



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMIÁRIDO
PRÓ- REITORIA DE GRADUÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA – CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

PAULA RAFAELLA SIMÃO ARAÚJO

**INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE HIDROGENAÇÃO NA TENACIDADE AO
IMPACTO DO AÇO ASTM A182 F22**

CARAÚBAS

2019

PAULA RAFAELLA SIMÃO ARAÚJO

**INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE HIDROGENAÇÃO NA TENACIDADE AO
IMPACTO DO AÇO ASTM A182 F22**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semiárido – UFRSA, Campus Caraúbas para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientadora: Adiana Nascimento Silva, Profa Dra

CARAÚBAS

2019

Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

AA658 Araújo, Paula Rafaella Simão.
i INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE HIDROGENAÇÃO NA
TENACIDADE AO IMPACTO DO AÇO ASTM A182 F22 /
Paula Rafaella Simão Araújo. - 2019.
38 f. : il.

Orientadora: Adiana Nascimento Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia
Mecânica, 2019.

1. Aço Cr-Mo. 2. TTAT. 3. Hidrogenação. 4.
Dúctil. 5. Energia Absorvida. I. Silva, Adiana
Nascimento, orient. II. Título.

**INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE HIDROGENAÇÃO NA TENACIDADE AO
IMPACTO DO AÇO ASTM A182 F22**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semiárido –
UFERSA, Campus Caraúbas para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.


Profa. Dra. Adiana Nascimento Silva
Presidente


Prof. Me. Rafael Bezerra Azevedo Mendes
Membro


Profa. Dra. Guymmann Clay da Silva Membro

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela minha saúde e por me dá força para alcançar os objetivos almejados.

Agradeço a minha mãe (Fátima) por todo amor, incentivo e dedicação, a minha irmã (Thaís) pelo apoio.

A professora orientadora Adiana Nascimento Silva pela disponibilidade, paciência e imensa colaboração na execução deste trabalho.

Aos meus amigos Thuanny, Carlos Junior, Maize, Paulo Walter e Lêdson, por todo apoio e ajuda expresso, principalmente nos momentos difíceis.

Aos amigos acadêmicos Roseane, Daniel, Pedro, Nilson e Danrley pela ajuda e contribuição.

A Gleilson técnico de laboratório do SENAI – Mossoró, pela contribuição na construção dos corpos de prova e a Samir ao técnico de laboratório da UFERSA - Campus Caraúbas, na aplicação do experimento.

E a todos que ajudaram direta ou indiretamente, obrigada!

RESUMO

Observa-se atualmente a necessidade cada vez maior de captar energia para uso cotidiano, nesse contexto tem-se a área petrolífera, que tem vivenciado rotineiramente desafios, sobretudo aqueles provenientes do pré-sal, que é marcado por elevadas pressões e fluidos agressivos. O desenvolvimento de projetos nessa área, além de vencer esses desafios têm que atender aos requisitos de segurança. Apesar dos elevados critérios de segurança desta área, tem-se um histórico de falhas, a catástrofe ocorrida no Golfo do México teve grande repercussão devido aos prejuízos gerados, essa falha foi associada a fragilização induzida pelo hidrogênio, em junta de solda que empregava aço AISI 8630. Para juntas soldadas uma das maneiras de aliviar as tensões, e atender aos critérios de dureza necessários as aplicações do sistema petrolífero, corresponde ao emprego de Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (TTAT), que visa o aumento da ductilidade, diminuição da dureza tanto da zona fundida quanto da Zona Termicamente Afetada (ZTA), redução de empeno, aumento da resistência à fadiga e o aumento da resistência à corrosão sob tensão. Diante das falhas ocorridas em juntas soldadas compostas pelo aço AISI 8630 e do fato dessas terem sido associadas ao hidrogênio, o presente trabalho fará um levantamento do comportamento de tenacidade do aço ASTM A182 F22 nas condições sem e com proteção catódica. O aço ASTM A182 F22 foi submetido a TTAT com duração de 6 h a temperatura de patamar de 677 °C. O processo de proteção catódica ocorreu a temperatura ambiente, durante 168 h, com potencial de -1.100 mV_{ERC}. A partir do ensaio de dureza Rockwell, observou-se que o TTAT garantiu o atendimento do critério de dureza de 250 HV conforme exigência da norma MR 0175. A influência do hidrogênio no aço ASTM A182 F22 foi analisada por meio do ensaio de impacto Charpy. Os resultados desse ensaio demonstram que a hidrogenação não influenciou na absorção de energia de impacto. As superfícies de fratura, do ensaio Charpy, mostraram-se de natureza dúctil em todos os corpos de prova, assim, notou-se que a hidrogenação não afetou a tenacidade do aço ASTM A182 F22.

Palavras-chave: Aço Cr-Mo. TTAT. Hidrogenação. Dúctil. Energia Absorvida.

ABSTRACT

There is currently an increasing need to capture energy for everyday use, in this context there is the oil area, which has routinely experienced challenges, especially those from the pre-salt, which is marked by high pressures and aggressive fluids. Project development in this area, in addition to meeting these challenges, must meet security requirements. Despite the high safety criteria in this area, there is a history of failure, the disaster in the Gulf of Mexico had great repercussion due to the damage generated, this failure was associated with hydrogen-induced embrittlement in a weld joint using AISI 8630 steel. For welded joints, one of the ways to relieve stresses, and to meet the hardness criteria required by the petroleum system applications, corresponds to the use of Stress Relief Thermal Treatment (TTAT), which aims at increasing ductility, reducing the hardness of both fused zone as well as the Thermally Affected Zone (ZTA), reduced warping, increased fatigue strength and increased resistance to stress corrosion. Given the failures of welded joints composed of AISI 8630 steel and the fact that they were associated with hydrogen, the present work will survey the toughness behavior of ASTM A182 F22 steel in conditions without and with cathodic protection. ASTM A182 F22 steel was subjected to TTAT lasting 6 h at a plateau temperature of 677 °C. The cathodic protection process occurred at room temperature for 168 h, with a potential of -1,100 mVERC. From the Rockwell hardness test, it was observed that the TTAT ensured compliance with the 250 HV hardness criterion as per MR 0175 requirement. The influence of hydrogen on ASTM A182 F22 steel was analyzed using the Charpy impact test. The results of this test demonstrate that hydrogenation did not negatively influence impact energy absorption. The fracture surfaces of the Charpy test proved to be ductile in all specimens, thus it was noted that hydrogenation did not affect the toughness of ASTM A182 F22 steel.

Keywords: Cr-Mo Steel. TTAT. Hydrogenation. Ductile. Absorbed Energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Curvas TTT para um aço com composição química próxima à do aço ASTM A182 F22 empregado no presente trabalho.	12
Figura 2- Esquema de uma célula de proteção catódica por corrente impressa.	14
Figura 3– Teste de impacto.....	16
Figura 4 - Superfície de Fratura	17
Figura 5 - Representação esquemática do princípio do método Rockwell.....	18
Figura 6 - Fluxograma das atividades desenvolvidas.....	19
Figura 7 - Aço ASTM A182 F22	20
Figura 8 - Tratamento térmico de alívio de tensões	21
Figura 9 - Corte na serra fita de bancada.....	21
Figura 10 - Fresadora ferramenteira Eurostec	22
Figura 11 - Usinagem na retificadora plana tangencial.....	22
Figura 12 - Corpo de prova de Charpy. (a) Desenho. (b) Após fabricação	23
Figura 13 - Aparato de hidrogenação	24
Figura 14 - Aparato de hidrogenação	24
Figura 15 - Processo de hidrogenação.....	25
Figura 16 - Máquina de ensaio de impacto.....	26
Figura 17 - Corpos de prova do ensaio Rockwell. (a) sem hidrogenação, (b) com hidrogenação.	27
Figura 18 - Resultado do teste de impacto.....	29
Figura 19 - Corpos de prova sem hidrogenação após o teste de impacto.....	30
Figura 20 - Corpos de prova com hidrogenação após o teste de impacto	31
Figura 21 - Valores de dureza Vickers	32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivos.....	10
1.1.1	Objetivo geral.....	10
1.1.2	Objetivos específicos.....	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1	Aço ASTM A182 F22	11
2.2	Hidrogenação.....	13
2.3	Ensaio de Impacto	15
2.4	Ensaio de Dureza.....	17
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Fabricação dos corpos de prova	19
3.2	Processo de Hidrogenação	23
3.3	Ensaio de Impacto Charpy	25
3.4	Ensaio de Dureza Rockwell.....	26
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1	Processo de Hidrogenação	28
4.2	Ensaio de Impacto Charpy	28
4.3	Superfície de fratura	30
4.4	Ensaio de Dureza Rockwell.....	31
5	CONCLUSÕES.....	34
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	35
	REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Almeida (2014), desde o início da humanidade existia a necessidade de se obter energia, atualmente a energia é indispensável no nosso cotidiano, principalmente para o desenvolvimento do setor industrial e consequentemente de um país. Ainda de acordo com este autor, a demanda energética tem gerado a necessidade de desenvolvimento de fontes energéticas alternativas, mas o petróleo ainda corresponde a uma fonte de grande utilização. De acordo com Carrasco (2008), o estudo de novas tecnologias para a exploração de petróleo, sobretudo no processo de extração em águas profundas, como nos sistemas offshore são de grande relevância. A minimização de impactos ambientais oriundos desses sistemas tem sido a principal causa desses estudos, segundo Carrasco (2008).

Segundo Almeida (2014), essa preocupação ambiental e de segurança, tornou-se ainda mais notória após a ocorrência de falhas em estruturas em pleno serviço, em plataformas petrolíferas, como no Golfo do México, o componente que falhou em serviço, correspondia a junta soldada, sendo a falha associada a fragilização do aço AISI 8630. Ainda de acordo com este autor, a natureza catastrófica dessa e de outras falhas, bem como os prejuízos financeiros e, principalmente as perdas humanas e ambientais, imensuráveis, geraram a necessidade de uma compreensão sólida acerca dos mecanismos dessas falhas. Segundo Almeida (2014), até o momento tem-se um entendimento da relação dessas com o efeito de fragilização do hidrogênio sobre a microestrutura do aço 8630, a partir disso, novos estudos vêm sendo desenvolvidos com o intuito de melhor compreender a relação entre microestrutura e atuação do hidrogênio, assim como descobrir um material que seja mais viável em aplicação com a presença desse elemento.

De acordo com Oliveira (2013), o aço ASTM A182 F22 vem se destacando nessa aplicação já que a redução no teor de carbono desse aço não favorece a presença da martensita, consequentemente o torna promissor em aplicações onde há presença de hidrogênio. A martensita é um microconstituente resistente e frágil, com isso, pode aumentar a probabilidade do aço apresentar fratura frágil próximo a região da solda.

Nesse trabalho será analisado o comportamento de tenacidade ao impacto do aço ASTM A182 F22, no estado forjado e com Tratamento Térmico de Alívio de Tensão (TTAT), quando submetido a proteção catódica que ocorrerá a temperatura ambiente, durante 168 h, e num potencial de $-1.100 \text{ mV}_{\text{ERC}}$. Esse potencial corresponde a um valor rotineiramente utilizado nos sistemas offshore e que tem favorecido a atuação do hidrogênio em aços de baixa liga, tornando-os susceptível a fragilização induzida pelo hidrogênio, segundo Almeida (2014).

Dessa forma, o desenvolvimento do presente trabalho tem como comprometimento de contribuir com o conhecimento sobre o comportamento mecânico do aço ASTM A182 F22 frente às condições de aplicações em ambientes com a presença do hidrogênio.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar a influência do processo de hidrogenação na propriedade tenacidade do aço ASTM A182 F22, nas condições sem e com proteção catódica.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar a montagem do sistema de proteção catódica;
- Executar a confecção dos corpos de prova de Charpy;
- Submeter os corpos de prova à proteção catódica por corrente impressa;
- Realizar os ensaios de impacto e dureza.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aço ASTM A182 F22

Segundo Oliveira (2013), o aço ASTM A182 F22 é um aço baixa liga do tipo 2,25 Cr-1 Mo inicialmente desenvolvido para aplicações em altas temperaturas. Tal aplicação se deve a função da alta estabilidade proporcionada pelos carbonetos estáveis presentes nos contornos de grão desse material (OLIVEIRA, 2013). Por apresentar essas características, este material vem sendo aplicado em áreas petrolíferas.

Segundo Nova (2018), os aços de alta resistência e baixa liga têm sido utilizados com sucesso em aplicações que requerem um custo relativamente baixo, boa resistência mecânica e tenacidade, além de possuírem baixo teor de carbono que contribui para a boa soldabilidade e tenacidade.

Segundo Brito (2014), os aços de baixa liga são muito utilizados em componentes nas áreas indústrias de refino e petroquímica devido sua excelência resistência à fluência e corrosão e elevada tenacidade.

Segundo Callister (2013), uma das maneiras de aliviar as tensões nas juntas soldadas é o Tratamento Térmico de Alívio de Tensões (TTAT), que visa o aumento da ductilidade, a diminuição da dureza tanto da zona fundida quanto da Zona Termicamente Afetada (ZTA), a redução de empeno, o aumento da resistência à fadiga e o aumento da resistência à corrosão sob tensão. Segundo Oliveira (2013), o TTAT é feito para restringir a dureza na ZTA do aço de alta resistência e proporcionar o grau máximo de dureza de 22 HRC, conforme critério da norma NACE MR0175.

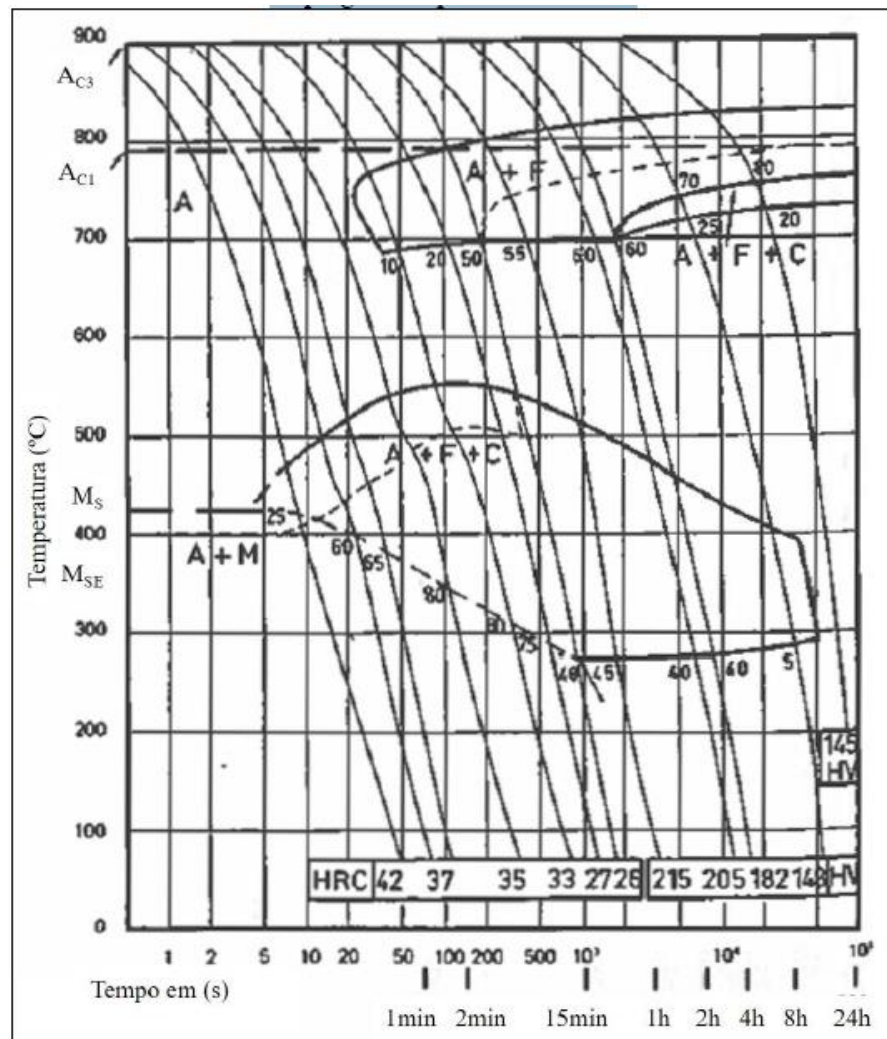
Segundo Moraes Junior (2008 *apud* Zeemann, 2003), a partir do TTAT, promove-se as seguintes alterações: a tensão limite de escoamento (TE) e a tensão limite de resistência (TR) diminuem com a temperatura, assim, o material pode ser deformado com menores níveis de tensão; ao aquecer o material cuja tensão residual se situa próximo ao limite de escoamento, esta tensão passa do limite de escoamento e o material se deforma, aliviando a tensão.

De acordo com Callister (2013), os produtos microestruturais para as ligas ferro-carbono são perlita grosseira e perlita fina, bainita, cementita globular, martensita e martensita revenida. A martensita é uma estrutura monofásica fora do equilíbrio e pode ser produto da transformação perlita com a bainita, isso ocorre quando a taxa de resfriamento é rápida e brusca. A martensita revenida é quando o aço martensítico é aquecido até a temperatura eutetoide, entre

250 e 6550 °C, por um tempo específico, onde as tensões internas são aliviadas com temperaturas menor que 200 °C.

Segundo Silva (2018), a adição de cromo e molibdênio, ao aço de baixo carbono, retarda a curva de transformação da ferrita-perlita, favorecendo a temperabilidade dos aços. No aço ASTM A182 F22, a adição destes elementos ocorre em proporção que se sobressai quando comparado aos demais elementos de liga presentes (SILVA, 2018 *apud* Hassel, 2013). Segundo Silva (2018), esse retardo da curva de transformação pode ser visualizado na Figura 1, na qual se observam as curvas TTT para um aço com composição química próxima a do aço ASTM A182 F22 empregado no presente estudo.

Figura 1 - Curvas TTT para um aço com composição química próxima à do aço ASTM A182 F22 empregado no presente trabalho.

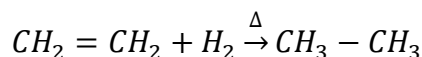


Fonte: Silva (2018 *apud* Voort, 1991)

2.2 Hidrogenação

Os alcenos são hidrocarbonetos insaturados que contêm uma ligação dupla entre átomos de carbono (C=C). O gás hidrogênio ou molécula de hidrogênio (H₂) é um elemento instável, contém uma ligação covalente simples entre dois átomos de hidrogênio (H-H).

A reação entre um alceno e H₂, chamada de hidrogenação, não ocorre rapidamente sob condições ordinárias de temperatura e pressão. Uma razão para a falta de reatividade de H₂ mediante alcenos é a alta entalpia de ligação de H₂ (BROWN; LEWAY; BURSTEN, 2005). Logo, é necessário a adição de um catalizador para diminuir o tempo de resposta da reação desejada e economicamente viável, normalmente os catalizadores mais usados são os metais, principalmente o níquel (Ni), onde o H₂ é adsorvido após a sua divisão. Exemplo de processo de hidrogenação:



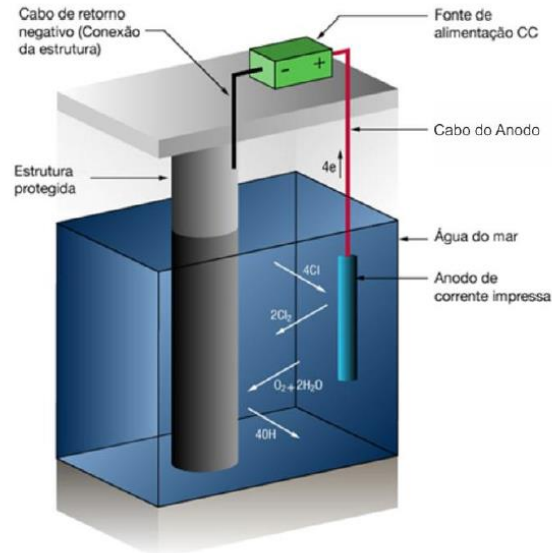
Nas empresas da área petrolífera existe uma grande preocupação e cuidado com a corrosão, pois as suas estruturas metálicas de exploração são expostas a ambientes com hidrogênio atômico que se adsorve aos metais, apesar de terem revestimento anticorrosivo, onde isso pode reduzir as propriedades mecânicas e vir a comprometer o material, acarretando em problemas estruturais e ambientais, de acordo com BROWN; LEWAY; BURSTEN (2005).

A proteção de um metal contra corrosão tornando-o cátodo em uma célula eletroquímica é conhecida como proteção catódica (BROWN; LEWAY; BURSTEN, 2005).

Segundo Gentil (2012), a proteção catódica por corrente impressa é um processo com o fluxo de corrente fornecida, origina-se da força eletromotriz de uma fonte geradora de corrente elétrica contínua, sendo largamente utilizados na prática os retificadores que, alimentados com corrente alternados, fornecem a corrente elétrica contínua necessária à proteção da estrutura metálica.

Segundo Almeida (2014), o sistema a se proteger é transformado em cátodo e, caso haja qualquer contato metálico com o eletrólito, a superfície exposta do aço estará sujeita a uma ambientação por hidrogênio atômico gerado pelas reações químicas e/ou eletroquímicas inerentes ao processo de proteção catódica (Figura 2). Quanto maior for o potencial de proteção catódica, mais intensa será a geração do hidrogênio atômico e, conseqüentemente, maior será sua concentração em torno da superfície exposta do aço ou material metálico (GONÇALVES *apud* METALS HANDBOOK, 2014).

Figura 2- Esquema de uma célula de proteção catódica por corrente impressa.



Fonte: Almeida (2014 *apud* Zeepwater, 2012).

A fissuração a frio induzida pelo hidrogênio, ou simplesmente trinca a frio, acontecem em temperaturas abaixo de 200 °C e frequentemente se revela dias após a operação de soldagem, necessitando assim que as inspeções tenham de esperar cerca de dias para serem executadas (BRITO, 2014).

O processo de hidrogenação do aço envolve as seguintes etapas: adsorção do hidrogênio atômico na superfície, difusão do hidrogênio atômico no metal, absorção do hidrogênio atômico na microestrutura do metal, de acordo com Almeida (2014).

Segunda Almeida (2014), a origem do hidrogênio atômico decorre da reação eletroquímica no cátodo onde os íons de hidrogênio hidratados diluídos na solução, após contato com o metal protegido, sofre uma redução. Por possuir um raio atômico bastante reduzido, o hidrogênio é um dos elementos de maior difusão metálica, a presença desse elemento reduz as propriedades mecânicas, particularmente a tenacidade à fratura desses materiais (ALMEIDA, 2014). O grau de absorção de hidrogênio por um metal depende de uma série de fatores tais como composição química, microestrutura, contornos de grãos, estado de tensão e deformação e defeitos microestruturais, de acordo com Almeida (2014).

Segundo Carrasco (2008), o dano é ocasionado pelo trincamento interno do material, induzido pela presença de hidrogênio atômico, que difunde e se recombina ao estado gasoso em sítios específicos desenvolvendo altas pressões nesses sítios.

Os defeitos microestruturais que funcionam como sítios de aprisionamento de hidrogênio com características irreversíveis ou reversíveis, dependendo do tipo de contenção (ALMEIDA, 2014 *apud* AYAMAGUCHI et al., 2003).

De acordo com Almeida (2014), os sítios de aprisionamento atrativos ou irreversíveis estão associados a campos de tensão, gradientes de potencial químico e gradientes de temperatura. Ainda segundo Almeida (2014), os sítios de aprisionamento físicos ou de contenção de hidrogênio reversíveis, estão associados a regiões deformadas do reticulado, energeticamente mais favoráveis a liberação do hidrogênio para o retículo cristalino.

Segundo Silva (2018), a microestrutura da solda apresenta locais que impedem a movimentação do hidrogênio atômico, tendendo a aprisioná-lo. Os locais de captura podem corresponder a átomos de soluto dentro da microestrutura, a interface de diferentes fases e aos campos de deformação elástica (SILVA, 2018 *apud* Boellinghaus; Hoffmeister; Dangeleit, 1995).

Estes locais podem ser úteis ou prejudiciais à iniciação da fissura pelo hidrogênio dependendo se redistribuem o hidrogênio móvel na solda, provocando assim uma queda na concentração local de hidrogênio, ou permitindo um acúmulo de hidrogênio que pode levar à fissuração pelo hidrogênio (SILVA, 2018 *apud* BOURGEOIS, 2015).

Estudos demonstraram que a austenita retida pode representar uma armadilha para o hidrogênio difusível. Observou-se que a mobilidade do hidrogênio na austenita é muito baixa quando comparada com a ferrita (SILVA, 2013).

2.3 Ensaio de Impacto

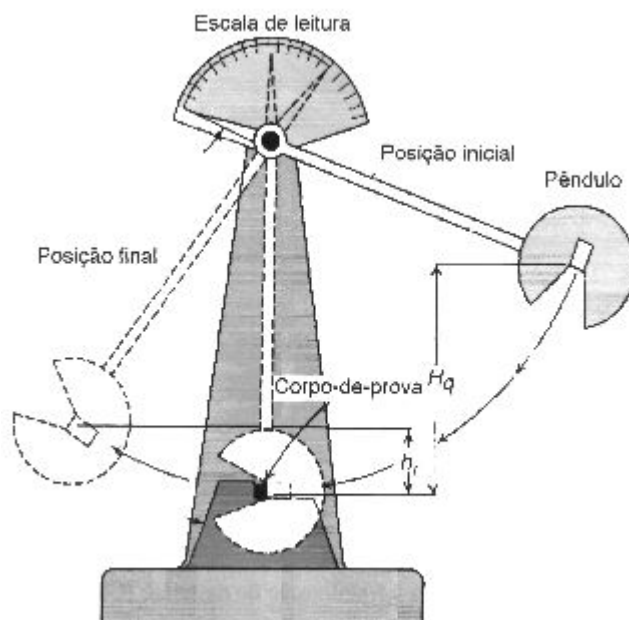
Os ensaios de impacto são realizados para saber a resistência e a deformação do material, o ensaio de impacto mais popular é o ensaio de Charpy, segundo Callister (2013). Ainda de acordo com Callister (2013), o ensaio de Charpy estabelece se o material possui uma passagem de dúctil para frágil a partir da energia absorvida pelo material, assim, se verifica qual o comportamento de tenacidade do material.

Segundo Askeland e Phulé (2008), a resistência mecânica é bastante reduzida pelo calor envolvido no processo de soldagem. Na ZTA é necessário garantir tenacidade suficiente

e favorável a junta soldada, para verificar se essa alteração sofrida no material foi satisfatória, emprega-se o ensaio Charpy.

A Figura 3 mostra o procedimento do ensaio de Charpy que é efetuado por um pêndulo de impacto em forma de martelo composto por uma ponta de aço endurecido. O corpo de prova é fixado na base da máquina e o pêndulo é liberado de uma altura H_q que se choca com o corpo de prova, promovendo a ruptura. O valor fornecido pelo ponteiro é dado com a altura h_r que o pêndulo atinge após o impacto com o corpo de prova, a absorção de energia de impacto é determinada a partir da diferença entre H_q e h_r .

Figura 3– Teste de impacto



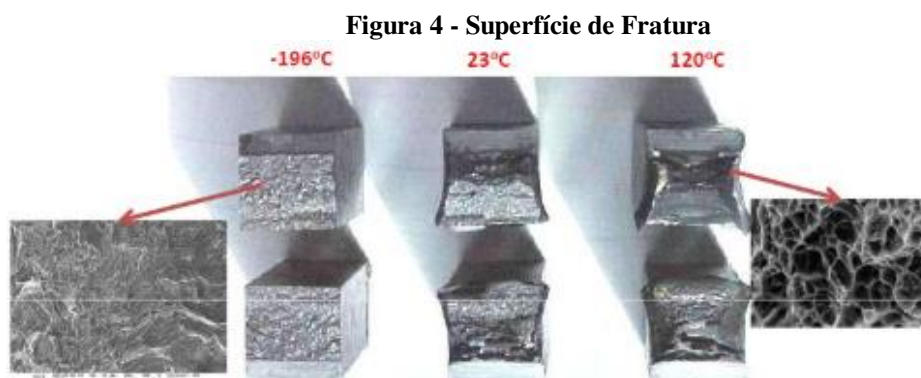
Fonte: Pandolfi (2006).

O ensaio é padronizado pela norma ASTM E23 - 18, pois é de extrema importância para que os resultados adquiridos no ensaio sejam confiáveis, assim, todas as medidas e o entalhe do corpo de prova, a massa do pêndulo e a velocidade são padronizadas. Segundo Silva e Mei (2010), o aspecto da fratura e a chamada “expansão lateral” do corpo-de-prova fraturado podem ser também apresentados como resultados do ensaio.

Segundo Nova (2018), a fratura frágil ocorre de forma súbita com grande velocidade de propagação da trinca, tendo pouca dissipação de energia, isto é, com pouco ou nenhuma deformação plástica envolvida e está normalmente associada aos maiores desastres em falhas de estrutura justamente por ocorre de forma rápida/súbita, sem sinais prévios de problema.

Conforme Nova (2018), a fratura dúctil existe importante dissipação de energia por conta de um volume representativo de escoamento plástico ao redor da ponta da trinca antes de sua propagação efetiva, consequentemente a velocidade da trinca é bem menor comparado ao caso frágil e permite a visualização de indícios de uma falha antes do momento crítico.

Segundo Garcia (2013), a aparência da superfície de fratura é um indicativo da natureza da fratura e pode ser usada na determinação da temperatura de transição, como pode ser observado na Figura 4. Nessa Figura, observa-se que o material ensaiado a baixa temperatura (-196 °C) apresenta fratura frágil, sem alterações nas faces da seção transversal de fratura, diferentemente do material com comportamento dúctil (CPs ensaiados a 23 °C e 120 °C) no qual verifica-se os fenômenos de contração e expansão nas regiões laterais da seção transversal de fratura.



Fonte: Adaptado de Garcia (2013)

2.4 Ensaio de Dureza

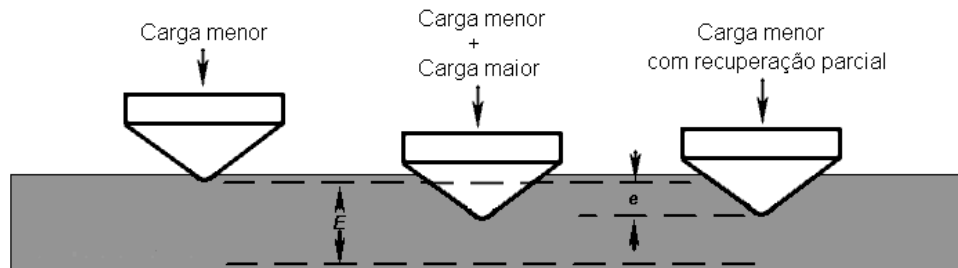
A dureza é uma propriedade mecânica cujo conceito se segue à resistência que um material, quando pressionado por outro material ou por marcadores padronizados, apresenta ao risco ou à formação de uma marca permanente (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2013). O ensaio de dureza Rockwell mede a dureza com relação a profundidade causada por um penetrador com uma pré-carga.

Segundo Almeida (2014), o conhecimento e controle da dureza na ZTA e em seu entorno é fundamental tanto nas decisões de projeto e análise de integridade estrutural, quanto no estabelecimento dos procedimentos de soldagem sem ou com TTAT.

O ensaio de dureza Rockwell pode ser realizado por penetradores com pontas cônicas ou esféricas que penetra na superfície do corpo de prova, aplica-se primeiramente a pré-carga (carga menor) em seguida a carga de ensaio. A norma recomenda um tempo de aplicação da

carga de ensaio, geralmente emprega-se 4 s, após a retirada da carga realiza-se a leitura da medida de dureza indicada na máquina. O procedimento de aplicação de cargas neste ensaio pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 - Representação esquemática do princípio do método Rockwell



Fonte: Adaptado de Monteiro e Rosário (2011)

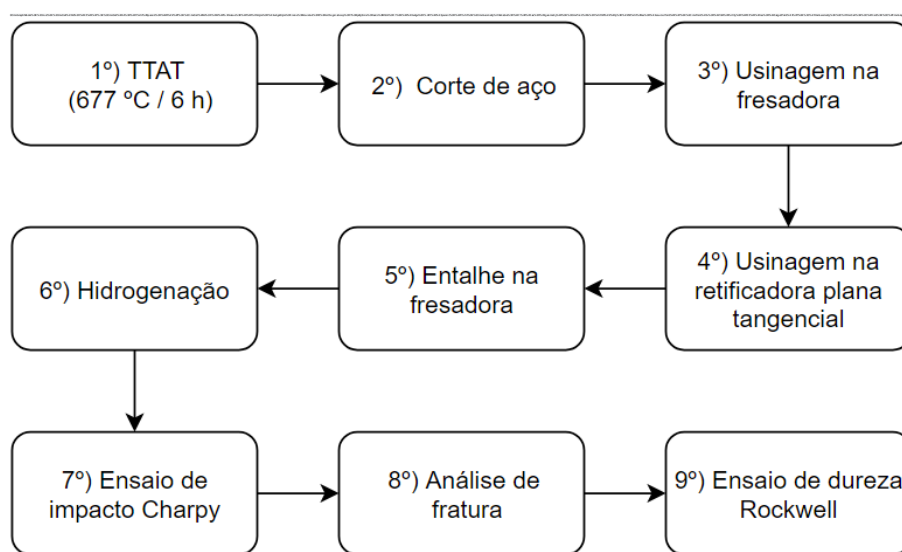
A aplicação da pré-carga é necessária para eliminar a ação de eventuais defeitos superficiais e ajuda na fixação do corpo de prova no suporte, além de causar pequena deformação permanente, eliminando erros causados pela recuperação do material devido à deformação elástica (GARCIA; SPIM; SANTOS, 2013).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho além da pesquisa bibliográfica, que é fundamental para o aprofundamento do conhecimento científico, foi realizado o estudo de caso. Neste aconteceu pesquisa experimental desenvolvida no Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA – Mossoró. Na UFERSA - campus Caraúbas utilizou-se os laboratórios de Ensaios Mecânicos, Usinagem e Metrologia. Já no SENAI Mossoró recorreu-se ao Laboratório de Mecânica Geral.

Após os procedimentos experimentais, ocorreu a análise quali-quantitativa dos resultados obtidos, a partir da qual foi avaliado o desempenho do aço ASTM A182 F22 sob as condições de hidrogenação e sem hidrogenação. A Figura 6 apresenta o fluxograma das atividades desenvolvidas.

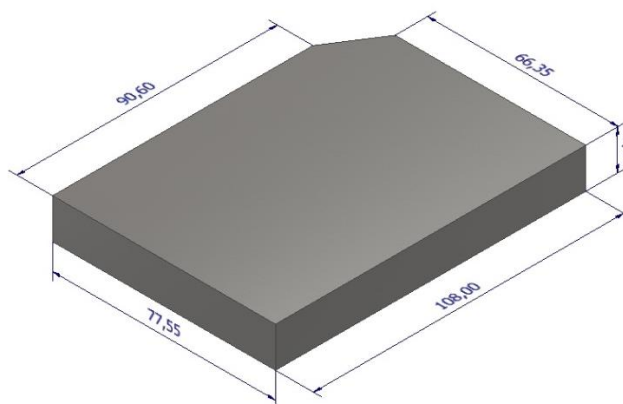
Figura 6 - Fluxograma das atividades desenvolvidas



Fonte: Autoria Própria (2019)

3.1 Fabricação dos corpos de prova

Para o desenvolvimento dos corpos de prova adquiriu-se o aço ASTM A182 F22 forjado (Figura 7) com dimensões de 90,60 x 77,55 x 13,9 mm de comprimento, largura e altura, respectivamente. Nas Tabelas 1 e 2, tem-se, respectivamente, a composição química e propriedades mecânicas do aço ASTM A182 F22 no estado forjado. O material empregado no presente trabalho faz parte do mesmo lote que foi analisado por Silva (2018).

Figura 7 - Aço ASTM A182 F22

Fonte: Autoria Própria (2019)

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

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Al
CTGAS	0,17	0,14	0,35	0,01	0,01	0,04	2,11	0,93	0,04	0,30

Fonte: CTGAS – ER

Tabela 2 - Valores médios das propriedades mecânicas do aço ASTM A182 F22 como fornecido

Dureza (HRC)	R _{p0.2} (MPa)	LRT (MPa)	Deformação (%)
28,5	877	960	22

Fonte: SILVA, 2018.

Na primeira etapa realizou-se um tratamento térmico de alívio de tensões (TTAT), este ocorreu em forno de resistência da marca Jung do SENAI-RN (unidade Mossoró), onde os parâmetros para esse procedimento foram: a taxa de aquecimento de 20 °C/min, a temperatura máxima de 677 °C e o tempo de duração após atingir a temperatura máxima foi de 6 horas. Na Figura 8 observa-se o momento de retirada do material do forno.

Figura 8 - Tratamento térmico de alívio de tensões



Fonte: Autoria Própria (2019)

Em seguida, foi realizado o processo de usinagem para a fabricação dos corpos de prova de impacto, iniciando com o corte do aço em uma serra fita de bancada horizontal (Figura 9). Utilizando este equipamento foram confeccionadas seis peças com dimensões de 77,55 x 13 x 13,9 mm.

Figura 9 - Corte na serra fita de bancada



Fonte: Autoria Própria (2019)

Posteriormente, os corpos de prova passaram pelo processo de fresamento em uma fresadora ferramenteira Eurostec modelo FTV-H6 do laboratório de usinagem da UFERSA campus Caraúbas (Figura 10), nesse processo empregou-se fresa de topo de diâmetro 5/16". Este processo teve a finalidade de deixar os corpos de prova em esquadro e com dimensões de 55 x 10,5 x 10,5 mm.

Figura 10 - Fresadora ferramenteira Eurostec



Fonte: Autoria Própria (2019).

Seguidamente, foi utilizada uma retificadora plana tangencial (Figura 11) para retirar os sulcos dos corpos de prova. Depois desse procedimento os corpos de prova ficaram com de dimensões de 55 x 9,95 x 9,87 mm.

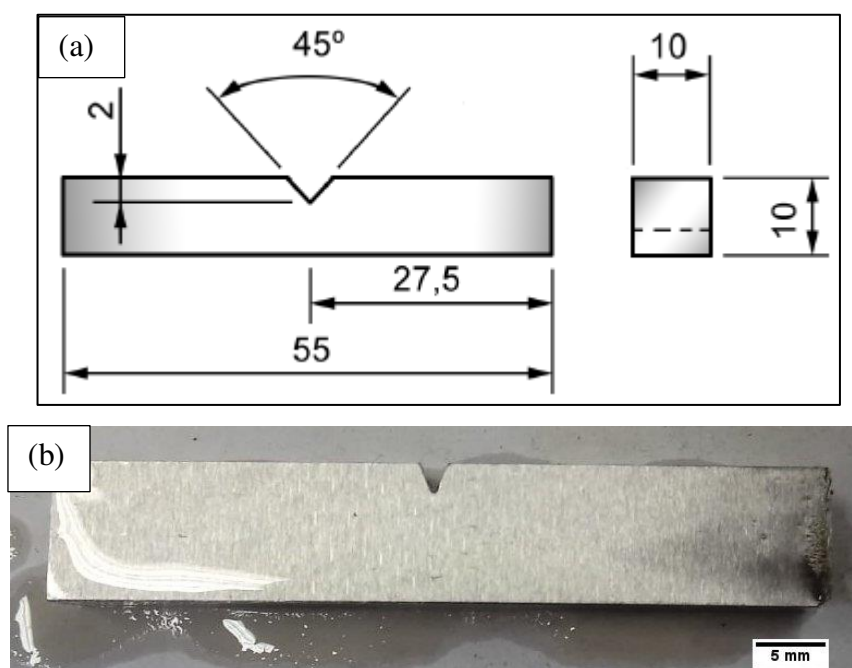
Figura 11 - Usinagem na retificadora plana tangencial



Fonte: Autoria Própria (2019).

Para finalizar, foi realizado o entalhe em uma fresadora horizontal com a fresa módulo, sendo realizado o entalhe do tipo V com 45° e 2 mm de profundidade na região central do comprimento da peça. Na Figura 12(a) apresenta-se o desenho com as dimensões (mm) do corpo de prova conforme norma ASTM E23 – 18, enquanto que na Figura 12 (b) tem-se o corpo de prova no seu estágio final, pronto para execução do ensaio de impacto e processo de hidrogenação.

Figura 12 - Corpo de prova de Charpy. (a) Desenho. (b) Após fabricação



Fonte: Soares e Oliveira (2012)

3.2 Processo de Hidrogenação

O aparato da hidrogenação (Figura 13) foi construído com duas placas de titânio de dimensões 160 x 2 x 130 mm, e com um furo na parte superior de 4 mm de diâmetro. No furo de cada placa foi fixado um parafuso no qual foram conectados os fios que são ligados ao potencial positivo da fonte de tensão. As placas foram fixadas em um cilindro de nylon com 100 x 20 mm para o diâmetro e altura, respectivamente. Para manter os corpos de prova paralelos as placas de titânio fizeram-se furos na base de nylon, sendo dois de 14 mm de diâmetro e um furo com 28,5 mm de diâmetro. Aos corpos de prova foram conectados os fios que são ligados ao potencial negativo da fonte de tensão.

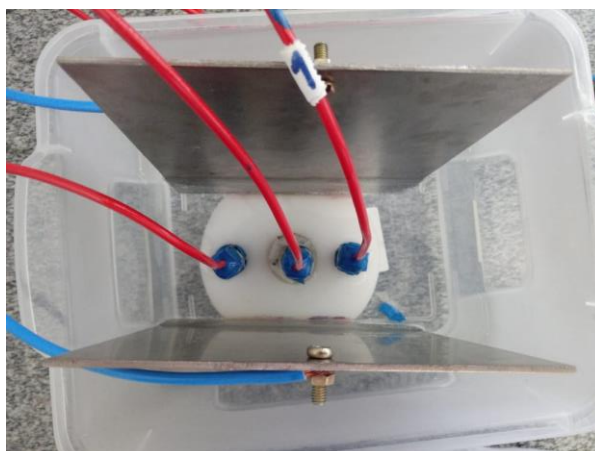
Figura 13 - Aparato de hidrogenação



Fonte: Autoria Própria (2019)

No procedimento de hidrogenação foi adotado a solução com concentração de 3,5 % de NaCl. O aparato da hidrogenação descrito anteriormente foi colocado dentro de uma cuba imersos em tal solução, como mostrado nas Figuras 13 e 14.

Figura 14 - Aparato de hidrogenação



Fonte: Autoria Própria (2019)

O processo de hidrogenação adotado foi derivado de uma célula de proteção catódica (Figura 15) por corrente impressa apresentando o perfil de: eletrólito sendo o NaCl a temperatura ambiente e pH 8,2; o potencial de proteção com $-1100 \text{ m V}_{\text{ERC}}$; o anodo inerte foram duas placas de titânio puro; o eletrodo de referência calomelano; o tempo de hidrogenação ocorreu por 168 h na temperatura ambiente.

Figura 15 - Processo de hidrogenação



Fonte: Autoria Própria (2019)

Durante os sete dias consecutivos de ensaio, foi necessário fazer verificações do pH e da tensão da solução duas vezes ao dia para ajustá-los aos valores estabelecidos. O pH era verificado com pHmetro quando o valor obtido fosse maior ou menor que o desejado se adicionava HCl e NaOH 0,1 M (molar).

A tensão era verificada com o auxílio de multímetro ao qual conectou-se o eletrodo de referência, se a tensão estivesse maior ou menor que $-1100 \text{ m V}_{\text{ERC}}$ era feito a calibração na fonte, assim deixando-o com o valor da tensão almejado.

Após o término da hidrogenação os corpos de provas foram mergulhados em solução de CuSO_4 para evitar a liberação do hidrogênio até o ensaio de impacto. Pois, Cu tem o potencial padrão de redução maior, ele reduz oxidando o $\text{H}_2 (\text{g})$ a H^+ , dessa forma o hidrogênio não é liberado.

3.3 Ensaio de Impacto Charpy

Este ensaio foi realizado de acordo como foi mencionado no referencial teórico e com a temperatura ambiente de aproximadamente 23°C . Empregou-se a máquina da marca Time e modelo JB-W300A do Laboratório de Ensaaios do curso de Engenharia Mecânica da UFERSA campus Mossoró, na Figura 16 pode-se ver equipamento similar ao utilizado.

Figura 16 - Máquina de ensaio de impacto

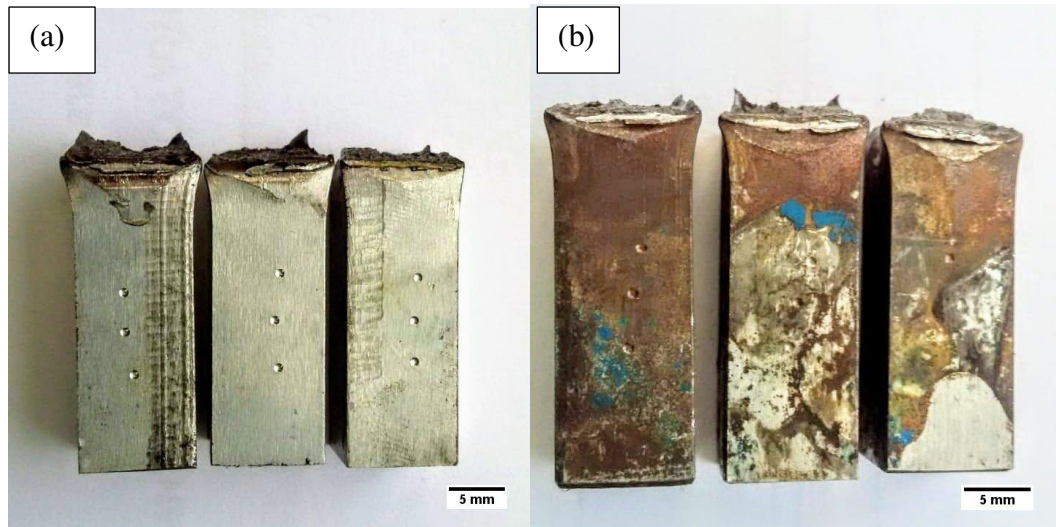


Fonte: Time Group Inc. (2019)

3.4 Ensaio de Dureza Rockwell

O ensaio de dureza Rockwell foi realizado em Durômetro Mitutoyo HR – 320MS – Laboratório de Ensaios Mecânicos da UFERSA Campus Caraúbas, esse foi desempenhado conforme norma brasileira NBR NM – 146 – 1:1998 (ABNT). Para iniciar o ensaio primeiramente foi preciso limpar a superfície do aço para retirar impurezas da sua superfície que poderia vir a interferir no resultado. Depois foi feita a escolha do penetrar de esfera de carbeto de tungstênio com diâmetro de 1,59 mm e a carga de 100 kgf, parâmetros que correspondem a escala HRB que é adequada para aplicação do aço. Após a escolha, aplicou-se a pré-carga e seguidamente a carga principal por período de 4 segundos, em seguida, retirou-se a carga principal e a manutenção da pré-carga, por último realizou-se a leitura da medida. O ensaio de dureza foi realizado em todos os seis corpos de prova de impacto, tendo-se assim um total de 18 indentações. Após a obtenção da dureza HRB utilizou-se o sistema de conversão de dureza do equipamento e assim obteve-se a dureza HV, já que está é especificada pela norma NACE MR0175. Esse procedimento foi realizado três vezes em cada corpo de prova sem hidrogenação (Figura 17 (a)) e com hidrogenação (Figura 17 (b)).

Figura 17 - Corpos de prova do ensaio Rockwell. (a) sem hidrogenação, (b) com hidrogenação.



Fonte: Autoria Própria (2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Processo de Hidrogenação

As medidas feitas diariamente podem ser observadas na Tabela 3, nela estão os valores de pH e tensão de todas as medições realizadas durante o experimento, antes e depois dos ajustes. Percebe-se que os valores de 8,2 e -1100 mV_{ERC} para pH e tensão, respectivamente, não são alcançados com exatidão após o ajuste.

Tabela 3 – Medidas do processo de hidrogenação

Data	Hora	pH - antes do ajuste	pH - depois do ajuste	Tensão (mV) - antes do ajuste	Tensão (mV) - depois do ajuste
26/07/19	09:30	9,54	8,43	-1180	-1070
27/08/19	09:40	8,47	8,27	-1131	-1081
27/08/19	19:12	8,52	8,29	-1018	-1076
28/08/19	10:11	8,54	8,28	-0646	-1084
28/08/19	18:50	8,36	8,21	-1022	-1094
29/08/19	10:33	8,20	8,20	-0912	-1075
29/08/19	18:26	7,93	8,32	-1083	-1095
30/09/19	11:00	7,89	8,18	-0960	-1100
30/09/19	20:26	8,54	8,36	-1140	-1093
31/09/19	09:43	8,66	8,22	-0600	-1100
31/09/19	20:27	9,33	8,14	-1051	-1107
01/09/19	09:56	10,14	8,18	-1182	-1110
01/09/19	19:30	8,32	8,16	-0784	-1101

Fonte: Autoria Própria (2019)

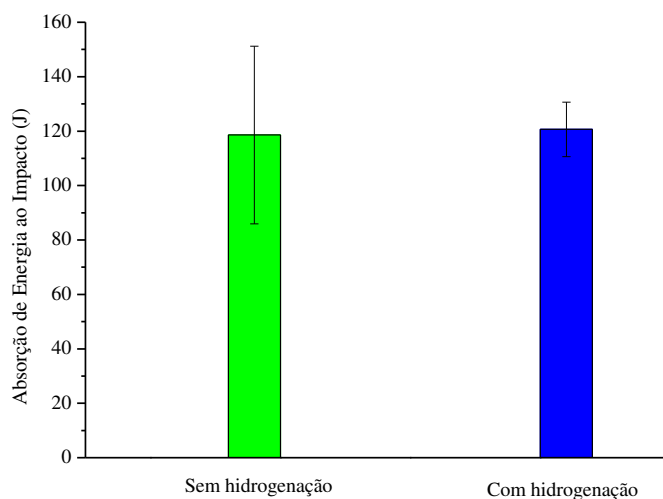
4.2 Ensaio de Impacto Charpy

Segundo Nova *apud* Wang (2018), a susceptibilidade à fragilização por hidrogênio de um aço depende de sua inerente tenacidade, quanto mais tenaz maior será o teor crítico de hidrogênio (H) necessário para a ocorrência de trincas a frio.

Os resultados do ensaio de impacto Charpy estão na Figura 18, para os corpos de prova com hidrogenação e sem hidrogenação. Neste gráfico tem-se o valor médio da energia

absorvida e desvio padrão para os três corpos de prova que foram ensaiados para cada condição citada anteriormente.

Figura 18 - Resultado do teste de impacto



Fonte: Autoria Própria (2019).

Tabela 4 - Resultado do teste de impacto

	Sem hidrogenação	Com hidrogenação
Corpo de prova	Energia (J)	Energia (J)
1	81,8	131
2	130	120
3	144	111
Média	118,6	120,6666667
Desvio padrão	32,62943456	10,0166528

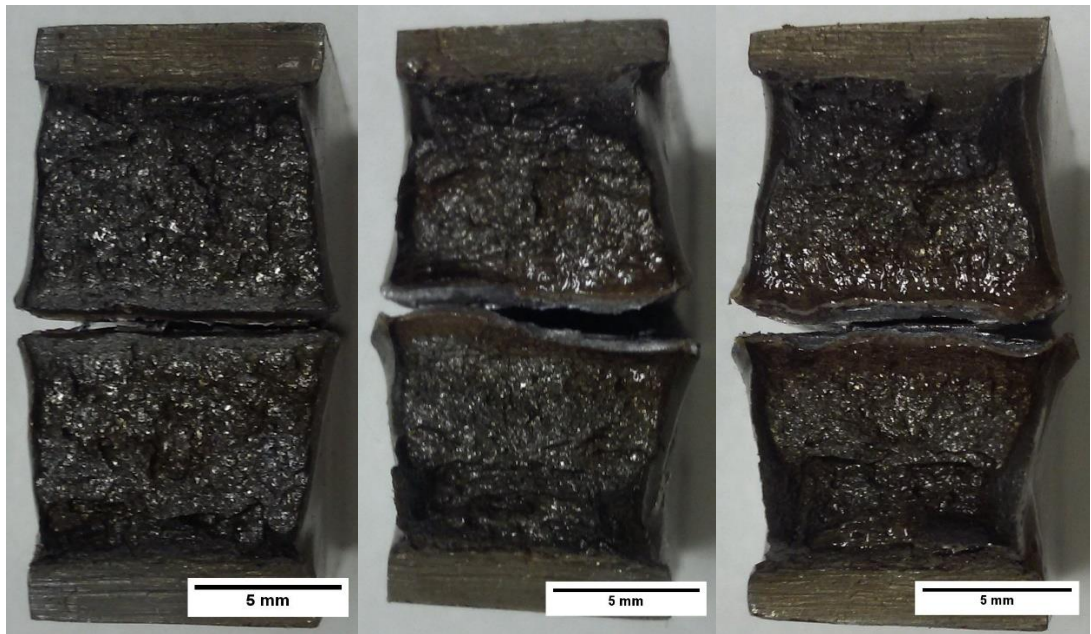
Fonte: Autoria Própria (2019).

A partir da Figura 18 e dados da Tabela 4, observa-se que o valor da energia de impacto nos corpos de prova com hidrogenação e sem hidrogenação foram aproximados, embora o desvio padrão nos corpos de prova sem hidrogenação tenha sido maior, assim percebe-se que o aço ASTM A182 F22 não se apresentou susceptível a fragilização induzida pela hidrogenação, já que não comprometeu essa propriedade do material.

4.3 Superfície de fratura

Após o ensaio de Charpy, verificou-se visualmente as fraturas dos corpos de prova de impacto, com o intuito de levantar-se o mecanismo de fratura predominante no material para as condições sem e com hidrogenação, cujos resultados são apresentados, respectivamente, nas Figuras 19 e 20.

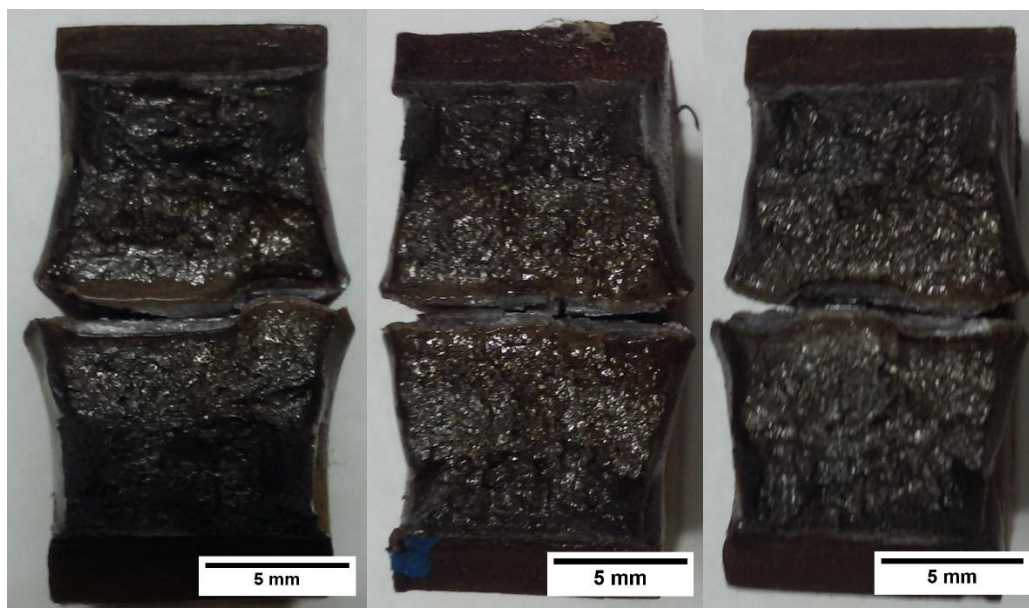
Figura 19 - Corpos de prova sem hidrogenação após o teste de impacto.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 19 apresenta os corpos de prova sem hidrogenação após o ensaio de impacto. Percebe-se que todos os corpos de prova apresentam em sua extremidade uma deformação plástica, um aspecto fibroso com alguns acúmulos de material deslocados para cima e pequenas cavidades. Logo, por essas características, verifica-se que o material apresentou fratura dúctil, conforme Garcia (2013).

Figura 20 - Corpos de prova com hidrogenação após o teste de impacto



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 20 apresenta os corpos de prova com hidrogenação. Observou-se que os mesmos desenvolveram comportamento equivalente ao material dos corpos de prova sem hidrogenação, apresentando as mesmas características após o ensaio de impacto. Então podemos afirmar que o mecanismo de fratura predominante em ambas as condições analisadas foi do tipo dúctil, segundo Garcia (2013).

4.4 Ensaio de Dureza Rockwell

Os resultados de dureza Rockwell, escala B, obtidos para os corpos de prova sem hidrogenação são apresentados na Tabela 5. Foi possível observar que houve pouca variação nas medidas de dureza obtidas nos resultados, onde os valores de dureza Rockwell variam de 92,3 a 94,2 HRB, para a dureza Vickers obteve-se valores entre 197 e 206 HV.

Tabela 5 – Ensaio de dureza do aço ASTM A182 F22 sem hidrogenação

Corpo de prova	Rockwell B				Vickers			
	Indentação 1	Indentação 2	Indentação 3	Desvio padrão	Indentação 1	Indentação 2	Indentação 3	Desvio padrão
1	92,3	93,6	93,2	0,67	197	203	201	3,06
2	93,1	94	93,8	0,47	201	205	204	2,08
3	93,1	94,2	93,5	0,56	201	206	203	2,52

Fonte: Autoria Própria (2019)

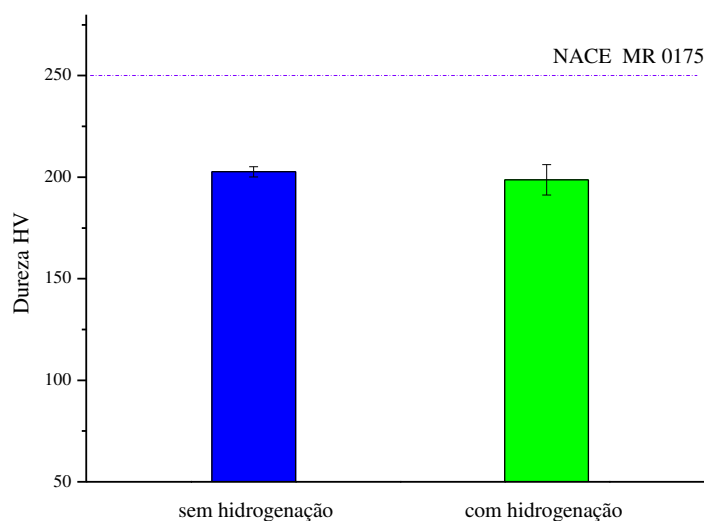
Com os resultados das medidas dos corpos de prova com hidrogenação apresentados na Tabela 6, também foi possível observar que houve pouca variação nas medidas de dureza Rockwell, na escala B, obtidas nos resultados, onde os valores variam de 90,8 a 93,8 HRB, para a dureza Vickers obteve-se valores entre 189 e 204 HV.

Tabela 6 – Ensaio de dureza do aço ASTM A182 F22 com hidrogenação

Corpo de prova	Rockwell B				Vickers			
	Indentação 1	Indentação 2	Indentação 3	Desvio padrão	Indentação 1	Indentação 2	Indentação 3	Desvio padrão
1	90,8	93,8	93,7	1,70	189	204	204	8,66
2	91,3	93,5	93,7	1,33	192	203	204	6,66
3	91	93,1	92,9	1,33	190	201	200	6,08

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 21 - Valores de dureza Vickers



Fonte: Autoria própria (2019).

Na Figura 21, tem-se o gráfico dos valores de dureza Vickers (HV) média com os respectivos desvios padrões para as condições sem e com hidrogenação. A partir dessa Figura observa-se que o TTAT realizado no aço ASTM A182 F22 garantiu o atendimento do padrão de dureza de 250HV especificado pela norma NACE MR 0175. Silva (2018) trabalho com o mesmo material estudado no presente trabalho e, levantou uma dureza de 28HRC que

corresponde a aproximadamente 280HV, então pelo comparativo dos resultados tem-se a certeza da eficiência do TTAT realizado.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho averiguou o comportamento das propriedades mecânicas do aço ASTM A182 F22 após o processo de hidrogenação e comparando com o mesmo sem a proteção catódica. Nas circunstâncias empregadas neste trabalho e apresentação dos resultados exposto, admite-se a deduzir que:

- O sistema de proteção catódica que foi desenvolvido garantiu a não oxidação do aço ASTM A182 F22.
- A absorção de energia de impacto média nos corpos de prova com hidrogenação foi maior que nos corpos de prova sem hidrogenação. Logo, podemos deduzir que a hidrogenação não influenciou negativamente na absorção de energia de impacto;
- As fraturas ocorridas durante o ensaio de Charpy exibiu natureza dúctil em todos os corpos de prova, assim, notou-se que a hidrogenação não afetou na tenacidade do aço F22;
- Com os resultados de dureza comprovou-se que as condições de TTAT garantiram nível dureza no aço inferior a 250HV atendendo assim o critério de dureza da norma NACE MR0175.

Considerando o processamento térmico e a proteção catódica aos quais o aço ASTM A182 F22 foi submetido, conclui-se que o mesmo se mostra promissor para emprego em componentes soldados para fins de aplicações no setor petrolífero.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar ferramentas adequadas e novas nos processos de usinagem com a adição de fluidos;
- Verificar se as máquinas que serão usadas para usinar as amostras estão alinhadas e se estão funcionando adequadamente, para não comprometer o ensaio e nem o processo de fabricação;
- Deixar os corpos de provas com uma tolerância aceitável durante os processos de usinagem;
- Verificar se o valor da tensão informada na fonte é realmente o que está sendo fornecida e/ou medida por um multímetro;
- Realizar a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nos corpos de provas para analisar a superfície de fratura dos corpos de prova de ensaio de impacto.
- Submeter outros aços ao sistema de proteção catódica que foi desenvolvido para fins de melhor avalia-lo.
- Estudar a influência do posicionamento das placas de titânio na hidrogenação de materiais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, José Gonçalves. **Influência do Hidrogênio na Tenacidade Quase Estática de uma Junta Soldada Dissimilar Constituída de Aços ARBL e Metal de Adição BS NA 21 (INCONEL 625)**. 2014. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2014.
- ALMEIDA, Mônica Santos. **Análise Comparativa da Microestrutura e da Dureza do Aço ASTM A182 F22**. 2018. 36 f. Monografia - Engenharia Mecânica. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D1141-98, **Standard Practice for Preparation of Substitute Ocean Water**. West Conshohocken, 2008.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E23-18, **Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials**. West Conshohocken, 2018.
- ASKELAND, D. R.; PHULÉ, P. P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. Editora Cengage, 2008.
- BOWN, Theodore L.; LEMAY, H. Eugene; BURSTEN, Bruce E.; BURDGE, Julia R. **Química a Ciência central**. 9º ed. São Paulo: Editora Pearson.
- BRITO, Francisco Felipe Gomes. **Avaliação da Técnica de Dupla Camada na Soldagem TIG Considerando a Tenacidade e Características Metalúrgicas de Juntas de Aço AISI 8630M e ASTM A182 F22**. 2014. 139 f. Dissertação (Engenharia e Ciência de Materiais) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.
- CALLISTER, William D. Jr.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 8ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 612 p.
- CARRASCO, Jorge Antônio Palma. **Aplicação de Modelos de Fratura Elástica e de Dano para a Simulação Numérica da Influência do Hidrogênio na Propagação de Trincas em Aços de Alta Resistência**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.
- DAI, Tao; LIPPOLD, John C. **Tempering Behavior of the Fusion Boundary Region of an F22/625 Weld Overlay**. Welding Journal. Dezembro 2017.
- DAI, Tao; LIPPOLD, John C. **Tempering Effect on the Fusion Boundary Region of Alloy 625 Weld Overlay on 8630 Steel**. International Institute of Welding 2018.18 janeiro 2018.
- DAI, Tao; LIPPOLD, John C. **The Effect of Postweld Heat Treatment on Hydrogen-Assisted Cracking of F22/625 Overlays**. Welding Journal. Março 2018.
- DANTAS, V. A.; SILVA JÚNIOR, M. Q.; GOMES, A. V. R. **Estudo das Propriedades Mecânicas para Diversos Tratamentos Térmicos do Aço ASTM A182 F22**. 22º CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. 06 a 10 de novembro de 2016, Natal, RN, Brasil.

Dodge, Michael Francis. **The Effect of Heat Treatment on the Embrittlement of Dissimilar Welded Joints**. Março 2014. 217 f. PhD Thesis (Department of Engineering). University of Leicester.

FREI, Julian; ALEXANDROV, Boian T.; REITHMEIER, Michael. **Low heat input gas metal arc welding for dissimilar metal weld overlays part III: hydrogen-assisted cracking susceptibility**. International Institute of Welding. 15 de janeiro de 2019.

GARCIA, Amari; SPIM, Jaime Alvares; SANTOS, Carlos Alexandre. **Ensaio de Materiais**. 2ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013. 365 p.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. 360 p.

MORAES JUNIOR, José Mauro. **Influência do Tratamento Térmico de Alívio de Tensões Pós-soldagem na Microestrutura e Comportamento Mecânico de Soldas Produzidas com Arame Tubular Rutilico**. 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia dos Materiais) – Escola de Engenharia Lorena – Universidade de São Paulo.

MONTEIRO, Dário; ROSÁRIO, Tiago. **Ensaaios Mecânicos não Destrutivos – Ensaio de Dureza**. Junho 2011. 20 f. Curso de engenharia Industrial. Instituto Politécnico de Castelo Branco – Escola Superior de Tecnologia.

MOURA FILHO, Adroaldo José Silva de. **Avaliação de Juntas Soldadas dos Aços AISI 8630M e ASTM A182 F22 Amanteigadas pelo Processo PTA com a Liga de Níquel UNS N06625**. 26 de setembro de 2014. 111 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Fortaleza, 2014.

NOVA, Antônio Marcos Vila. **Influência da Corrente de Soldagem e da Composição do Metal de Adição Sobre o Comportamento Mecânico de Juntas Soldadas Dissimilares**. 26 de janeiro 2018. 116 f. Dissertação. Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba.

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.

PANDOLFI, Alessandro Sanqueta. **Avaliação do Efeito da Rugosidade na Tenacidade ao Impacto em Aço Carbono**. 20 de julho de 2006. 41 f. Monografia - Engenharia Mecânica, Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

SILVA, Adiana Nascimento. **Análise do Efeito do Hidrogênio na Resposta de Tenacidade à Fratura em Junta Soldada Dissimilar**. 2018. 180 f. Tese (Doutorado) - Engenharia de Materiais da Universidade Federal da Paraíba.

SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R. **Aços e Ligas Especiais**. 3ª ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2010.

SOARES, Ricardo de Souza; OLIVEIRA, Júlio José de. **Relatório sobre Ensaio de Impacto – MCM I**. Disponível em: <<https://www.docsity.com/pt/relatorio-mcm-1-impacto/4853243/>>. Acesso em: 23 de ago. 2019.

TIME GROUP INC. **Impact Testing Machine JB-W300A**. Disponível em:
<<https://bibliotecas.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/21/2015/05/Normas-ABNT-para-TCC-em-slides-2016-junho.pdf>>. Acesso em: 10 de ago. 2019.