade dos metais de base e de adição empregados e da ausência de suporte técnico especializado. O exemplo mais conhecido deste período da história naval é o caso dos navios ingleses Liberty Ships, os quais foram construídos totalmente por soldagem durante a Segunda Guerra Mundial e, quando colocados em operação, literalmente quebraram ao meio. Dessa maneira, a utilização de aços de alta resistência e processos de soldagem em navios e plataformas vem sendo aplicada para garantir a estabilidade estrutural e segurança em alto mar.

Com a visão de melhoras nos processos de fabricação, prazos de entrega para grandes estaleiros brasileiros e internacionais, hoje Sertãozinho apresenta uma média demanda de fabricação para indústria petrolífera e naval. Com carteiras de serviço para grandes clientes como: Rolls-Royce Marine; Petrobrás; Kawasaki; Tomé-Ferrostal entre outras. Com isso, processos de soldagem e materiais de alta resistência aplicados devem atender a normas de grandes classificadoras para garantir a uniformidade e qualidade dos serviços executados. Assim, as principais entidades deste tipo são: a ABS-American Bureau of Shipping, a BV-Bureau Veritas, a LR-Lloyds Register of Shipping, a GL- Germanischer Lloyd e a DNV-Det



NorskeVeritas. Esse trabalho buscou analisar os aços ASTM A 131 CLASSE DH 36 e ASTM A 36 fornecidos pela Usiminas na forma de chapa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os aços navais são certificados pelas sociedades classificadoras, dentre quais estão a *American Bureau of Shipping (ABS)* – EUA, *Det Norske Veritas (DNV)* – Noruega, *Lloyd's Register (LR)* – Reino Unido e *Bureau Veritas (BV)* – França. Essas Sociedades Classificadoras são representadas pela *International Association of Classification Societies (IACS)* que elaboram os requerimentos que unificam as regras. Dada a importância, a ênfase será dada nas regras (ABS). A Sociedade Certificadora ABS utiliza, para designar o grau desses aços, a mesma designação do requerimento unificado IACS UR-W11 sendo: A, B, D, E (EYRES, 2007; FEDELE, 2005).

Aços-carbono representam a maior parcela, em massa de um navio ou uma plataforma de petróleo. Esses materiais são ligas ferro-carbono com adição de elementos de liga (MOURÃO et al., 2007). Os aços utilizados na construção de navios, plataformas e embarcações, são geralmente classificados de acordo com os valores de resistência mecânica em dois grandes grupos: aços de resistência moderada ou normal (*Ordinary-strength Hull Structural Steel*) e aços de resistência elevada (*Higher-strength Hull Structural Steel*) (ASM, 1990; ABS, 2014). A sociedade certificadora ABS utiliza para designar o grau desses aços, a mesma designação do requerimento unificado IACS UR-W11 sendo: A, B, D, E. Já o segundo grupo apresenta uma subdivisão mais detalhada em classes AH, DH, EH e FH de acordo com os valores de tenacidade, seguidos dos dígitos 32, 36 e 40 conforme os valores do limite de escoamento do aço. No caso dos aços de resistência elevada, as propriedades mecânicas requeridas pela norma são atingidas por meio da adição de carbono, manganês e alumínio de maneira semelhante aos aços de resistência moderada. No entanto, devido aos maiores limites de resistência e tenacidade requeridos por estes aços, outros elementos ainda devem ser adicionados. O nióbio, o vanádio e o titânio apresentam a mesma função do alumínio e, portanto, agem como refinadores de grão. O cobre, o cromo, o níquel e o molibdênio podem ser adicionados com o objetivo de endurecer o aço pelo mecanismo metalúrgico de solução sólida substitucional (ASTM, 2004).



Para estudo, utilizou-se o aço ASTM A131 classe DH36 devido sua elevada demanda de utilização e compatibilidade com normas de certificadoras sendo uma delas a ABS. Desde a sua fundação em 1862, a promoção da segurança marítima tem sido o compromisso fundamental do *American Bureau of Shipping* (ABS, 2014). As propriedades químicas dos materiais são uma das fontes principais para a caracterização de um aço, assim dependendo da quantidade e adição de alguns elementos químicos, fará com que os materiais tenham propriedades elevadas, médias e baixas dependendo de sua aplicabilidade. Isso porque também existem elementos químicos que ajudam na desoxidação e refino do grão. A Tabela 1 mostra as propriedades químicas que o aço classe DH 36 deve atender para ser classificado (ABS, 2014).

Tabela 1 - Propriedades químicas para aço estrutural de maior resistência do casco.

Grade	DH36
Desoxidação	Prática de grão fino
Composição Química	(Análise Panela) % máx., a menos que especificado na faixa
C	0.18
Mn	0.90 - 1.60
Si	0.10 - 0.50
P	0.035
S	0.035
Al (ácido solúvel)	0.015
Nb	0.02 – 0.05
V	0.05 – 0.10
Ti	0.02
Cu	0.35
Cr	0.20
Ni	0.40
Mo	0.08
Ca	0.005

Fonte: ABS (2014)



Os navios de grande porte, cargueiros, petroleiros entre outros e em seus projetos, são designadas para cada tipo de aplicação seu grau de segurança, que por sua vez determina assim o melhor aço a ser aplicado no casco e nos demais locais de risco. Isso, é determinado em classes de cada tipo de embarcação. A Tabela 2 mostra a relação entre espessura do casco construída com classe de material aplicado onde para as classes I, II e III são relacionadas ao tipo de Navio (ABS, 2014).

Tabela 2 - Grade de material requerido para classes I, II e III.

Classe	I		II		III	
	ARN	ARE	ARN	ARE	ARN	ARE
20 < e ≤ 25	-	-	-	-	-	DH
25 < e ≤ 30	-	-	-	DH	-	DH
30 < e ≤ 35	-	-	-	DH	-	-
35 < e ≤ 40	-	-	-	DH	-	-
40 < e ≤ 50	-	DH	-	-	-	-

Fonte: ABS (2014)

(ARN – Aços Resistencia Normal; ARE – Aços Resistência Elevada)

O aço ASTM A36 tem como característica a finalidade de utilização estrutural e em aplicações comuns. Com alguns requisitos fundamentais a que devem obedecer a esses aços são ductilidade e homogeneidade, valor elevado da relação entre limite de resistência e limite de escoamento, soldabilidade, suscetibilidades de corte a chama, sem endurecimento, resistência razoável à corrosão. Sendo assim, com exceção da resistência à corrosão, todos os outros requisitos são atendidos em maior ou menor grau pelos aços-carbono sendo de baixo a médio carbono obtido por laminação cujos limites de resistência à tração variam de 40 a 50kgf/mm² ou 390 a 490 MPa com alongamento em torno de 20% (ABS, 2014).

Materiais de alta resistência aplicados devem atender às normas de grandes classificadoras para garantir a uniformidade e qualidade dos serviços executados. Este trabalho buscou analisar os aços ASTM A 131 CLASSE DH 36 e ASTM A 36 fornecidos pela Usiminas na forma de chapa.



3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Foram analisadas a caracterização estrutural e a caracterização das propriedades mecânicas e químicas dos materiais. Foram comparados os materiais que apresentaram os melhores resultados em termos estruturais e mecânicos optando por substituição ao material que tem menor custo benefício. Este trabalho apresenta, primeiramente, os processos de preparação de matérias-primas siderúrgica, processos de obtenção do aço e processos de laminação dos aços ASTM A131DH 36 e ASTM A36, para que possam ser identificadas e conhecidas as fases desses materiais e também verificar a localização e funcionalidade da aplicação destes. Posteriormente, foi realizada a caracterização das propriedades mecânicas sendo: ensaio de tração, ensaio de Charpy e dobramento; caracterização química e caracterização estrutural comparando os materiais um ao outro (CHIAVERINI, 2008).

3.1 Materiais

Os aços ASTM A131 DH36 normalizado e o ASTM A36 foram fornecidos em forma de chapa pela empresa Usiminas. São eles: O aço ASTM A36 foi normalizado para atender aos mesmos critérios do aço ASTM A131 DH36 ao qual foi comparado. A normalização foi realizada no laboratório de tratamento térmico da FATEC-Sertãozinho. Para realização do tratamento térmico, foi utilizado um forno elétrico, com controle de temperatura digital. Nas duas amostras, foi realizado o tratamento térmico de normalização; o material foi aquecido até a temperatura de austenização a aproximadamente 915 °C mantido por 60 minutos com resfriamento ao ar livre. A localização da retirada dos corpos de provas também é de grande importância e todos foram retirados no sentido de laminação da chapa. Foi realizado corte do material ASTM A36 e ASTM A131 DH36 em quatro amostras de cada material com as seguintes dimensões: 12,5×50×200 mm.

A caracterização química é uma importante ferramenta quando se necessita conhecer a composição de um metal ou liga metálica. A análise química foi realizada no laboratório da FATEC de Sertãozinho/SP no equipamento Spectromax.



3.2 Ensaio Charpy

As amostras para o ensaio de Charpy foram feitas pelo processo de usinagem de acordo com ASTM A370 (ASTM, 2007). Para caracterização dos materiais no ensaio de Charpy, foram usinadas seis amostras para cada tipo de material. Sendo aplicáveis três amostras de cada material para cada temperatura sendo elas: -20°C e 20°C . As amostras foram usinadas em mandrilhadora CNC para atender aos critérios exigidos também pela norma ASTM A370. Para o ensaio de Charpy, foram confeccionadas as amostras no sentido transversal da laminação de acordo com a norma do material em que se exige. Os ensaios foram realizados no laboratório da empresa Qualy Service localizada em Sertãozinho. Pela medida da área da secção entalhada do corpo de prova, pôde-se então obter a energia absorvida por unidade de área, que também é útil. Quanto menor for a energia absorvida, mais frágil será o comportamento do material àquela sollicitação dinâmica.

Figura 1 - Amostra usinada para ensaio de Impacto/Charpy.



Fonte: os autores

3.3 Ensaio de Tração

O ensaio de tração consiste na aplicação de carga de tração uniaxial crescente em um corpo de prova específico até a ruptura. Mede-se a variação de comprimento (L) como função da carga (P), e após o tratamento adequado dos resultados, obtém-se uma curva tensão. Esses ensaios são fundamentais para a fabricação de um equipamento, de um material e até mesmo de uma criação de um novo material. Os ensaios foram feitos conforme orientações da norma ASTM A370-07 (2007).

Os ensaios foram realizados no laboratório da empresa Qualy Service localizada em Sertãozinho utilizando a máquina de tração modelo UPB-20 com capacidade de 30000 Kgf da



Losenhausen. Os ensaios foram realizados em temperatura ambiente. Por meio do ensaio de tração, foram coletadas as seguintes informações: limite de resistência, limite de escoamento, alongamento e redução de área dos ensaios realizados nos materiais ASTM A36 e ASTM A131 DH36.

Figura 2 Amostra usinada para ensaio de tração.



Fonte: os autores

3.4 Ensaio de Dobramento

Os ensaios de dobramentos foram realizados em temperatura ambiente no laboratório da empresa Qualy Service localizada na cidade de Sertãozinho, e o equipamento usado foi a máquina de tração modelo Universal com capacidade de 30000 Kgf. Foram confeccionadas quatro amostras usinadas para o ensaio de dobramento, duas amostras para cada tipo de material, conforme mostra a Figura 3. As amostras foram usinadas por mandrilhadora CNC de acordo com descrição a seguir:

- Dobramento 1 - A-36 - usinado com espessura de 10 mm, cutelo 38,1 e abertura de 60,2
- Dobramento 2 - A-36 - usinado com espessura de 10 mm, cutelo 38,1 e abertura de 60,2
- Dobramento 3 - DH-36 - usinado com espessura de 10 mm, cutelo 38,1 e abertura de 60,2
- Dobramento 4 - DH-36 - usinado com espessura de 10 mm, cutelo 38,1 e abertura de 60,2



Figura 3 - Amostras ASTM A131 DH36 (a), ASTM A36 (b) preparadas para ensaio de dobramento



Fonte: os autores

3.5 Análise Microestrutural

Na maioria das vezes, o objetivo da análise microestrutural é determinar o tamanho e/ou distribuição dos grãos ou fases, verificar o tratamento térmico que foi feito e a porcentagem de cada fase de constituintes do material. As microestruturas das amostras envolvidas nesse estudo foram avaliadas no microscópio ótico Carl Zeiss modelo AG200 da FATEC-Sertãozinho. As amostras foram lixadas, polidas e posteriormente atacadas com reagentes químicos específicos para cada tipo de material.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios de caracterização mecânica, química e microestrutural foram realizados com o objetivo de mostrar e estudar o comportamento do material ASTM A 36 comparado com ASTM A131 DH36. O aço ASTM A36 passou pelos ensaios e tratamento térmico de normalização nas mesmas condições normativas do aço ASTM A131 DH36.

4.1 Análise química

A análise química foi realizada com o objetivo de verificar a diferença de elementos presentes em cada material, e os resultados estão mostrados na Tabela 3. A quantidade de manganês apresentado no aço ASTM A131DH 36 foi bem superior à do aço ASTM A36 o que resulta no fato de a estrutura deste aço apresentar uma boa temperabilidade influenciando



muito na resistência mecânica e dureza. Adicionalmente, o manganês também é considerado um desoxidante. O carbono equivalente (Ceq) de ambos os materiais mostrou-se abaixo de 0,38%, valor apropriado na soldabilidade de ambos.

Tabela 3 - Análise química em laboratório dos aços ASTM A131 DH 36 e ASTM A36.

Elementos		C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Al	V	W	Fe
		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Amostras											
DH 36	1	0.102	0.204	1.48	0.012	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	98.0
	4	0.118	0.200	1.48	0.014	0.02	0.01	0.02	0.04	0.01	98.0
A36	2	0.149	0.200	0.68	0.021	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	98.0
	3	0.155	0.201	0.69	0.021	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	98.0

Fonte: os autores

4.2 Ensaio de tração

Os resultados dos ensaios de tração nos requisitos limite de resistência, limite de escoamento e alongamento mostraram que a média dos valores do material ASTM A 131 DH36 referentes às amostras TP-01 e TP-02 (Tabela 4) foram acima aos das Amostras TP-01 e TP-02 do material ASTM A36.

Os valores menores dos limites de resistência, escoamento e alongamento das amostras TP-01 e TP-02 do material ASTM A36 justificam-se pela quantidade de os elementos químicos C e Mn presentes em sua estrutura serem menores que os valores do aço ASTM A131 DH36.



Tabela 4 - Valores obtidos aços ASTM A131 DH36 e ASTM A36 no ensaio de tração.

*DH36	Dimensões (mm)	Seção (mm ²)	Tensão de Escoamento		Limite de Resistência		Along. (%)
			Carga (Kgf)	LE (MPa)	Carga (Kgf)	LR (MPa)	
TP-01	12,15 X 12,26	148,96	5788	381	7986	525	41,1
TP-02	12,09 X 12,28	148,47	6080	400	8128	536	40,0
MÉDIA	-	-	5934	391	8057	530	40,5
*A36	Dimensões (mm)	Seção (mm ²)	Tensão de Escoamento		Limite de Resistência		Along. (%)
			Carga (Kgf)	LE (MPa)	Carga (Kgf)	LR (MPa)	
TP-01	12,09 X 12,37	149,55	5852	312	8034	440	30
TP-02	11,90 X 12,34	146,85	5603	318	7836	429	29
MÉDIA	-	-	5727	315	7935	434,5	29,5

Fonte: os autores

Verificando as fraturas das amostras dos ensaios de tração, percebe-se que ambos os materiais obtiveram fraturas dúcteis em temperatura ambiente, ou seja, foram capazes de absorver a energia aplicada com uma boa deformação antes de falhar. Após a realização dos ensaios, foram realizadas as medições físicas nas amostras ensaiadas com auxílio de um paquímetro. Valores verificados são marcados para comparação posterior com normas dos respectivos materiais ensaiados. A Figura 4 mostra os materiais ASTM A131 DH36 e ASTM A36 após ensaios.



Figura 4 - Amostras ASTM A131 DH36 (a), ASTM A36 (b) ensaiadas por tração.



Fonte: os autores

4.3 Ensaio Charpy

O ensaio de impacto Charpy foi realizado com intuito de avaliar a absorção de energia no momento do impacto, a resistência dos materiais em condições de temperaturas negativas e temperaturas ambiente para verificação da fragilidade de ambos os materiais. Após o rompimento, observou-se o tipo de fratura que as amostras apresentaram na temperatura abaixo de zero grau. Nesta etapa, realizando uma verificação visual da superfície fraturada, observou-se um aspecto de fraturas dúctil, uma vez que os materiais absorveram a energia de impacto maior que 24 Joules em temperaturas negativas, atingindo, assim, os resultados apresentados na Tabela 5. O valor de 24 Joules mínimo é referenciado pela norma da classificadora ABS (AMERICAN BUREAU OF SHIPPING, 2014).

A média dos valores do material ASTM A 131 DH36 nas temperaturas -20°C e 20°C referentes às amostras 1, 2 e 3 da Tabela 5 estão em média 46 Joules acima dos valores do material ASTM A36 que obteve médias que atendem à norma. Justificam-se os valores apresentados devido à microestrutura de ambos os materiais apresentarem tamanho de grãos uniformes, evidenciando que o material ASTM A36 foi normalizado para atender a essas características apresentadas. Comparando o ASTM A131 DH36, além de os elementos químicos serem diferentes, o tratamento de normalização fez muita diferença na microestrutura e resultados do material ASTM A36.



Tabela 5 - Valores obtidos nos aços ASTM A131 DH36 e ASTM A36 no ensaio de impacto Charpy.

*DH36	Dimensões Amostras (mm)	Tipo de Entalhe	Temperatura °C/Valor J Min	
			-20°C/24J Min	20°C/24JMin
Amostra 1	10 X 50 mm	V	200 J	-
Amostra 2	10 X 50 mm	V	200 J	-
Amostra 3	10 X 50 mm	V	188 J	-
MÉDIA	-	-	196 J	-
Amostra 4	10 X 50 mm	V	-	208 J
Amostra 5	10 X 50 mm	V	-	190 J
Amostra 6	10 X 50 mm	V	-	194 J
MÉDIA	-	-	-	197 J
*A36	Dimensões Amostras (mm)	Tipo de Entalhe	Temperatura °C/ Valor J Min	
			-20°C/27J Min	20°C/27J Min
mostra 1	10 X 50 mm	V	120 J	-
Amostra 2	10 X 50 mm	V	130 J	-
Amostra 3	10 X 50 mm	V	130 J	-
MÉDIA	-	-	126 J	-
Amostra 4	10 X 50 mm	V	-	160 J
Amostra 5	10 X 50 mm	V	-	140 J
Amostra 6	10 X 50 mm	V	-	135 J
MÉDIA	-	-	-	145 J

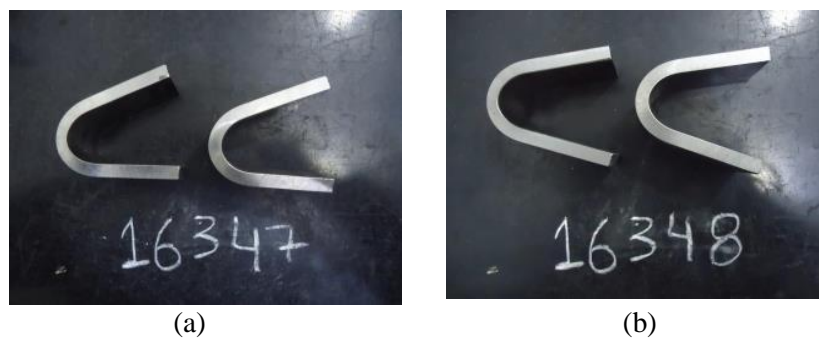
Fonte: os autores

4.4 Ensaio de dobramento

O ensaio de dobramento foi realizado em duas amostras para cada material. Após ensaio de dobramento (Figura 5), foi feito ensaio por líquido penetrante e, em uma análise visual da área, observou-se uma deformação plástica o que mostra a existência de alguma avaria na revelação do ensaio. O resultado deste ensaio não mostrou imperfeição alguma no material após o ensaio executado onde que o objetivo deste ensaio não é análise quantitativa e sim qualitativa sendo feito de acordo com ASTM A370-07.



Figura 5 - Amostras ASTM A131 DH36 (a), ASTM A36(b) conformadas a frio.



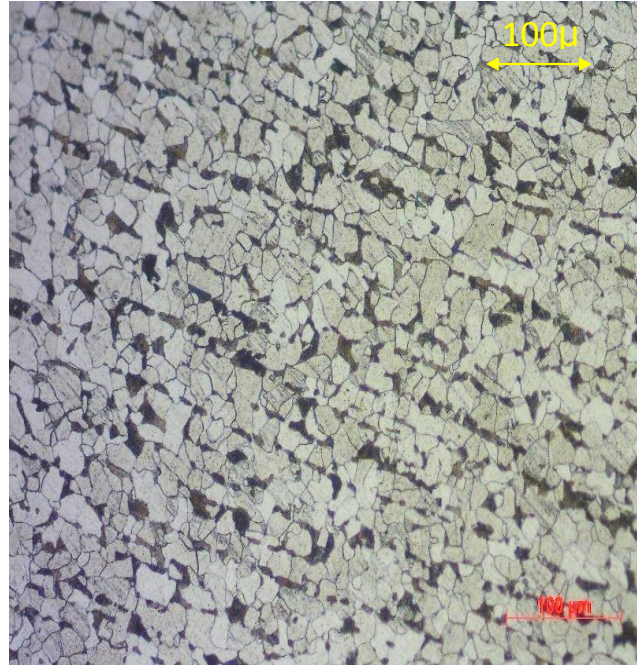
Fonte: os autores

4.5 Análise metalográfica

A análise metalográfica busca caracterizar as microestruturas mostrando contornos e tamanhos de grãos e até mesmo defeitos. O aço ASTM A36 passou por tratamento térmico de normalização para deixá-lo nas mesmas características estruturais do ASTM A 131 DH36 e, a partir daí, avaliou-se todas as influencias que sofrem ambos os materiais nestas condições. As Figuras 6 e 7 mostram as microestruturas dos materiais ASTM A 131DH36 e ASTM A36 com grãos de perlita fina e ferrita em condições de uniformidade apresentando tamanho de grãos de n° 7 e 8 análises de acordo com ASTM E112 (ASTM, 2004). Materiais comparados apresentaram estruturas muito parecidas, o que justifica os resultados de resistência mecânica terem ficado muito próximos.

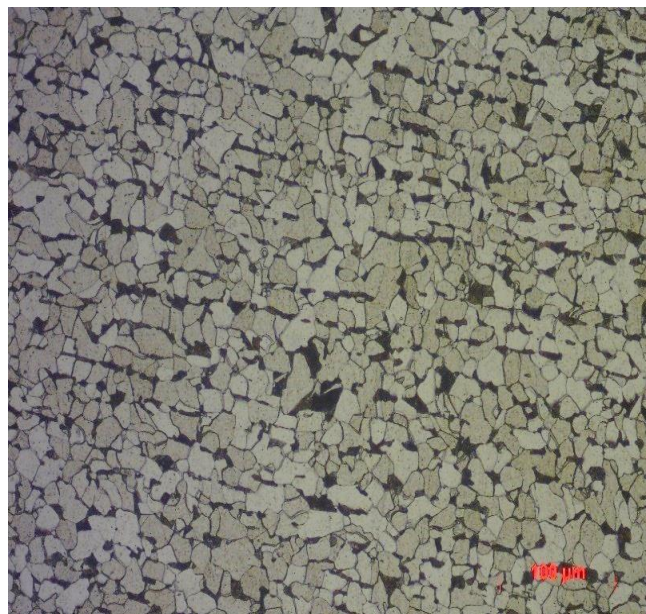


Figura 6 - Microestrutura ASTM A131 DH 36 100 μ m.



Fonte: os autores

Figura 7 - Microestrutura STM A36 100 μ m.



Fonte: os autores



5 CONCLUSÃO

Este estudo mostrou a caracterização dos materiais e substituição do aço ASTM A131 DH36 pelo aço ASTM A36. Os resultados apontaram que ambos os materiais atendem aos critérios exigidos pelas normas aplicadas para cada um deles. A proposta de substituição do aço ASTM A131 DH36 pelo ASTM A36 está associada ao custo, uma vez que o custo de fabricação do material ASTM A36 é bem menor que o custo envolvido na fabricação do ASTM A131 DH36. Adicionalmente, será importante a presença de um profissional do setor naval que avaliará os resultados obtidos na comparação desses materiais além de certificar se o aço substituído estará dentro dos padrões internacionais; uma vez obedecendo a esses padrões internacionais, poderá ser aplicado na fabricação de componentes de embarcações.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN BUREAU OF SHIPPING (ABS). **Materials and Welding**. Houston: ABS, 2014, Chapt 3-4.
- AMERICAN SOCIETY MATERIALS. ASM. **Properties at Selection: Irons Steels and High-Performance Alloys**, 1990.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM. **Standard Specification for Carbon Structural Steel, ASTM A 36/A 36M**, Edition 2004.
- ASTM. **Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products, ASTM A 370/ A 370M**, 2007.
- ASTM, **Standard Specification for Structural Steel for Ships, ASTM A 131M**, Edition 2004.
- CHIAVERINI, V. **Aços e Ferros Fundidos**. 4. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2008.
- EYRES, D. J. **Ship Construction, Butterworth-Heinemann**. 6. ed. 2007, p. 35-129.
- FEDELE, R. Soldagem na Indústria Naval Moderna. **Revista Técnica de Soldagem Ltda.**, São Paulo, v. 6, n. 9, p. 122- 130, 2005.
- MOURÃO, Marcelo Breda et al. **Introdução à siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007. ISBN: 85-7737-015-1.