



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

MONICA SANTOS ALMEIDA

ANÁLISE COMPARATIVA DA MICROESTRUTURA E DA DUREZA DO AÇO
ASTM A182 F22

JOÃO PESSOA

2018

MONICA SANTOS ALMEIDA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA MICROESTRUTURA E DA DUREZA DO AÇO
ASTM A182 F22**

Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, apresentado, a fim de obter o título de bacharel.

Orientador: Prof. Dr. José Hilton Ferreira da Silva

**JOÃO PESSOA
2018**

A447a Almeida, Monica Santos

Análise Comparativa da Microestrutura e da Dureza do Aço
ASTM A182 F22./ Monica Santos Almeida. – João Pessoa, 2017.

35f. il.:

Orientador: Prof. Dr. José Hilton Ferreira da Silva

Monografia (Curso de Graduação em Engenharia Mecânica) Campus I
- UFPB / Universidade Federal da Paraíba.

1. Aço 2. Microestrutura 3. Banho finito 4. Dureza
I. Título.

BS/CT/UFPB

CDU: 2.ed.621(043)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pois sem a força divina eu nada seria.

À minha família, em especial minha mãe Vitória e meu pai Severino que nunca mediram esforços para me ajudar e apoiar em hipótese alguma.

Ao orientador, Prof. José Hilton, pelo acompanhamento, orientação e amizade.

Ao Laboratório de Solidificação Rápida, da Universidade Federal da Paraíba, na pessoa de seu coordenador Prof. Rondinei, pelo apoio recebido.

Ao colegiado do Curso Engenharia Mecânica, pela compreensão aos momentos difíceis.

Aos Professores Adiana Nascimento e Esdras, pelas contribuições e sugestões no trabalho.

Às minhas amigas que são porto e amparo essencial em minha caminhada.

Aos meus amigos e colegas de curso, por estarem sempre prontos a cooperar.

O que for a profundidade do teu ser, assim será teu desejo.

O que for o teu desejo, assim será tua vontade.

O que for a tua vontade, assim serão teus atos.

O que forem teus atos, assim será teu destino.

Brihadaranyaka Upanishad

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar e comparar a microestrutura e dureza do aço ARBL (alta resistência e baixa liga) ASTM A182 F22, em diferentes condições metalúrgicas. A caracterização microestrutural foi realizada por microscopia óptica; as propriedades de dureza e microdureza foram determinadas por ensaios de Dureza Rockwell D e Microdureza Vickers. A análise e caracterização de materiais é uma área em bastante crescimento, em virtude da necessidade de seleção apropriada do material de acordo com o desempenho do projeto em estudo. A caracterização de um material pode envolver avaliação de propriedades mecânicas, como é o caso do trabalho deste trabalho em questão, entre outras propriedades que visam medir, sobretudo o tempo de vida útil do material, podendo contribuir com a diminuição de degradação de falhas em projetos, o que se converte em grande interesse dos estudiosos. O trabalho foi realizado no Laboratório de Solidificação Rápida localizado na Universidade Federal da Paraíba, com supervisão de discentes de doutorado, a fim de determinar corretamente os parâmetros e obter os melhores resultados para a pesquisa. Os resultados mostraram que o aço ASTM A182 F22 apresenta como microestrutura predominante a martensita em seus diversos estados metaúrgicos.

Palavras-chave: Aço, microscopia, microestrutura, dureza.

ABSTRACT

This work aims to analyze and compare the microstructure and hardness of ARBL steel (high strength and low alloy) ASTM A182 F22, in different metallurgical conditions. The microstructural characterization was performed by optical microscopy; Hardness and Microhardness properties were determined by Rockwel D hardness and Vickers microhardness assays. The analysis and characterization of materials is an area in quite growth, due to the need for appropriate selection of the material according to the performance of the project under study. The characterization of a material may involve evaluation of mechanical properties, such as the work of this work in question, among other properties that aim to measure, especially the useful life time of the material, and may contribute to the decrease of Degradation of failures in projects, which translates into great interest of scholars. The study was carried out at the Rapid Solidification Laboratory located at Universidade Federal of Paraíba, with supervision of doctoral students, in order to correctly determine the parameters and obtain the best results for the research. The results showed that ASTM A182 F22 Steel presents as a predominant microstructure the martensite in its various metaurgical states.

Keywords: Steel, microscopy, microstructure, hardness.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema do Ensaio de Microdureza Vickers	09
Figura 2: Cortadora Metalográfica - TECLAGO - CM80 (ABERTA).....	12
Figura 3: Embutimento a frio com Resina Auto Polimerizável	13
Figura 4: Representação esquemática do método de lixamento com trabalho em sentidos alternados.....	14
Figura 5: Ambiente onde são realizados os lixamentos das amostras.....	15
Figura 6: Bancada Adequada para o Lixamento das Amostras.....	15
Figura 7: Pasta de Diamante utilizada para o Polimento.....	16
Figura 8: Lubrificante utilizado para o polimento.....	16
Figura 9: Politriz utilizada para o polimento das amostras.	17
Figura 10: Cuba de Ultrassom digital - Cristófoli.....	18
Figura 11: Microscópio Óptico ZEISS.....	19
Figura 12: Durômetro Panambra RASN RBD.	20
Figura 13: Parte da tabela de Indicações de Dureza Rockwel D.....	21
Figura 14: Microdurômetro Shimadzu HARDNESS TESTERS HMV– 2 SERIES.	22
Figura 15: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 5x.	23
Figura 16: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 10x.....	23
Figura 17: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 20x.....	24
Figura 18: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 50x.....	24
Figura 19: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 100x.....	24
Figura 20: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 5x.	25
Figura 21: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 10x.....	25
Figura 22: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 20x.....	25
Figura 23: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 50x.	26
Figura 24: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 100x.....	26
Figura 25: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 5x.	26

Figura 26: a)Microestrutura FGHAZ b)Microestrutura GHAZ.....	27
Figura 27:Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 50x.....	27
Figura 28: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 100x.....	28
Figura 29:Gráfico dos valores de Microdureza Vickers em corte Transversal.....	30
Figura 30:Gráfico dos valores de Microdureza Vickers em corte Longitudinal.....	30
Figura 31: Conversão de Durezas.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição química, em peso, do aço ASTM A182 F22	03
Tabela 2 - Parâmetros de tratamento e requisitos exigidos pela norma ASTM A182	03
Tabela 3: Tabela de Indicação de Dureza Rockwell	07
Tabela 4: Tabela dos valores do ensaio de Microdureza Vickers para amostra em corte Longitudinal.	28
Tabela 5: Tabela dos valores do ensaio de Microdureza Vickers para amostra em corte Transversal.....	29
Tabela 6: Tabela dos valores encontrados de dureza Rockwel D nas duas amostras.	31
Tabela 7: Parâmetros de tratamento e requisitos exigidos pela norma ASTM A182 com ênfase na DUREZA.	32

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Cálculo do Valor de Microdureza Vickers	08
Equação 2: Penetração para Dureza Rockwel D.	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 Objetivo	01
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	02
2.1 Aço ASTM A182 F22.....	02
2.2 Microscopia Óptica.....	04
2.3 Dureza Rockwell	05
2.4 Microdureza/ Dureza Vickers	07
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1 Preparação das amostras	11
3.1.1 Corte	11
3.1.2 Embutimento	12
3.1.3 Lixamento.....	13
3.1.4 Polimento.....	15
3.1.5 Limpeza	17
3.1.6 Ataque Químico.....	18
3.2 Metodologia para Ensaio Microscopia Óptica.....	19
3.3 Metodologia para Ensaio Dureza Rockwell D.....	20
3.4 Metodologia para Ensaio Microdureza Vickers	21
4. RESULTADOS	23
4.1 Caracterização Microestrutural	23
4.2 Resultados Microdureza Vickers	28
4.2.1 Amostra em Corte Longitudinal	28
4.2.2 Amostra em Corte Transversal	29
4.3 Resultados de Dureza Rockwell D.....	31
5. CONCLUSÃO.....	34
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

Cresce todos os dias o interesse pela área de análise e caracterização de materiais em consequência da necessidade de seleção apropriada do material de acordo com o desempenho do sistema em estudo. Dependendo das aplicações a que este material ou sistema será realizado, a caracterização poderá envolver a avaliação de propriedades mecânicas, químicas, ópticas, eletrônicas, magnéticas, elétricas, térmicas e até mesmo a combinação destas propriedades. A caracterização de propriedades visa principalmente medir o desempenho no período de “vida útil” do material, diminuindo assim a possibilidade de degradação e falhas indesejáveis enquanto o produto está sendo utilizado.

A caracterização de materiais utiliza de técnicas instrumentais de análise visando à compreensão de diferentes aspectos relacionados à composição (massa molecular, número de oxidação, etc.) e estrutura (ligações químicas, fase cristalina, etc.) de materiais que estão diretamente ligadas as propriedades químicas e físicas dos mesmos, sendo que as propriedades físicas e químicas estão vinculadas a propriedades mecânicas, ópticas, catalíticas, entre outras. Desta forma a caracterização auxilia a determinação da possível aplicabilidade dos compostos estudados.

Atualmente existem variados instrumentos capazes fornecer informações qualitativas e quantitativas sobre a composição e estrutura da matéria, sendo essencial a familiarização e compreensão dos princípios fundamentais de operação da instrumentação analítica moderna de modo a realizar escolhas apropriadas e empregar de forma eficiente essas ferramentas de análise.

1.1. Objetivo

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Solidificação Rápida (LSR), localizado no Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) e tem por objetivo analisar microestruturalmente, por meio de microscopia óptica, e mecanicamente por ensaios de dureza Rockwel e Microdureza Vickers, o aço ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga) ASTM A182 F22 e comparar com os diversos estados metalúrgicos do aço nas suas aplicações industriais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aço ASTM A182 F22

Os aços denominados ARBL (Alta Resistência e Baixa Liga) são aços cujas normas AISI (American Iron and Steel Institute) e SAE (Society of Automotive Engineers) não classificam como aços ligados, apesar de conterem elementos de liga adicionados para fins de obtenção de resistência mecânica e à corrosão atmosférica superiores aos aços de baixo carbono. Os aços ARBL apresentam resistência entre 300 e 700 MPa, tendo sido desenvolvidos para elevar a relação entre resistência e peso, visando aplicação em estruturas móveis. (CALLISTER, 2002).

Os aços médio carbono baixa liga são aços estruturais com teor de carbono que geralmente varia entre 0,25 e 0,50 % e que não possuem mais de 5% de elemento de liga em sua composição (METALS, 1993a).

Estes aços têm suas propriedades mecânicas aumentadas pela aplicação de tratamentos térmicos de têmpera, o que resulta em uma microestrutura martensítica, e logo após são revenidos para alívio das tensões internas geradas na têmpera e ajuste fino das propriedades mecânicas requeridas como a dureza, por exemplo.

Devido à elevada temperabilidade destes aços (teores medianos de carbono e elementos de liga, como Cr e Mo), os mesmos possuem geralmente uma baixa soldabilidade, o que leva a necessidade de procedimentos de soldagem mais criteriosos para a fabricação de componentes que utilizam estes materiais, de modo a evitar a falha prematura destes componentes. (FONTES, 2008).

Tratamentos térmicos posteriores, pré-aquecimentos, controle das temperaturas de interpasse, entre outros, são algumas das medidas tomadas durante a soldagem destes aços. Em muitos casos, tais medidas não são suficientes para garantir a integridade da junta. (OLIVEIRA, 2013).

O aço ASTM A182 F22 é um aço baixa liga do tipo 2,25Cr-1Mo inicialmente desenvolvido para aplicações em altas temperaturas em função da alta estabilidade proporcionada pelos carbonetos estáveis presentes nos contornos de grão desse material. (OLIVEIRA, 2013).

A composição do aço em estudo está mostrada na Tabela 1.

Tabela 1: Composição química, em peso, do aço ASTM A182 F22

C	Si	Mn	P	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
0,12	0,17	0,40	0,012	0,06	2,25	0,93	0,04	0,024

Fonte: OLIVEIRA, 2013.

Além de utilizado na condição de recozido, o que gera uma microestrutura composta por ferrita e perlita, esse aço pode ainda ser utilizado nas condições normalizado e revenido e temperado e revenido, as duas primeiras condições previstas na norma ASTM A182. A Tabela 2 mostra os parâmetros de tratamento e requisitos mecânicos mínimos exigidos para aplicação desse aço de acordo com a norma ASTM A182. A zona afetada pelo calor de juntas do aço ASTM A182 F22 geralmente possuem uma microestrutura composta por bainita e martensita. (OLIVEIRA, 2013).

Tabela 2 - Parâmetros de tratamento e requisitos exigidos pela norma ASTM A182

ASTM A182 F22	GRAU 1	GRAU 3
Tratamento	Recozimento	Normalização e revenido
Austenitização (°C)	900 (min)	900 (min)
Resfriamento	Forno	Ar
Revenido (°C)	-	675
Limite de escoamento (MPa)	205 (min)	310 (min)
Limite de resistência (MPa)	414 (min)	515 (min)
Dureza (HB)	170 (max)	156-256

Fonte: ASTM A182.

Os aços ARBL apresentam as seguintes vantagens:

- Apresentam maior resistência que os aços de baixo carbono idêntico, mantendo a ductilidade e soldabilidade;
- Diminuição de peso a custo reduzido;
- Temperatura de Transição dúctil-frágil muito baixa e tenacidade à fractura elevada;
- Mais resistentes a corrosão;
- Boa conformabilidade
- Rapidez de construção;
- Economia de recursos naturais, uma vez que o mesmo é reaproveitável.

São desvantagens dos aços ARBL

- Requerem maiores cuidados durante a fabricação e o processamento mecânico a fim de garantir integridade estrutural;
- Custos de produção ligeiramente maior do que aços comuns;
- No entanto é compensado pela menor quantidade de material utilizado;

O desenvolvimento dos aços ARBL é um interessante caso de conjugação de interesses econômicos e tecnológicos. O uso de pequenas adições de nióbio para endurecer os aços ferrítico-perlíticos foi introduzido em 1936, mas àquela época o custo do nióbio e a falta de demanda por aços deste tipo tornaram o processo pouco mais do que uma curiosidade científica. Entretanto, ao final dos anos 1950, a queda no preço do nióbio e uma simultânea demanda por maior resistência mecânica, tenacidade e soldabilidade nos aços para tubulações levaram a um ressurgimento do interesse pelo desenvolvimento dos aços ARBL. (WILLIAN, 1981).

A boa conformabilidade dos aços de alta resistência e baixa liga foi originalmente desenvolvida para a indústria automotiva, substituindo partes de aço de baixo carbono por partes mais esbeltas, portanto de menor peso, sem sacrifício da resistência. Estes elementos incluem partes de chassis, braços de suporte, partes da suspensão e rodas. Chapas e placas são também usadas em equipamento de mineração e veículos pesados. (MATERIAIS – CIMM).

No caso de pontes, o uso do aço de alta resistência e baixa liga permite vãos centrais mais longos e menos vigas de sustentação, devido ao menor peso. Também para estruturas de torres de transmissão de sinal de televisão a vantagem do peso é interessante. A resistência extra do aço significa que as seções que compõem a torre podem ser mais esbeltas e estáveis, pois oferecem menor resistência às cargas de vento. (MATERIAIS – CIMM).

2.2. Microscopia Óptica

Ensaio Micrográfico ou Microscopia basea-se no estudo dos produtos metalúrgicos, com o apoio de um microscópio, onde se pode constatar as fases presentes e identificar a granulação do material (Tamanho de grão), o teor aproximado de carbono no aço, a forma, a natureza, a quantidade, e a distribuição dos diversos constituintes ou de certas inclusões.

Dentre as diversas técnicas de observação da microestrutura dos aços, a mais comum é a microscopia óptica, onde se emprega luz visível que incide sobre a amostra e é refletida até

o observador. A resolução que pode ser obtida em uma imagem depende do comprimento de onda da radiação empregada. (COLPAERT, 2008).

Existem dois fatores muito importantes na microscopia óptica. O primeiro é o aumento, cujo máximo neste tipo de análise é por volta de 1400x. Ampliações superiores a esta não fornecem informações adicionais àquelas obtida com o aumento de 1400x. O segundo é o foco e para que uma superfície possa ser analisada perfeitamente em foco, é necessário que ela seja bastante plana e esteja perfeitamente perpendicular ao eixo óptico, assim, cuidados com a planicidade da amostra e, em especial, com o possível arredondamento dos cantos durante o polimento, são preocupações básicas para obtenção de uma boa amostra. (COLPAERT, 2008).

A identificação e análise de partículas requerem certa prática e habilidade por parte do operador do microscópio. A técnica é mais usada para partículas maiores de um micrômetro e as análises dependem da combinação entre o desconhecimento dos dados e o que se sabe sobre as partículas. (RUDOLF, 1967).

O microscópio apresenta dois sistemas de lentes convergentes; a objetiva e a ocular. A objetiva é um conjunto de lentes que apresenta pequena distância focal e que fornece uma imagem real e aumentada do objeto que é observado. A ocular, também formada por lentes convergentes, funciona como uma lupa, que nos dá uma imagem virtual e aumentada da imagem real que se formou em pela objetiva. A objetiva e a ocular são dispostas nas extremidades de um cilindro oco, constituindo a coluna do microscópio e que possui a capacidade de se aproximar ou afastar da amostra para que se tenha a focalização perfeita. (RUDOLF, 1967).

2.3. Dureza Rockwel

O ensaio Rockwell constitui o método mais frequentemente utilizado para medir a dureza, pois ele é mais simples de executar e não requer qualquer habilidade especial. Diversas escalas diferentes podem ser utilizadas de acordo com as possíveis combinações de vários penetradores e diferentes cargas, as quais permitem o ensaio de virtualmente todos os metais e ligas, desde os mais duros até os mais macios. Neste sistema, a dureza é obtida através da diferença entre a profundidade de penetração resultante da aplicação de uma pequena carga, seguida por outra de maior intensidade. (CALLISTER, 2002).

O ensaio de dureza Rockwell é normalizado pela ASTM E18 (Standard methods for Rockwell hardness and Rockwell superficial hardness of metallic materials) e a ISO 6508-1

(Metallic materials - Rockwell hardness test - Part 1: Test method (scales A, B, C, D, E, F, G, H, K, N, T)). (FERREIRA, 2011).

O modelo de Rockwell consiste em aplicar cargas por etapas para garantirmos que o contato do penetrador com o corpo de prova seja firme até que por final, seja aplicada a carga total do teste. Através da combinação de tipos de penetradores e cargas aplicadas, podemos realizar vários tipos de ensaio.

Os penetradores utilizados podem ser esféricos ou cônicos:

- Esféricos: são de aço endurecidos (temperados), com diâmetros de 1/16", 1/8", 1/4" e 1/2";
- Cônicos: possui um cone de diamante com 120° de conicidade;

O equipamento utilizado para a medição da dureza Rockwell é o Durômetro. Existem dois tipos de Durômetro, um padrão, que é indicado para qualquer medição, e um superficial, que é indicado para medições de chapas, laminas e afins. Eles se diferem apenas pela precisão de seus componentes. (FERREIRA, 2011).

O número de dureza Rockwell vem seguido de HR, com um sufixo indicando a escala utilizada. Vamos tomar o resultado 64HRC como exemplo:

- 64 é o valor da dureza obtido no ensaio;
- HR indica que é um ensaio de dureza Rockwell;
- C indica qual a escala empregada.

A Tabela 3 apresenta as escalas de dureza Rockwell Normal e Superficial.

Segundo Ferreira (2011), o corpo de prova deve possuir uma espessura 17 vezes maior que a profundidade de penetração, pois isto é importante para definir a dureza do material. Porém, não existem meios de definir a profundidade alcançada pelo penetrador, mas é possível obter este valor a partir da dureza indicada na escala da máquina de ensaio, utilizando as seguintes fórmulas:

- Penetrador de diamante:

$$\text{HR normal: } P = 0,002 \times (100 - \text{HR})$$

$$\text{HR superficial: } P = 0,001 \times (100 - \text{HR})$$

- Penetrador esférico:

$$\text{HR normal: } P = 0,002 \times (130 - \text{HR})$$

HR superficial: $P = 0,001 \times (100 - HR)$

Sendo o HR o valor da dureza.

Tabela 3: Tabela de Indicação de Dureza Rockwell

Indicações de aplicação do Ensaio de Dureza Rockwell				
Escala	Endentador	Carga Maior F_1 (kgf)	E	Aplicação
A	Cone diamante 120°	50	100	Chapa de aço, metal duro, aço com endurecimento superficial
B	Esfera de aço 1/16"	90	130	Cobre, ligas de alumínio, aço de baixo carbono, ferro fundido maleável
C	Cone diamante 120°	140	100	Aços endurecidos mais usados, ferro fundido duro, titânio
D	Cone diamante 120°	90	100	Aços duros de pouca espessura, ferro perlítico maleável
E	Esfera de aço 1/16"	90	130	Ferro fundido, alumínio, ligas moles
F	Esfera de aço 1/16"	50	130	Ligas de cobre recozidas, metais moles de pouca espessura
G	Esfera de aço 1/16"	140	130	Bronze fosforado, cobre-berílio, ferro fundido maleável, chumbo, etc
H	Esfera de aço 1/8"	50	130	Metais moles (Al, Zn, Pb), plásticos
K	Esfera de aço 1/8"	140	130	Metais macios e outros materiais finos muito moles, inclusive plásticos.
L	Esfera de aço 1/4"	50	130	
M	Esfera de aço 1/4"	90	130	
P	Esfera de aço 1/4"	140	130	
R	Esfera de aço 1/2"	140	130	
S	Esfera de aço 1/2"	90	130	
V	Esfera de aço 1/2"	140	130	

Fonte: MATERIAIS- CIMM.

2.4. Microdureza/Dureza Vickers

O método de dureza Rockwell tem suas limitações, tal como valores intermediários entre as tabelas, o que era um problema. Com isso foi criado o método Vickers em 1925, que

cria uma relação entre o diâmetro da esfera penetrante e o diâmetro da calota esférica obtida. Com ele podemos variar a esfera penetrante para medir qualquer valor de dureza, desde matérias mais moles, até os materiais mais duros. (FERREIRA, 2011).

Este método foi desenvolvido por Smith e Sandland e tem este nome porque a empresa que fabricava máquinas para operar com este método chamava-se Vickers-Armstrong. Ensaio de dureza Vickers: Ensaio de dureza Vickers é normalizado pela ASTM E92 (Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials). (FERREIRA, 2011).

Para o ensaio de dureza Vickers, analisamos a resistência que o material oferece a um penetrador padrão, com uma determinada carga aplicada.

O termo ‘teste da microdureza’ usualmente se refere à endentações estáticas provocadas por cargas menores que 1kgf. O endentador pode ser a pirâmide de diamante Vickers ou a pirâmide alongada.

O procedimento de teste é muito semelhante ao do teste padrão Vickers, exceto que é feito numa escala microscópica, com instrumentos de precisão mais alta.

A superfície testada geralmente requisita um acabamento metalográfico. Quanto menor for a carga de teste, maior o grau de acabamento superficial necessário.

Os microscópios são usados para medir as endentações; eles comumente têm aumentos de 500x e fazem a medição com precisão de +0.5 microns (mm). Diferenças de até +0.2 microns podem ser observadas se o operador tiver cuidado e experiência. (FERREIRA, 2011).

O valor da dureza com a Pirâmide de Diamante de Vickers é a carga aplicada (em kgf) dividida pela área da superfície da endentação (em mm²).

Equação 1: Cálculo do Valor de Microdureza Vickers

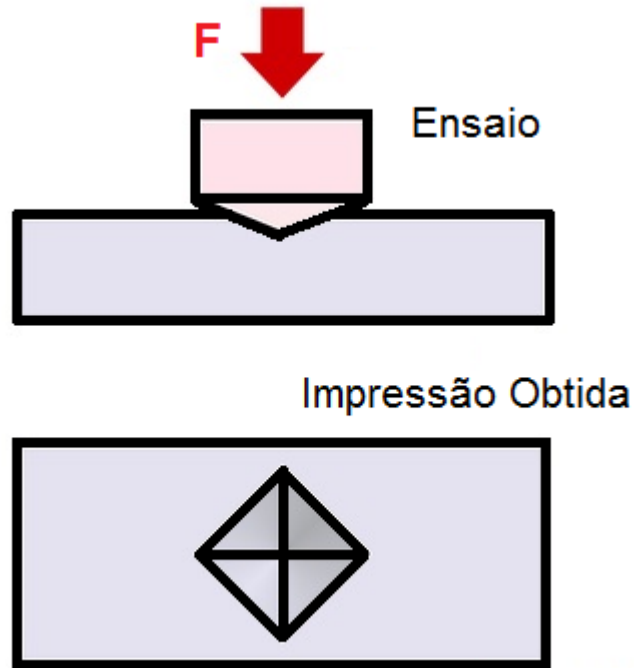
$$HV = \frac{2F \operatorname{sen}(136^\circ/2)}{d^2} \cong 1,854 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

Sendo: F= Carga em kgf;
d = Média aritmética das duas diagonais (mm);
HV = Dureza Vickers.

O endentador de Pirâmide de Diamante Vickers possui a forma de uma pirâmide em forma quadrada, com angulação de 136° entre as faces, conforme pode ser observado na

Figura 1. Para calcular o valor da dureza de Pirâmide de diamante Vickers, as duas diagonais da endentação são medidas, e a média dos valores encontrados é usada na fórmula citada acima para a determinação do valor da dureza Vickers HV.

Figura 1: Esquema do Ensaio de Microdureza Vickers



Fonte: Próprio Autor.

Os valores de dureza obtidos são independentes da carga aplicada, quer dizer que ensaios realizados com cargas diferentes apresentam o mesmo valor de dureza.

As cargas variam de 1 a 120 kgf.

Quanto mais duro o material, menos penetração será obtida para uma mesma força e, portanto, menor a área da impressão.

O ensaio todo, assim como a medição da impressão, é realizado através de um equipamento chamado "Microdurômetro".

As vantagens do método Vickers são:

- Escala contínua;
- Precisão de medida;
- Impressões pequenas;
- Mede durezas superficiais (microdureza);

Considera-se microdureza Vickers quando são utilizadas cargas inferiores a 1,0 kgf. Pode-se realizar ensaios com cargas inferiores a 5gf.

Como desvantagens do método Vickers têm-se:

- Procedimento mais demorado pelo tempo necessário para medição das diagonais;
- Exige uma preparação mais cuidadosa do que os métodos anteriores, normalmente polimento e ataque metalográfico.

Podem ocorrer irregularidades da impressão que levam a erros de medição devido a:

- Preparação inadequada do corpo de prova originando uma superfície irregular ou faces não paralelas.
- Anisotropia do material ensaiado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A caracterização do Aço ASTM A182 F22, recebido na condição de forjado, foi desenvolvida em seis amostras cortadas longitudinalmente e transversalmente, para cada procedimento foram utilizadas duas amostras e a forma como foram preparadas está descrita a seguir.

3.1. Preparações das amostras

As seis amostras utilizadas para a realização das análises foram adquiridas a partir de uma parte maior do Aço ASTM A182 F22, e cortadas em partes menores para facilitar a preparação. Após o corte as amostras foram embutidas, posteriormente lixadas, polidas, lavadas, atacadas e retiradas do molde, para assim passar pelas análises. Os procedimentos estão descritos a seguir.

3.1.1. Corte

Comumente é necessário dividir o corpo de prova para se obter amostras que servirão para realização das análises. Operações mecânicas como torneamento aplainamentos e outras, impõem rigorosas alterações microestruturais por consequência do trabalho mecânico a frio. O corte abrasivo tem a melhor solução para este seccionamento, pois retira por completo o trabalho mecânico a frio, resultando em superfícies planas com baixa rugosidade, de modo rápido e seguro. O equipamento utilizado para o corte conhecido como policorte, com discos abrasivos abundantemente refrigerados (impedindo deformações devido ao aquecimento) a relativas baixas rotações é bastante utilizado nos laboratórios metalográficos.

Procedimento para o corte:

- Coloca-se a amostra no centro da mesa de fixação. O centro da mesa também é o centro do disco;
- Fixa-se firmemente o corpo de prova com ambas às morsas;
- Após ter se certificado da correta fixação do corpo de prova, é fechada a tampa de proteção acrílico do equipamento;
- Liga-se o motor de acionamento do disco.
- Liga-se a bomba de fluido de corte;

- Verifica-se se a amostra está sendo resfriada pelo fluido de corte;
- Aplica-se uma carga moderada do disco sobre o corpo de até que o corpo de prova esteja cortado;
- Retorna-se o disco a sua posição de descanso e desliga o motor;
- Solta o corpo de prova da mesa de fixação;
- Efetua a limpeza do equipamento.

Para a realização do corte das amostras foi utilizada a Cortadora Metalográfica, localizada no Laboratório de Solidificação Rápida da UFPB, como pode ser observado na Figura 2.

Figura 2: Cortadora Metalográfica - TECLAGO - CM80.



Fonte: Próprio Autor

3.1.2. Embutimento

O embutimento da amostra é realizado para facilitar o manuseio de peças pequenas, evitando assim a danificação da lixa ou do pano de polir, e para o não entortamento da peça enquanto preparada. O embutimento consiste em cobrir a amostra com um material adequado, formando um único corpo.

Existem dois tipos de embutimento, a frio e a quente. No trabalho descrito, em todas as amostras foi utilizado o embutimento a frio, Figura 3, onde a amostra é colocada em um molde que é preenchido com resinas sintéticas de polimerização rápida.

Este embutimento é feito com resinas auto polimerizáveis, as quais consistem geralmente de duas substâncias formando um líquido viscoso quando misturadas. Esta mistura é vertida dentro de um molde plástico (pedaço de cano) onde se encontra a amostra, polimerizando-se após certo tempo.

Figura 3: Embutimento a frio com Resina Auto Polimerizável



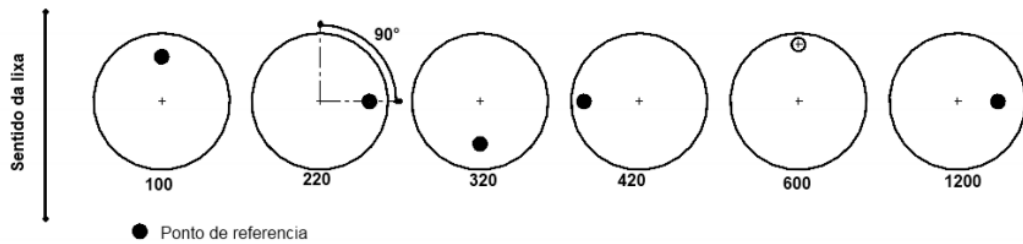
Fonte: Próprio Autor.

3.1.3. Lixamento

Devido ao grau de perfeição desejada no acabamento de uma amostra metalográfica perfeitamente preparada, é essencial que cada etapa da preparação da amostra seja executada com cuidado, pois é um dos processos mais demorados da preparação de amostras metalográficas. Operação que tem por objetivo eliminar riscos e marcas mais profundas da superfície dando um acabamento a esta superfície, preparando-a para o polimento.

A técnica de lixamento manual baseia-se em se lixar a amostra progressivamente com lixas de granulometria cada vez menor, mudando-se de direção em 90° em cada lixa consecutiva até sumirem os traços da lixa anterior. Como mostra na Figura 4.

Figura 4: Representação esquemática do método de lixamento com trabalho em sentidos alternados.



Fonte: Rohde (2010).

A sequência utilizada de lixas para o trabalho metalográfico com aços foi 100, 220, 320, 400, 600, 800, 1000 e 1200. Para se conseguir um lixamento eficaz é necessário o uso adequado da técnica de lixamento, pois de acordo com a natureza da amostra, a pressão de trabalho e a velocidade de lixamento, surgem deformações plásticas em toda a superfície por amassamento e aumento de temperatura.

Segundo Rohde (2010), esses fatores podem dar uma imagem falseada da amostra, por isso foram tomados os seguintes cuidados:

- Escolha adequada do material de lixamento em relação à amostra e ao tipo de exame final;
- Manter a superfície rigorosamente limpa isenta de líquidos e graxas que possam provocar reações químicas na superfície;
- Riscos profundos que surgirem durante o lixamento foram eliminados por novo lixamento.

Procedimento para o lixamento:

- Obter todas as lixas necessárias para a preparação da amostra mecanográfica;
- Ligar a água;
- Escolher um ponto de referencia na amostra;
- Realizar o lixamento de desbaste;
- Lixar ate que só restem os riscos da ultima lixa utilizada;
- Girar 90° e vá para a próxima lixa;
- Repetir os últimos dois passos ate chegar à lixa de granulometria 1200.

O lixamento das amostras foi realizado no Laboratório de Solidificação Rápida da UFPB com o auxílio das bancadas apropriadas para o lixamento estão mostradas nas Figuras 5 e 6.

Figura 5: Ambiente onde são realizados os lixamentos das amostras.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 6: Bancada Apropriada para o Lixamento das Amostras.



Fonte: Próprio Autor.

3.1.4. Polimento

Operação realizada após o lixamento, que visa um acabamento superficial polido e isento de marcas, utiliza para isso abrasivo como pasta de diamante. Antes de realizar o polimento é necessária uma limpeza na superfície da amostra, de modo a deixá-la isentam de traços abrasivos, solventes, poeiras e outros. A operação de limpeza foi feita com álcool etílico para que a secagem seja rápida. O processo utilizado foi o processo Mecânico de polimento.

O processo mecânico de polimento é realizado quando através de uma Politriz, manualmente utilizando o agente polidor para o polimento mecânico, que é o diamante, devido as suas características de granulometria, dureza, forma dos grãos e poder de desbaste.

Cuidados observados no polimento:

- A superfície deve estar rigorosamente limpa;

- A escolha adequada do material do polimento;
- Evitar polimentos demorados;
- Nunca polir amostras diferentes sobre o mesmo pano de polimento;
- Evitar fricção excessiva;
- Evitar pressão excessiva sobre a amostra.

Foram realizados dois polimentos em cada amostra, neles utilizados pasta de diamante de 3 μ e 1/4 μ respectivamente, juntamente com um lubrificante até não transparecer mais riscos na superfície das amostras, os materiais estão mostrados nas Figuras 7 e 8.

Figura 7: Pasta de Diamante utilizada para o Polimento.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 8: Lubrificante utilizado para o polimento



Fonte: Próprio Autor.

O equipamento utilizado para realizar o polimento foi uma Politriz, localizada no LSR da UFPB, como mostrado na Figura 9.

Figura 9: Politriz utilizada para o polimento das amostras.



Fonte: Próprio Autor.

3.1.5. Limpeza

Antes das amostras sofrerem o ataque químico, as mesmas devem estar perfeitamente limpas e secas, por isso utilizam-se líquidos de baixo ponto de ebulição como o álcool, éter, etc., os quais são posteriormente secados rapidamente através de um jato de ar quente fornecido por um secador. Para a limpeza da peça, visa remover eventuais partículas que possam estar aderidas à superfície recém-lixada ou no embutimento. Estas partículas podem comprometer o resultado da próxima etapa de preparação, o polimento. Após o lixamento, portanto, realizado uma limpeza através de um banho ultrassônico e logo após devidamente seco e armazenado. A peça é colocada cuidadosamente em um recipiente, nesse caso foi utilizado um béquer, e com a ajuda de uma pinça para segurar a peça foi realizada a limpeza através do banho ultrassônico, removendo assim impurezas ocasionadas pelo lixamento e polimento.

O banho ultrassônico é feito através do equipamento mostrado na Figura 10.

Figura 10: Cuba de Ultrassom digital - Cristófoli.



Fonte: Próprio Autor.

3.1.6. Ataque químico

Para as análises metalográficas de microscopia óptica, foi realizado o ataque químico nas amostras. Seu objetivo é permitir a visualização dos contornos de grão e as diferentes fases na microestrutura. Um reagente ácido é colocado em contato com a superfície da peça por certo tempo. O reagente causará a corrosão da superfície. Os reagentes são escolhidos em função do material e dos constituintes macroestruturais que se deseja contrastar na análise metalográfico microscópica.

No Ataque químico, a superfície da amostra, quando atacada por reagentes específicos, sofre uma série de transformações eletroquímicas baseadas no processo de oxidação-redução, cujo aumento do contraste se deve às diferenças de potencial eletroquímico. São formadas células locais onde os constituintes quimicamente pobres atuam como um ânodo, reagindo com o meio de ataque de maneira mais intensa que os mais nobres. Para o ataque químico são usados soluções aquosas ou alcoólicas de ácidos, bases e sais, bem como sais fundidos e vapores. O contraste varia em função da composição química, temperatura e tempo. (ROHDE, 2010).

O processo realizado nas amostras foi com o reagente Nital a 2% composto por 98 % de álcool etílico 2% de ácido nítrico. As amostras foram atacadas por meio de esfregamento, durante um período de dez segundos. Após esse período, a amostra foi lavada com água corrente para interromper o ataque químico e em seguida secada por meio de um jato de ar frio. Em caso de ataque excessivo, realizou-se novamente o processo de lixamento com a

última lixa e posteriormente o polimento da amostra para um novo ataque. O ataque com Nital tem como finalidade revelar os contornos da microestrutura, propiciando o contraste entre as fases claras e escuras, onde para os aços bifásicos a fase clara é devido à presença de ferrita e a escura de martensita. (ANGELI, FÜREDER e KNEISSL, 2005).

3.2. Metodologia para Ensaio Microscopia Óptica

Para a realização da microscopia óptica é necessário o ataque químico o que não é obrigatório para os ensaios de dureza e microdureza, com isso, após a preparação das amostras, as mesmas são levadas a sala onde são realizadas as microscopias ópticas, e com o auxílio do microscópio são feitas as análises dos corpos de prova e os resultados são armazenados em um computador que está conectado ao microscópio.

O equipamento utilizado para a realização das análises foi o microscópio óptico ZEISS, a imagem mostrada na Figura 11 ilustra o equipamento.

Figura 11: Microscópio Óptico ZEISS.



Fonte: Próprio Autor.

A microscopia óptica foi realizada em duas amostras, uma em corte longitudinal e outra em corte transversal. As análises foram feitas em campos de ampliação de 5x, 10x, 20x, 50x e 100x, para ambas as amostras. Para análise da composição química foram realizadas

comparações com outros trabalhos acadêmicos, a fim de comprovar a teoria explicitada no início do trabalho.

3.3. Metodologia para Ensaio Dureza Rockwel D.

Para o ensaio de Dureza Rockwel foram realizadas 3 (três) medições para cada corpo de prova, um em corte longitudinal e outro em corte transversal. O Durômetro utilizado para a realização dos ensaios está mostrado na Figura 12.

Figura 12: Durômetro Panambra RASN RBD.



Fonte: Próprio autor.

Para determinarem-se os parâmetros utilizados para a realização do ensaio, utilizou-se a tabela de dureza mostrada na Figura 13. Assim, foi determinado que o ensaio realizado deve ser o Ensaio de Dureza Rockwel D, com penetrador de cone de diamante 120°, carga aplicada de 100kgf; ensaio utilizado em aços duros de pouca espessura e ferro perlítico maleável.

Diante desses dados determinou-se também, o valor da carga para o penetrador de diamante utilizado no ensaio através da equação abaixo:

Equação 2: Penetração para Dureza Rockwel D.

$$p = (100-HR) \cdot 0,002 \text{ (mm)}. \quad (2)$$

Figura 13: Parte da tabela de Indicações de Dureza Rockwel D.

Indicações de aplicação do Ensaio de Dureza Rockwell				
Escala	Endentador	Carga Maior F_1 (kgf)	E	Aplicação
A	Cone diamante 120°	50	100	Chapa de aço, metal duro, aço com endurecimento superficial
B	Esfera de aço 1/16"	90	130	Cobre, ligas de alumínio, aço de baixo carbono, ferro fundido maleável
C	Cone diamante 120°	140	100	Aços endurecidos mais usados, ferro fundido duro, titânio
D	Cone diamante 120°	90	100	Aços duros de pouca espessura, ferro perlítico maleável
E	Esfera de aço 1/16"	90	130	Ferro fundido, alumínio, ligas moles

Fonte: Adaptação de COLPAERT, 2008.

Para o ensaio é realizada algumas etapas:

- Selecionar o suporte para o corpo de prova;
- Selecionar a carga aplicada;
- Posicionar o corpo de prova (girando a base de onde ele está apoiado em um local que esteja devidamente retificado);
- Aplicar a carga (utilizando a alavanca);
- Aguardar 10 segundos;
- Fazer a leitura da escala;
- Remover a carga.

3.4. Metodologia para Ensaio Microdureza Vickers

Foram realizados ensaios de microdureza Vickers segundo a norma ASTM (2002). Os ensaios de microdurezas foram realizados em dois corpos de prova, um em corte longitudinal e outro em corte transversal num equipamento denominado Microdurômetro localizado no LSR- UFPB. A Figura 14 mostra o equipamento.

Figura 14: Microdurômetro Shimadzu HARDNESS TESTERS HMV– 2 SERIES.



Fonte: Próprio Autor.

Para as duas amostras foram realizadas 12 (doze) impressões com carga de 100gf (980,7mN) (HV 0,1) , em um tempo de 15 segundos e a lente utilizada foi com aumento de 40x. Os pontos foram distanciados entre si de aproximadamente 0,2mm.

O resultado da dureza é encontrado de acordo com a seguinte fórmula:

$$HV = \text{Carga} / \text{área da superfície piramidal}$$

No caso do Microdurômetro utilizado, o resultado já é fornecido em HV.

Procedimento para a realização do ensaio:

- Selecionar os corpos de prova, devidamente retificados em uma face;
- Selecionar a área de atuação do penetrador utilizando o microscópio do equipamento;
- Acionar a ferramenta;
- Realizar a medição utilizando o microscópio do equipamento movendo as escalas.

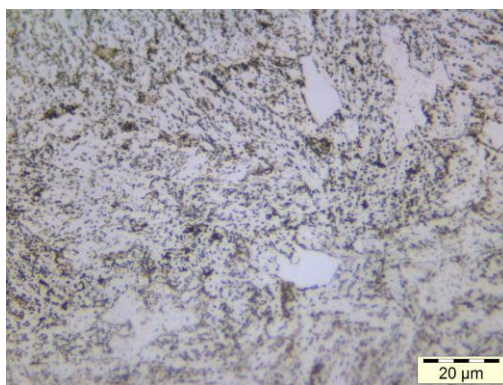
Dessa forma quando realizadas as medições das diagonais da impressão, o micrômetro já mostra o resultado da dureza em HV, sem ser necessário fazer contas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Caracterização Microestrutural

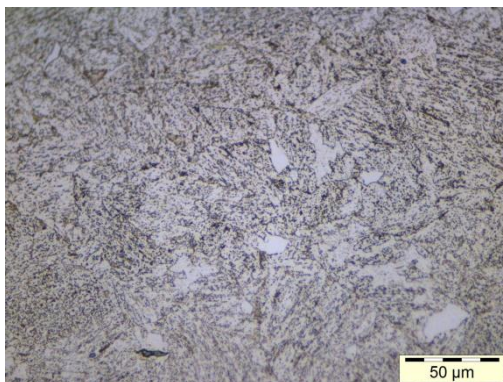
As Figuras 15, 16, 17, 18 e 19 apresentam a microestrutura do Aço ASTM F22 das amostras retiradas da seção longitudinal em ampliações de 5x, 10x, 20x, 50x e 100x, respectivamente.

Figura 15: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 5x.



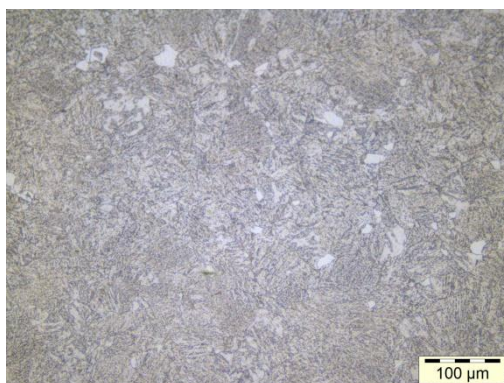
Fonte: Próprio Autor.

Figura 16: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 10x.



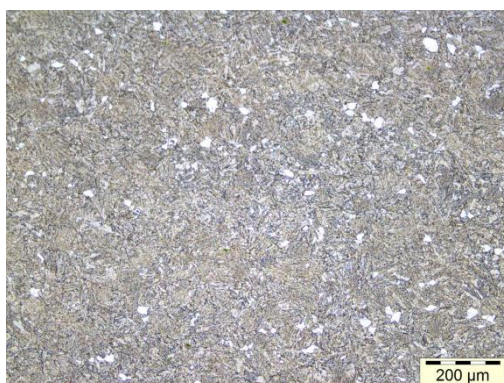
Fonte: Próprio Autor.

Figura 17: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 20x.



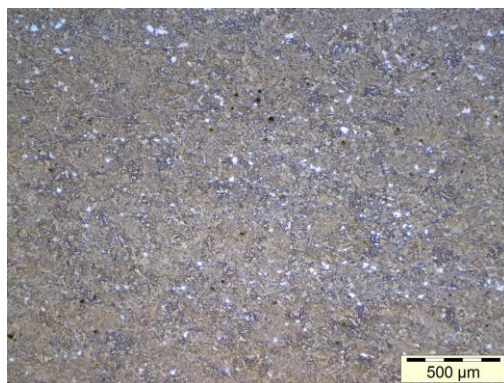
Fonte: Próprio Autor.

Figura18: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 50x.



Fonte: Próprio Autor.

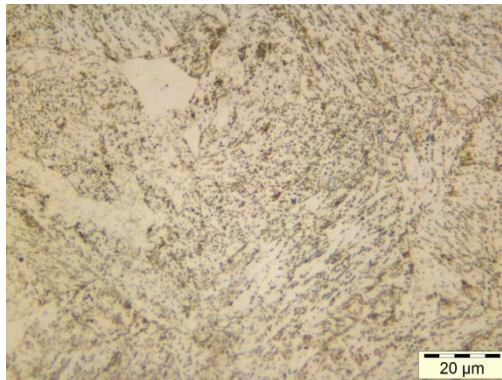
Figura 19: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 100x.



Fonte: Próprio Autor.

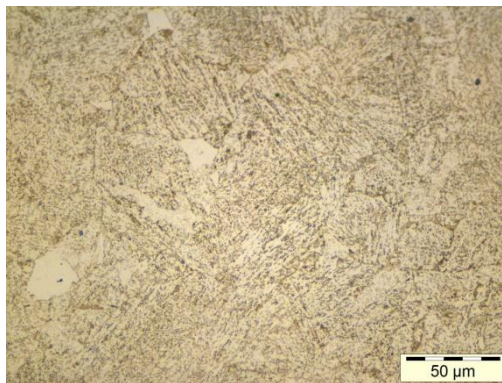
As Figuras 20, 21, 22, 23 e 24 apresentam a microestrutura do Aço ASTM F22 das amostras retiradas da seção transversal em ampliações de 5x, 10x, 20x, 50x e 100x, respectivamente.

Figura 20: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 5x.



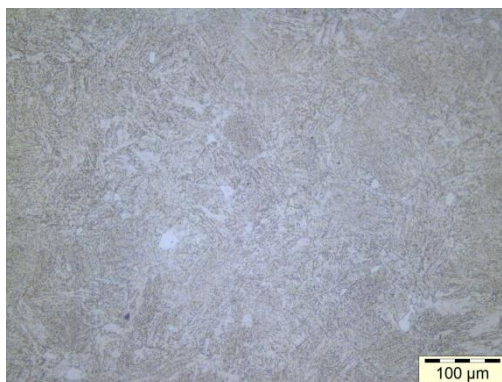
Fonte: Próprio Autor.

Figura 21: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 10x.



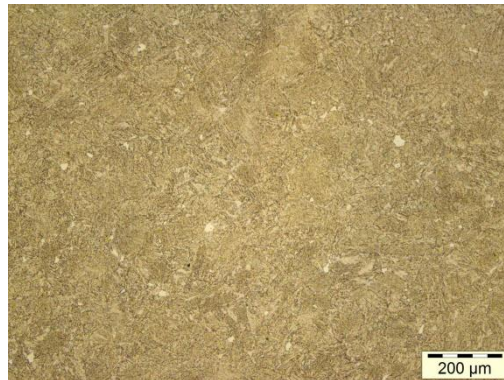
Fonte: Próprio Autor.

Figura 22: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 20x.



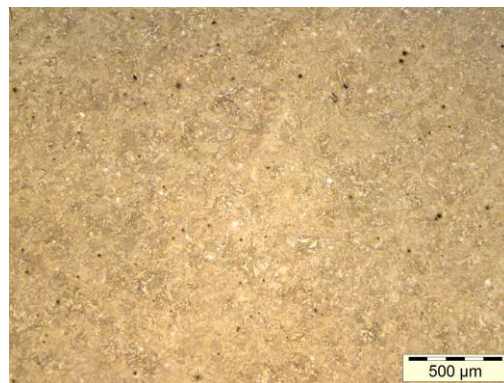
Fonte: Próprio Autor.

Figura 23: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 50x.



Fonte: Próprio Autor.

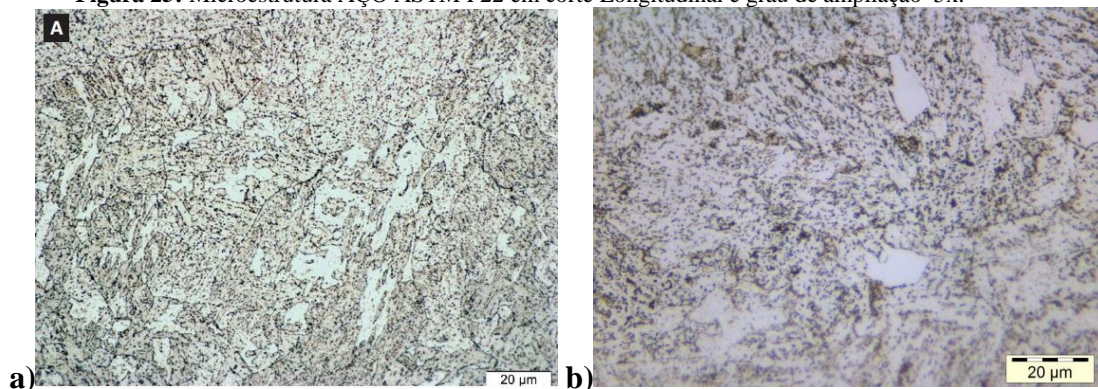
Figura 24: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 100x.



Fonte: Próprio Autor.

De acordo com Dai e Lippold (2017), em seus estudos com o aço ASTM A182 F22 na mesma condição de forjado em que se encontra a pesquisa atual, possui microestrutura mostrada na Figura 25a., em que consiste predominantemente de martensita revenida, podendo-se observar também grãos alongados de ferrita em sua microestrutura. A figura 25b., mostra a microestrutura do mesmo aço na mesma ampliação onde é observado a semelhança das fases encontradas.

Figura 25: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Longitudinal e grau de ampliação 5x.

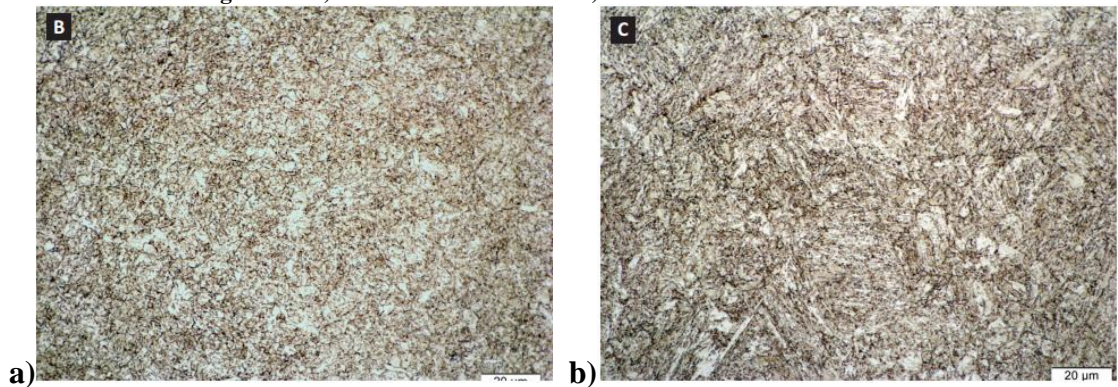


Fonte: a) Dai e Lippold (2017). b) Próprio Autor.

O aço ASTM A182 F22 dependendo do estado em que se encontra, apresenta diferentes formas de martensita, o que observamos em várias pesquisas realizada com esse aço.

Segundo Dai e Lippold (2017), em sua pesquisa foram realizadas análises no aço ASTM A182 F22 como metal de base para o processo de soldagem por sobreposição, chamada amanteigamento, que foi realizada com o processo de soldagem TIG (Tungsten Inert Gás). A figura 26a. abaixo mostra a Zona Termicamente Afetada Pelo calor de grãos finos (FGHAZ) e a figura 26b. mostra a Zona termicamente Afetada Pelo Calor de grãos grosseiros (CGHAZ). O FGHAZ e CGHAZ consistem principalmente em martensita em formato de ripas. O tamanho das ripas de martensita no CGHAZ foi maior que o do FGHAZ devido a temperaturas de pico mais altas e maior dissolução de liga de carbonetos durante o ciclo térmico da Zona Termicamente Afetada.

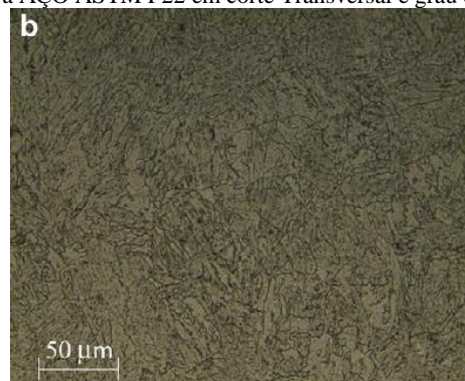
Figura 26: a) Microestrutura FGHAZ. b) Microestrutura CGHAZ



Fonte: Dai e Lippold, 2017

Segundo Fallahmohammadi (2012), em corte transversal a microestrutura do aço ASTM A182 F22 quando temperado e revenido possui uma microestrutura formada por martensita revenida, grãos de ferrita alongados e fina dispersão de carbonetos, numa microestrutura com grau de ampliação com lente de 50x, e microestrutura com $50\mu\text{m}$.

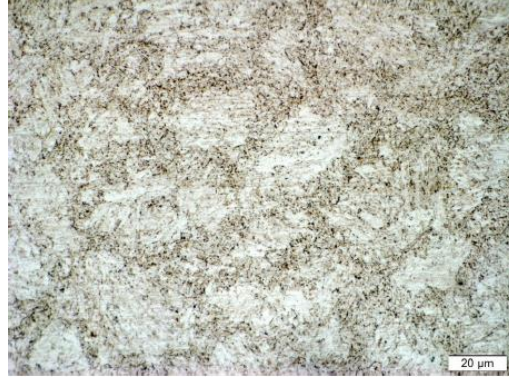
Figura 27: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 50x.



Fonte: Fallahmohammadi (2012).

Segundo Bougeois (2015), o aço F22 contém martensita revenida com partículas finas que são carbonetos em toda a sua microestrutura, na condição de temperado e revenido, em grau de ampliação de 100x e em corte transversal.

Figura 28: Microestrutura AÇO ASTM F22 em corte Transversal e grau de ampliação 100x.



Fonte: Bougeois (2015).

4.2. Resultados de Microdureza Vickers

4.2.1. A amostra em corte longitudinal

Os resultados de microdureza das 12 impressões realizadas com uma carga HV: 0,1 - 980,7 mN, ampliação de 40x e tempo de 15s; estão mostrados na Tabela 4, onde L1 e L2 os valores das diagonais das impressões feitas na amostra.

A análise da Tabela 4 permite observar:

- Valor Médio: 314HV
- Desvio Padrão: 9,34
- Coeficiente de variação: 2,97
- Valor Máximo: 325HV
- Valor Mínimo: 298HV

Tabela 4: Tabela dos valores do ensaio de Microdureza Vickers para amostra em corte Longitudinal.

	L1	L2	HV
01	24,72	25,06	299
02	24,05	24,63	313
03	23,94	24,59	315
04	23,80	25,09	310
05	24,13	24,34	316

06	23,47	24,29	325
07	24,33	25,06	304
08	23,39	24,35	325
09	24,53	25,32	298
10	23,21	24,54	325
11	23,63	24,31	323
12	23,94	24,59	315

Fonte: Próprio Autor.

4.2.2. A amostra em corte transversal

A Tabela 5 apresenta os resultados de microdureza das 12 impressões realizadas nas mesmas condições da amostra em corte longitudinal. L1 e L2 são os valores das diagonais das impressões feitas na amostra.

A análise da Tabela 4 permite observar:

Valor Médio: 324,08HV

Desvio Padrão: 8,51

Coefficiente de variação: 2,62

Valor Máximo: 340HV

Valor Mínimo: 311HV

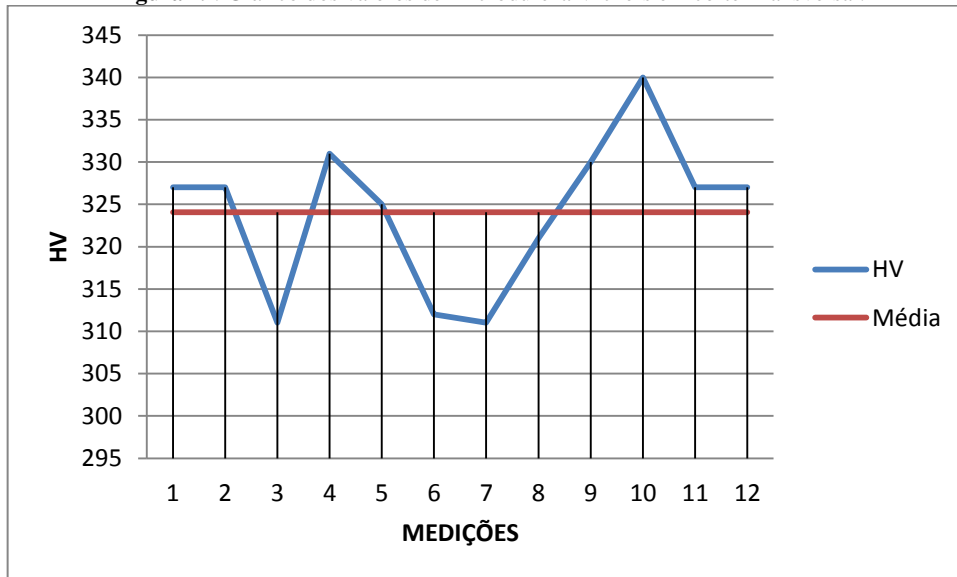
Tabela 5: Tabela dos valores do ensaio de Microdureza Vickers para amostra em corte Transversal.

	L1	L2	HV
01	23,85	23,8	<u>327</u>
02	23,8	23,83	<u>327</u>
03	24,76	24,05	<u>311</u>
04	23,41	23,94	<u>331</u>
05	23,91	23,87	<u>325</u>
06	24,89	23,91	<u>312</u>
07	24,21	24,59	<u>311</u>
08	24,34	23,75	<u>321</u>
09	23,26	24,13	<u>330</u>
10	23,18	23,49	<u>340</u>
11	23,8	23,85	<u>327</u>
12	23,83	23,8	<u>327</u>

Fonte: Próprio Autor.

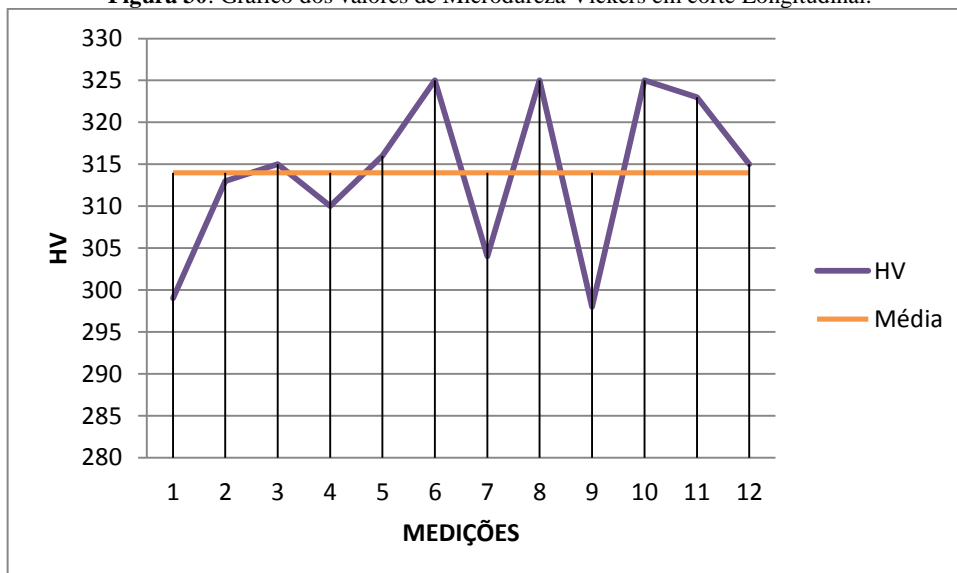
De acordo com a coleta dos dados pelo método de Microdureza Vickers, é feita a plotagem dos gráficos onde mostra a variação nos valores em cada amostra e os valores médios determinados. Os gráficos são mostrados nas figuras 13 e 14 abaixo.

Figura 29: Gráfico dos valores de Microdureza Vickers em corte Transversal.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 30: Gráfico dos valores de Microdureza Vickers em corte Longitudinal.



Fonte: Próprio Autor.

Observa-se nas Figuras 29 e 30 o comportamento dispersivo da microdureza, no entanto as microdurezas médias das amostras analisadas nas diferentes direções não apresentam diferenças significativas. As médias das microdurezas estão muito próximas e com uma grande dispersão, mostrando que a determinação do corte, transversal ou longitudinal, não influencia no valor da Microdureza Vickers.

4.3. Resultados de Dureza Rockwell D

O aço ASTM A182 F22 A foi submetido ao ensaio de dureza Rockwell. Essa análise permite verificar se o aço atende as especificações da norma ASTM A182. As condições do ensaio foram:

- Equipamento: Durômetro
- Método: Rockwell D
- Tipo de penetrador: Cone de diamante 120°
- Carga Rockwel D: 100 kgf (Aços não temperados).
- Corpo de prova: Aço ASTM A182 F22 em corte Longitudinal e Transversal.

A Tabela 6 apresenta os resultados de dureza Rockwell D para as amostras retiradas das seções longitudinal e transversal do aço

Tabela 6: Tabela dos valores encontrados de dureza Rockwel D nas duas amostras.

Seção	1ª Medição (HRD)	2ª Medição (HRD)	3ª Medição (HRD)	MÉDIAS (HRD)
CP Transversal	46,8	47,1	46,8	46,9
CP Longitudinal	44,8	46,9	46,9	46,2

Fonte: Próprio Autor.

A análise da Tabela 6 permite observar que a média dos resultados encontrados foi de 46,9 HRB para amostra em corte Transversal e 46,2 HRD para a amostra em corte longitudinal. Segundo a norma ASTM A182 os valores de dureza Brinell para o aço F22 são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros de tratamento e requisitos exigidos pela norma ASTM A182 com ênfase na dureza.

ASTM A182 F22	GRAU 1	GRAU 3
Tratamento	recozimento	Normalização e revenido
Austenitização (°C)	900 (min)	900 (min)
Resfriamento	Forno	Ar
Revenido (°C)	-	675
Limite de escoamento (MPa)	205 (min)	310 (min)
Limite de resistência (MPa)	414 (min)	515 (min)
Dureza (HB)	170 (max)	156-256

Fonte: ASTM A182.

Como visto, para dureza Brinell, os valores para o aço F22 variam de 156HB a 256HB. Utilizando uma tabela de conversão de durezas, pode-se determinar o valor de Dureza Rockwel para o aço em estudo. A figura abaixo mostra a tabela de conversão de durezas.

Figura 31: Conversão de Durezas

Dureza Brinell (HB) Esfera de 10mm Pré-Carga: 3,000 kgf		Dureza Vickers (HV)	Dureza Rockwell				Dureza Shore (HS)	Resistência à Tração (Aproxim.) Mpa	Dureza Brinell (HB) Esfera de 10mm Pré-Carga: 3,000 kgf		Dureza Vickers (HV)	Dureza Rockwell				Dureza Shore (HS)	Resistência à Tração (Aproxim.) Mpa
Esfera Standard	Esfera de Metal Duro		Escola A Pré-Carga:60kgf Ponta de Diamante (HRA)	Escola B Pré-Carga:100kgf Esfera 1/16" (HRB)	Escola C Pré-Carga:150kgf Ponta de Diamante (HRC)	Escola D Pré-Carga:100kgf Ponta de Diamante (HRD)			Esfera Standard	Esfera de Metal Duro		Escola A Pré-Carga:60kgf Ponta de Diamante (HRA)	Escola B Pré-Carga:100kgf Esfera 1/16" (HRB)	Escola C Pré-Carga:150kgf Ponta de Diamante (HRC)	Escola D Pré-Carga:100kgf Ponta de Diamante (HRD)		
-	-	940	85.6	-	68.0	76.9	97	-	429	429	455	73.4	-	45.7	59.7	61	1510
-	-	920	85.3	-	67.5	76.5	96	-	415	415	440	72.8	-	44.5	58.8	59	1460
-	-	900	85.0	-	67.0	76.1	95	-	401	401	425	72.0	-	43.1	57.8	58	1390
-	(767)	880	84.7	-	66.4	75.7	93	-	388	388	410	71.4	-	41.8	56.8	56	1330
-	(757)	860	84.4	-	65.9	75.3	92	-	375	375	396	70.6	-	40.4	55.7	54	1270
-	(745)	840	84.1	-	65.3	74.8	91	-	363	363	383	70.0	-	39.1	54.6	52	1220
-	(733)	820	83.8	-	64.7	74.3	90	-	352	352	372	69.3	(110.0)	37.9	53.8	51	1180
-	(722)	800	83.4	-	64.0	73.8	88	-	341	341	360	68.7	(109.0)	36.6	52.8	50	1130
-	(712)	-	-	-	-	-	-	-	331	331	350	68.1	(108.5)	35.5	51.9	48	1095
-	(710)	780	83.0	-	63.3	73.3	87	-	321	321	339	67.5	(108.0)	34.3	51.0	47	1060
-	(698)	760	82.6	-	62.5	72.6	86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	(684)	740	82.2	-	61.8	72.1	-	-	311	311	328	66.9	(107.5)	33.1	50.0	46	1025
-	(682)	737	82.2	-	61.7	72.0	84	-	302	302	319	66.3	(107.0)	32.1	49.3	45	1005
-	(670)	720	81.8	-	61.0	71.5	83	-	293	293	309	65.7	(106.0)	30.9	48.3	43	970
-	(656)	700	81.3	-	60.1	70.8	-	-	285	285	301	65.3	(105.5)	29.9	47.6	-	950
-	(653)	697	81.2	-	60.0	70.7	81	-	277	277	292	64.6	(104.5)	28.8	46.7	41	925
-	(647)	690	81.1	-	59.7	70.5	-	-	269	269	284	64.1	(104.0)	27.6	45.9	40	895
-	(638)	680	80.8	-	59.2	70.1	80	-	262	262	276	63.6	(103.0)	26.6	45.0	39	875
-	630	670	80.6	-	58.8	69.8	-	-	255	255	269	63.0	(102.0)	25.4	44.2	38	850
-	630	670	80.6	-	58.8	69.8	-	-	248	248	261	62.5	(101.0)	24.2	43.2	37	825

Fonte: Manual de aço I JIS.

Para a análise acima, será utilizado o valor da média das durezas determinadas, visto que para o corte longitudinal e transversal não foi verificado tanta diferença entre os valores. A média calculada é 46,55HRD, como visto na tabela esse valor encontra-se entre 45,9HRD e 46,7HRD, para maior precisão, realiza-se uma interpolação para determinar o valor exato da dureza Brinell, verificada na tabela. Com a interpolação dos valores encontrados, a dureza Brinell convertida é 275,5HB, que de acordo com a tabela 7 demonstrada acima, está fora da faixa determinada pela norma ASTM A182 que está entre 156 – 256HB.

5. CONCLUSÃO

A análise comparativa dos diversos estados metalúrgicos do aço ASTM A182 F22 mostram que:

- O aço ASTM A182 F22 apresenta como microestrutura no estado forjado martensita revenida.
- A microdureza do aço ASTM A182 F22 não é influenciada pela direção de medição.
- O aço ASTM A182 F22 estudado nesta pesquisa apresentou dureza superior a recomendada pela Norma ASTM A182.
- Estudos mostraram que o aço ASTM A182 F22 apresenta como microestrutura predominante a martensita em diversas morfologias, de acordo com seu estado metalúrgico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AÇOS DE ALTA RESISTÊNCIA E BAIXA LIGA. **Materiais – CIMM**. Disponível em: https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/6340-acos-de-alta-resistencia-e-baixa-liga#.WzKFU1VKjIV. Acesso em 15/06/2018.
- ANGELI, J.; FUREDER, E; KNEISS, A. C. Etching Techniques for Characterizing the Phases of Low-Alloy Dual-Phase and TRIP Steels. *Prakt. Metallogr. München*, v.43, n.4, p.127-142, fev. 2006.
- BOURGEOIS, D. **Hydrogen Assisted Crack in Dissimilar Metal Welds for Subsea Service under Cathodic Protection**, 2015.
- CALLISTER, W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5ª ed., Rio Janeiro – RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2002.
- COLPAERT, H. **Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns**. 4.ed. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2008. 652p.
- DAI, T. LIPPOLD, J.C. **Tempering Behavior of the Fusion Boundary Region of on F22/625 Weld Overlay**. *Welding Journal*. Dezembro 2017.
- FALLAHMOHAMMADI, F. BOLZONI, F. LAZZARI, L. **Measurement of lattice and apparent diffusion coefficient of hydrogen in X65 and F22 pipeline steels**, 2012.
- FERREIRA, M.F.S. **Ensaio de dureza Rockwel, Vickers, Brinell e Microdureza, ensaios de Tração e ensaio Jominy**. Relatório 1 de Laboratório de Materiais de Construção Mecânica. Belo Horizonte. Outubro de 2011.
- FONTES, C. H. M. **Juntas de Aço Baixa Liga Soldadas com Diferentes consumíveis – Efeito do Tratamento Térmico de Alívio de Tensões nas Características Metalúrgicas das Soldas**. 2008. F. (Mestrado). Engenharia Metalúrgica de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2008.

KINGSLAKE, R. "**Applied Optics and Optical Engineering**", Vol. IV, Parte I, p. 31-93,1967.

METALS, A. S. F. **Properties and Selection: Irons, Steels and High Performance Alloys**. Ohio: ASM International. 1993a.

OLIVEIRA, G. L. G. **Soldagem dissimilar dos aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 para aplicações subaquáticas**: 2013. 205p. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ROHDE, R.A. **Metalografia Preparação de amostras**: uma abordagem Prática. Laboratório de Ensaio Mecânicos e Materiais. Outubro de 2010.

WILLIAN C, L. **The Physical Metallurgy of Steels**, McGraw – Hill Book Company, New York, 1981, p. 189 - 201.