



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JOÃO OTÁVIO BENITES RODRIGUES

ANÁLISE DE TRATAMENTO TÉRMICO NO AÇO INOX 410
APLICADO A BICOS SPRAY DE VÁLVULA DESSUPERAQUECEDORA DE
VAPOR

DOURADOS-MS

2023

JOÃO OTÁVIO BENITES RODRIGUES

**ANÁLISE DE TRATAMENTO TÉRMICO NO AÇO INOX 410
APLICADO A BICO SPRAY DE VÁLVULA DESSUPERAQUECEDORA DE
VAPOR**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Prof. Dr. Edilson Nunes Pollnow.
Area de Concentração: 3.05.00.00-1

DOURADOS-MS

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

R696a Rodrigues, João Otavio Benites
Análise de Tratamento Térmico no Aço Inox 410 Aplicado a Bicos Spray de Válvula
Dessuperaquecedora de Vapor [recurso eletrônico] / João Otavio Benites Rodrigues. -- 2023.
Arquivo em formato pdf.

Orientador: Edilson Nunes Pollnow.

TCC (Graduação em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2023.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Tratamentos Térmicos. 2. Aço Inoxidável AISI 410. 3. Microestrutura. 4. Dureza. I. Pollnow,
Edilson Nunes. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

ANEXO D - AVALIAÇÃO FINAL DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aluno: **JOÃO OTÁVIO BENITES RODRIGUES**

Título do trabalho e subtítulo (se houver): **ANÁLISE DE TRATAMENTO TÉRMICO NO AÇO INOX 410 APLICADO A BICOS SPRAY DE VÁLVULA DESSUPERAQUECEDORA DE VAPOR.**

BANCA EXAMINADORA

1. Presidente (orientador):

Prof. Dr. Edilson Nunes Pollnow, Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD

2. Membro:

Prof. Dr. Ederson Bitencourt das Neves, Universidade Federal do Rio Grande - FURG

3. Membro:

Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos, Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

De acordo com o grau final obtido pelo aluno, nós da banca examinadora, declaramos APROVADO (Aprovado/Reprovado) o aluno acima identificado, na componente curricular Trabalho de Conclusão de Curso (TCC-II) de Graduação no Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Grande Dourados.

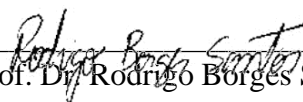
Dourados, 05 de Maio de 2023.

Documento assinado digitalmente
gov.br EDILSON NUNES POLLNOW
Data: 08/05/2023 15:48:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Edilson Nunes Pollnow

Documento assinado digitalmente
gov.br EDERSON BITENCOURT DAS NEVES
Data: 08/05/2023 13:25:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ederson Bitencourt das Neves


Prof. Dr. Rodrigo Borges Santos

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais Janilson e Alda, além de minha irmã Maria pela paciência e apoio nesta caminhada acadêmica.

Ao professor Dr. Edilson Nunes Pollnow por sua contribuição na orientação apresentada e transmissão de seus conhecimentos para conclusão do trabalho.

A banca examinadora, sendo eles os professor Dr. Rodrigo Borges Santos e professor Dr. Ederson Bitencourt das Neves pela disponibilidade e contribuição neste trabalho.

Aos meus amigos Rodrigo Mamédio, Fábio Antônio, Mariana Finamor, Rafaela Novaes, Gustavo Texeira, Pedro Baldin, Carlos Fraga, Vinicius Massoni, Osmar Diniz, Renan Gomes e Pedro Renato pela vivência acadêmica em todos esses anos e pelas experiências proporcionadas.

Agradeço a todos da empresa Aztec e em especial a Thiago e Gleisi, pelo fornecimento de materiais utilizados neste trabalho, assim como o surgimento da ideia deste trabalho.

Agradeço também a todos os professores do curso de Engenharia Mecânica da UFGD por seus respectivos ensinamentos.

RESUMO

Aços inoxidáveis são muito utilizados nas indústrias devido a sua alta resistência a corrosão e alta resistência mecânica. Os aços inoxidáveis da família martensítica tem a capacidade de receberem tratamento térmico e entregar um aumento em sua dureza, tenacidade e ductilidade, de acordo com o tratamento escolhido. O presente estudo visa analisar a microestrutura e dureza do aço AISI 410 submetido a diferentes tratamentos térmicos como possível forma de aumentar a durabilidade de bicos spray utilizados em válvulas dessuperaquecedora de vapor, onde devido à alta velocidade de injeção de água para redução de temperatura do vapor, ocasiona o fenômeno de “erosão-corrosão” em seus orifícios injetores, reduzindo a vida útil e controle do processo. Foram utilizados dois tratamentos térmicos convencionais, sendo eles um de têmpera e outro de têmpera seguido de revenimento, com intuito de verificar as alterações nas propriedades mecânicas e microestruturais do aço AISI 410. Foram escolhidas três amostras de referência, três amostras para realização de têmpera a 950°C com o tempo de encharque de 25 minutos, e três amostras para o processo de têmpera seguida de revenimento a 275°C com o tempo de encharque de 2 horas. Foi realizado uma análise metalográfica através da técnica de microscópio óptico, já a análise de dureza foi realizada utilizando o ensaio de dureza *Rockwell* em um durômetro. Para as amostras temperadas em relação as amostras de referência, foram observados um aumento de dureza de cerca de 880%, já para as amostras temperadas seguida de revenimento foram de 805%.

Palavras-chave: Tratamento térmico; Aço Inoxidável AISI 410; Microestrutura; Dureza.

ABSTRACT

Stainless steels are widely used in industries due to their high corrosion resistance and high mechanical strength. The stainless steels of the martensitic family have the ability to undergo heat treatment and deliver an increase in their hardness, toughness and ductility, according to the chosen treatment. The present study aims to analyze the microstructure and hardness of AISI 410 steel submitted to different heat treatments as a possible way to increase the durability of spray nozzles used in steam desuperheating valves, where due to the high speed of water injection to reduce the temperature of the vapor, it causes the phenomenon of "erosion-corrosion" in its injector holes, reducing service life and process control. Two conventional heat treatments were used, one of tempering and the other of tempering followed by tempering, in order to verify the changes in the mechanical and microstructural properties of AISI 410 steel. Three reference samples were chosen, three samples for quenching at 950°C with a soaking time of 25 minutes, and three samples for the tempering process followed by tempering at 275°C with a soaking time of 2 hours. A metallographic analysis was performed using the optical microscope technique, the hardness analysis was performed using the Rockwell hardness test in a durometer. For the tempered samples in relation to the reference samples, an increase in hardness of about 880% was observed, while for the tempered samples followed by tempering they were 805%.

Key words: Heat treatment; Stainless Steel AISI 410, Microstructure; Hardness.

LISTA DE FIGURAS

1	Válvula Dessuperaquecedora de vapor	12
2	Bicos Spray	12
3	Diagrama de equilíbrio ferro-grafita.	16
4	Diagrama TTT do Aço AISI 410.	17
5	Temperatura e Tempo para Têmpera e Revenimento	19
6	Diagrama de Revenimento do Aço AISI 410.....	20
7	Fluxograma de processos a ser realizado.	22
8	Desenho da Amostra.	23
9	Forno Mufla.....	24
10	Aspectos das Amostras do Grupo T após Têmpera.....	25
11	Forno Mufla Revenimento.	26
12	Aspecto das Amostras do Grupo R após Revenimento.....	26
13	Cortadora Metalográfica.	27
14	Amostras do Grupo após Corte.	27
15	Embutimento das Amostras do Grupo A em molde de silicone.	28
16	Amostras do Grupo A após Embutimento.....	28
17	Amostras do Grupo T após Corte.....	29
18	Amostras do Grupo T após Embutimento	29
19	Amostras do grupo R após Corte.....	29
20	Amostras do Grupo R após Embutimento.....	30
21	Politriz lixadeira de velocidade variável.	31
22	Amostra R1 após polimento.	31
23	Amostra R1 após polimento.	32
24	Microscópio Óptico ISM-M1000.....	32
25	Durômetro Rockwell.	33
26	Pontos de Medição de Dureza Esquemático.....	34
27	Pontos de Medição de Dureza	35
28	Amostra A2 400x.	36
29	Amostra T2 400x.....	37
30	Amostra T2 400x.....	38
31	Gráfico de Dureza por Amostra.	38
32	Gráfico de Dureza Média dos Grupos.....	39

LISTA DE TABELAS

1	Composição Química do aço inox AISI 410.....	23
2	Composição Química do aço inox AISI 410.....	24
3	Valores de Dureza Média dos Grupos.....	39

LISTA DE SÍMBOLOS

AISI	American Iron and Steel Institute
Al_2O_3	Alumina
$C_2h_3N_3O_7$	Ácido Pícrico
C_2H_6O	Álcool Eílico
$C_3H_8O_2$	Glicerol
CCC	Cúbica de Corpo Centrada
CFC	Cúbica de Face Centrada
Cr	Cromo
FAC	Flow Accelerated Corrosion
Fe	Ferro
Fe-Cr-Ni	Ferro-Cromo-Níquel
HCP	Hexagonal Compacta
HRB	Hardness Rockwell B
HRC	Hardness Rockwell C
TCC	Tetragonal de Corpo Centrado
Mo	Molibdênio
O	Oxigênio
SAE	Society of Automotive Engineers

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	DESENVOLVIMENTO	14
2.1	OBJETIVOS	14
2.2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.2.1	Aços Carbono	15
2.2.2	Aços Inoxidáveis.....	16
2.2.3	Aço Inox AISI 410.....	17
2.2.4	Tratamentos Térmicos	17
2.2.5	Normalização	18
2.2.6	Recozimento	18
2.2.7	Têmpera	18
2.2.8	Revenimento	19
2.2.9	Válvula Dessuperaquecedora de Vapor e Bicos Spray	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	Materiais Utilizados.....	22
3.2	Procedimento de Preparação.....	23
3.3	Tratamentos Térmicos Realizados.....	24
3.3.1	Tratamento Térmico de Têmpera.....	24
3.3.2	Tratamento Térmico de Revenimento	25
3.3.3	Preparação Metalográfica	26
3.3.4	Procedimento de Avaliação Microestrutural	32
3.3.5	Procedimento de Avaliação de Dureza.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	CONDIÇÕES LIMITANTES	36
4.2	Análise Microestrutural	36
4.3	Análise de Dureza	38
5	CONCLUSÃO	41
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	42
7	REFERÊNCIAS	43

1 INTRODUÇÃO

Indústrias com fabricação de etanol e açúcar são abundantes no Brasil, onde grande parte dos processos produtivos utilizam vapor para realização do trabalho, sendo este vapor gerado a partir de água tratada, onde seu produto gerado em grande maioria está em temperaturas e pressão acima do que o processo necessita, sendo assim necessário a adequação deste vapor de forma a atender o mesmo.

Para atender a estes requisitos, válvulas condicionadoras, e no caso deste estudo, válvula dessuperaquecedora de vapor, como mostrado na Figura 1 são utilizadas como forma de atender os padrões e controlar esta temperatura ou dessuperaquecimento, partindo da injeção de água atomizada, onde a injeção ocorre em altas velocidades através de bicos spray, conforme Figura 2.

Figura 1 – Válvula Dessuperaquecedora de vapor.



Fonte: <https://www.hiter.com.br/produtos/serie-da/>.

Figura 2 – Bicos Spray.



Fonte: Autoria Própria.

Estes bicos são fabricados a partir de materiais com resistência a corrosão, os aços

inoxidáveis, onde os elementos da liga como cromo (Cr) e/ou molibdênio (Mo) possuem a capacidade de formar uma camada aderente e dura ao se combinar com o oxigênio (O), porém como esta injeção de água ocorre em altas velocidades, esta camada é deteriorada, possibilitando que o material corra, em um fenômeno denominado “erosão-corrosão” (TECNOLOGIAS FISHER, 2014).

Com o mau funcionamento do equipamento, os processos podem perder sua efetividade por não atenderem os padrões que elas requerem, sendo necessário em casos mais extremos, a parada para manutenção do equipamento e assim de todo processo, causando um custo elevado para a empresa e reduzindo as horas de funcionamento do processo, com perdas significativas de produção.

Para este problema ocasionado através da Corrosão Acelerada por Vazão (FAC - *Flow Accelerated Corrosion*), materiais com maior resistência a corrosão podem ser utilizados, e com esta ideia, surgiu o tema deste trabalho, sendo ele a análise de tratamento térmico no aço inoxidável AISI 410 para aplicação nestes bicos spray de válvulas dessuperaquecedora de vapor, com intuito de promover uma vida útil e maior resistência a estas peças.

O aço AISI 410, pertencente à família dos aços martensíticos, possui a propriedade de alta resistência a corrosão, onde este aço pode ser temperado e revenido devido ao seu percentual de carbono em relação aos aços inoxidáveis ferríticos, austeníticos, duplex e super duplex. Com esta possibilidade de têmpera, o aço martensítico ao ser realizado o tratamento térmico aumenta a propriedade mecânica de dureza, diminuindo o desgaste por abrasão. Porém, com o aumento da dureza, este aço tende a ser mais frágeis, sendo necessário a realização do tratamento de revenimento após a têmpera.

Este revenimento visa aumentar a tenacidade e ductilidade do material com uma pequena redução do valor de dureza se comparado a têmpera, uma vez que as tensões residuais tendem a ser reduzidas ou extintas, diminuindo a fragilidade do material.

Assim, este estudo visa analisar os tratamentos térmicos de têmpera e de têmpera seguida de revenimento em relação ao aço AISI 410, verificando a mudança de microestrutura e valores de dureza de cada procedimento comparada com o material de referência.

2 DESENVOLVIMENTO

Este estudo visa analisar as propriedades microestruturais e de dureza do Aço AISI 410 comercial e tratado termicamente através do processo de têmpera em óleo e têmpera seguida de revenimento.

2.1 OBJETIVOS

Realizar a comparação através da análise microestrutural do Aço AISI 410 obtido comercialmente em relação a amostras do Aço AISI 410 tratadas termicamente através de têmpera em óleo e revenimento após a têmpera, observando as microestruturas formadas. Realizar análise de dureza das amostras do Aço AISI 410 comercial e após o tratamento térmico de têmpera e têmpera seguida de revenimento

2.2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.2.1 Aços Carbono

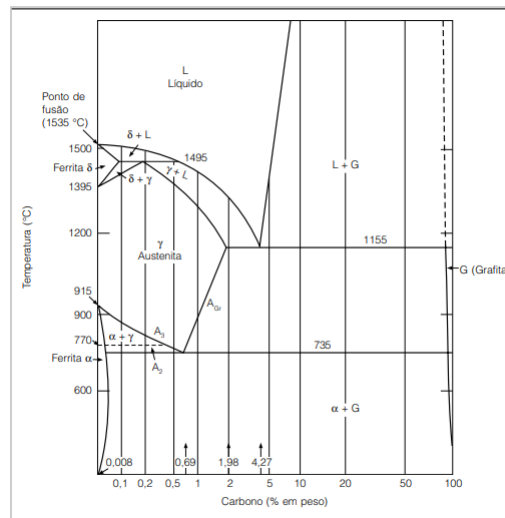
Aços carbonos são ligas oriundas da mistura de diversos elementos químicos, a fim de atender uma propriedade requisitada, mas sua denominação se dá principalmente em decorrência da mistura dos elementos Ferro-Carbono, uma vez que a observação da presença de carbono nas etapas de processamento do ferro produzia efeitos importantes sobre as propriedades. Assim originando as ligas de aço e ferro fundido, sendo uma das características mais importantes de diferenciação das duas ligas é a capacidade do aço se deformar plasticamente (COLPAERT, 2015).

Segundo Silva e Mei (2014), as propriedades de um aço ocorrem através da combinação da sua estrutura e da sua composição química. Esta composição química, está ligada diretamente ao percentual de carbono na liga, e que entidades regulamentadoras, como por exemplo, a AISI (American Iron and Steel Institute), utilizam para identificar os respectivos aços com os algoritmos bases para nomear os mesmos. Com a mistura ferro-carbono combinadas, apresentando-se em equilíbrio termodinâmico, originam diversas fases para as respectivas temperaturas conforme apresentado na Figura 3.

Este diagrama apresenta as fases formadas, sendo no caso deste trabalho devido ao percentual de carbono do material e a faixa de temperatura, uma fase de austenita, sendo a fase $\alpha + G$ a fase que apresenta a ferro-alpha ou ferrita junta a grafita, $\alpha + \gamma$ a fase que apresenta a ferrita junta a austenita, apresentando fases líquidas próximo a temperatura de fusão e acima.

O modo como os átomos de um metal se agrupa em sua estrutura cristalina definem algumas propriedades do metal, podendo ter sua estrutura na forma cúbica de face centrada (CFC), assim como estrutura cúbica de corpo centrado (CCC) e a estrutura hexagonal compacta (HCP). Estas ligas raramente são compostas por apenas uma só estrutura cristalina (COLPAERT, 2015).

Figura 3 – Diagrama de equilíbrio ferro-grafita.



Fonte: Adaptado SILVA E MEI (2014).

2.2.2 Aços Inoxidáveis

Os aços inoxidáveis foram desenvolvidos devido a necessidade de se ter um material resistente a corrosão. Sendo relatados através de duas experiências feitas por Harry Brearley, com a inclusão de cromo em um percentual de 12, 8% e 0, 24% de carbono, nascendo assim os aços inoxidáveis martensíticos. Já Christian Dantsizen, realizou experiências com baixo teor de carbono e cromo, utilizando-se da aluminotermia para obter o cromo e ferrocromo, assim sendo descoberto os aços inoxidáveis ferríticos. Os aços inoxidáveis Austeníticos V2A foram criados através de experiências envolvendo o Dr. Breno Straub e Dr. Eduard Mauer, com uma liga contendo 7% de níquel, 0, 5% de carbono e 20% de cromo (PADILHA E GUEDES, 2004).

Em geral, são denominados aços inoxidáveis com um teor de cromo acima de 12%, garantindo a resistência a corrosão, além de maior capacidade de resistir a temperaturas elevadas sem perdas da propriedade mecânica, podendo ser eles o martensíticos, com percentual de cromo entre 11 a 18%, os Austeníticos que possuem de 16 a 30% de cromo e de 8 a 35% de níquel, os ferríticos que possuem valores de cromo maiores que os martensíticos e menor percentual de carbono, os endurecidos por precipitação, que sofrem endurecimento por precipitação dos elementos de ligas (SILVA E MEI, 2014).

Assim como existem os aços Duplex e Superduplex, que possuem em sua microestrutura duas fases no sistema Fe-Cr-Ni, sendo estas fases a Ferrita e a austenita (PARDAL, 2012). Sua capacidade de anticorrosão ocorre através da formação de uma fina camada aderente e que protege o material contra corrosão, onde o cromo presente na liga é o principal fator de formação desta camada.

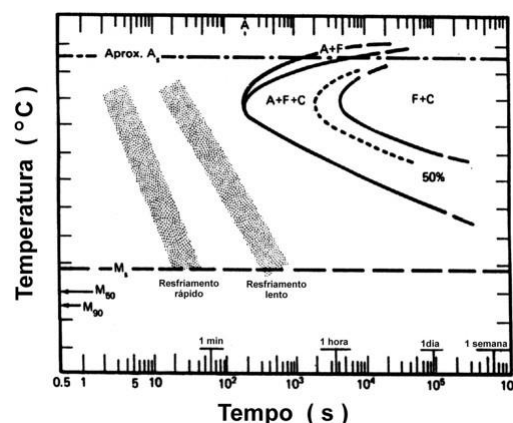
2.2.3 Aço Inox AISI 410

O aço inox AISI 410 faz parte da categoria de aços inoxidáveis martensíticos, podendo ser tratados termicamente através da têmpera e revenimento, e como possuem elevado percentual de cromo, estes possuem uma temperabilidade elevada, assim como aumento da resistência ao amolecimento no revenimento, sendo utilizados em diversas aplicações com elevadas temperaturas, como por exemplo, bombas, rotores, componentes de válvulas. Ao ter sua temperatura elevada, este tipo de aço são austenitizados, onde os carbonetos são dissolvidos e assim sendo obtidos a austenita uniforme e seus grãos controlados garantem a tenacidade do material. Com o aumento de teor de carbono na liga, sua dureza será maior, porém perderá tenacidade e soldabilidade (SILVA E MEI, 2014).

Segundo Carbó (2008), os aços martensíticos, mais precisamente o Aço AISI 410 possui um percentual de carbono máximo é de 0, 15%, no entanto, ao ser temperado, apresentará uma dureza menor em relação ao Aço Inox AISI 420. Com os percentuais de carbono e cromo presentes, estes elementos de liga permitem a mudança de fases, tornando-se austeníticos nas temperaturas entre 950°C e 1000°C, e ao serem resfriados se transformam em martensita (COUTINHO, 1992).

Assim os tratamentos térmicos de tempera e revenimento podem ser realizados nestes aços martensíticos, elevando sua capacidade ao desgaste, dureza e resistência mecânica, diferente dos aços austeníticos e ferríticos (KRAUSS, 1990). A Figura 4 apresenta as curvas TTT – Tempo, temperatura e transformação para o Aço AISI 410 em relação ao teor de carbono presente na liga, podendo-se observar que aumentando o teor de cromo velocidades de resfriamento mais baixas podem ser utilizadas.

Figura 4 – Diagrama TTT do Aço AISI 410.



Fonte: Adaptado Welding Handbook (1982).

2.2.4 Tratamentos Térmicos

Tratamentos térmicos são procedimentos realizados através de aquecimento e resfriamento no material, visando influenciar nas propriedades mecânicas. Estes tratamentos abrangem

uma extensa faixa de temperatura, desde subzero a elevadas temperaturas, assim como diversas faixas de temperatura de resfriamento (SILVA E MEI, 2014).

Os instrumentos empregados para realizar o procedimento, como termômetros, cronômetros, forno, devem estar calibrados e mantidos, como forma de garantir a qualidade dos tratamentos térmicos (COLPAERT, 2015).

2.2.5 Normalização

A normalização tem como objetivo obter uma estrutura homogênea e refinada, de modo que as propriedades de tenacidade e resistências sejam melhoradas. Em vários casos, a normalização é empregada anteriormente a outro tratamento térmico, de modo a se obter uma estrutura uniforme (COLPAERT, 2015).

2.2.6 Reozimento

O procedimento de reozimento visa realizar o alívio de tensões do material, com aumento da tenacidade e ductilidade em relação a diminuição da resistência. Este reozimento deve ser realizado em uma temperatura elevada por um longo período e resfriado de forma lenta (CALLISTER, 2008).

Assim como a normalização, o aquecimento, temperatura, tempo de permanência no patamar da temperatura e seu resfriamento, devem ser adequados, como forma de assegurar uma efetividade do procedimento e assim atingir as propriedades desejadas.

O reozimento pleno, visa alterar os carbonetos da microestrutura, tornando-se homogêneos, em uma temperatura de aquecimento de cerca de 50°C acima da zona crítica e um resfriamento lento. Na esferoidização ou reozimento subcrítico, o aquecimento ocorre de forma prolongada, porém abaixo da zona crítica, tendo este reozimento o objetivo de aumentar a usinabilidade dos aços de alto percentual de carbono (CHIAVERINI, 2005).

2.2.7 Têmpera

A têmpera tem como objetivo combinar a resistência e tenacidade, de modo que seja adequado a utilização. Sua estrutura que atende esta combinação é a martensita revenida, onde a operação é realizar o resfriamento de aço rapidamente após a peça ter sua temperatura de patamar mantida por um determinado tempo, depois da austenitização, com intuito de impedir a transformação da estrutura em perlitas e bainita (CALLISTER, 2002).

Para realizar o resfriamento do aço, os meios utilizados podem ser a água, sendo pura ou com adição de sal, óleos e o ar. Porém tensões podem surgir em decorrência da contração do aço com a realização do resfriamento, e com a magnitude destas tensões, a peça em questão pode sofrer com rupturas e empeno (SILVA E MEI, 2014).

De acordo com Silva e Mei (2014) a realização da têmpera em meio líquido acontece em três passos, sendo eles a formação de um filme constante de vapor através da peça, que tem como função isolar a mesma termicamente. Como a água “comum” é utilizada em alguns casos como meio de resfriamento, este filme de vapor ocorre de maneira prolongada, e um modo de evitar este filme prolongada é através da agitação da peça. Após o filme de vapor implode e consequentemente aumenta a taxa de resfriamento, ocorre formação de bolhas de vapor, que devem ser evitadas também através da agitação das peças, já que que as bolhas tendem a se manter sobre determinados pontos por períodos maiores, assim tornando seu resfriamento mais lento naquele local.

Por fim, quando não se ocorre mais a formação de bolhas, já que a superfície da peça está abaixo da temperatura de ebulição do líquido utilizado, o seu resfriamento ocorrer por meio da convecção e condução, sendo assim que o período de resfriamento vai depender a taxa de fluxo de calor do meio, onde a taxa de resfriamento reduzirá se o líquido possuir maior viscosidade.

O modo de mensurar esta têmpera é através da temperabilidade, de modo que se busca uma mínima ou nula variação de dureza da superfície da peça até seu núcleo, e se obtém com a formação de martensita em toda sua estrutura, ligada diretamente com a velocidade crítica de têmpera. Aços com elementos de liga possuem uma temperabilidade maior, uma vez que as transformações são atrasadas, já que sua velocidade crítica é menor em decorrência do maior percentual destes elementos (COLPAERT, 2015).

Segundo Chiaverini (2005), a temperatura para têmpera dos aços e seu tempo de encharque são apresentadas na Figura 5, assim como a temperatura de revenimento e seu tempo, demonstrando quais valores são esperados para estes tratamentos.

Aumentando-se a velocidade de resfriamento da austenita, esta velocidade pode não permitir que o carbono seja retirado desta solução, formando assim uma solução supersaturada, esta solução denominada martensita.

Figura 5 – Temperatura e Tempo para Têmpera e Revenimento

Tipo AISI	Têmpera			Revenido		Propriedades mecânicas médias, após o tratamento térmico							
	Temperatura °C	Tempo min.	Meio de resfriamento	Temperatura °C	Tempo h	Dureza Brinell	Limite resistência à tração		Limite de escoamento		Alongamento %	Resistência ao choque	
							kgf/mm ²	MPa	kgf/mm ²	MPa		kgfm	J
403	925/1000	15 a 30	óleo	225/375	1 a 3	360/380	130	1280	98	960	15	2,8/6,2	27,5/60,8
410	925/1000	15 a 30	óleo	225/375	1 a 3	360/380	130	1280	98	960	15	2,8/6,2	27,5/60,8
414	975/1050	15 a 30	óleo ou ar	225/400	1 a 3	370/400	137	1340	102	1000	15	4,1/8,3	40,2/81,4
416	925/1000	15 a 30	óleo	225/375	1 a 3	360/380	130	1280	98	960	12	2,8/6,2	27,5/60,8
431	975/1075	15 a 30	ar, óleo, água	225/400	1 a 3	370/400	137	1340	102	1000	17	4,1/8,3	40,2/81,4
420	975/1050	15 a 30	ar, óleo quente	150/375	1 a 2	470/530	175	1720	158	1550	8	1,1/2,1	10,8/20,6
440A	1000/1075	15 a 30	idem	150/375	1 a 2	500/560	189	1850	182	1790	5	0,4/0,8	3,9/8,85
440B	1000/1075	15 a 30	idem	150/375	1 a 2	520/590	196	1920	189	1850	3	0,3/0,7	2,9/6,9
440C	1000/1075	15 a 30	idem	100/375	1 a 2	540/620	200	1960	193	1890	2	0,3/0,7	2,9/6,9

Fonte: Adaptado Chiaverini (2005).

2.2.8 Revenimento

Com o procedimento de têmpera realizado, tensões residuais podem surgir, reduzindo a tenacidade e ductilidade, assim sendo necessário o emprego do revenimento, com objetivo de

reduzir estas tensões e assim tornar o material adequado a sua utilização, reduzindo a dureza e aumentando a ductilidade (COLPAERT, 2015).

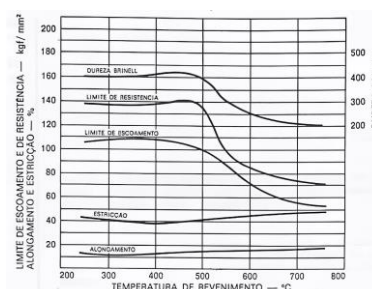
Segundo Callister (2008), a martensita revenida apresenta dureza e resistência semelhante a martensita sem realização do revenimento, com aumento da tenacidade e ductilidade. O procedimento a ser realizado no revenimento é novamente aquecer a peça de forma uniforme, porém a uma temperatura abaixo da austenitização, com um tempo adequado para toda o material estar equalizado a mesma temperatura, e assim obter as propriedades mecânicas desejadas. Como estas mudanças de propriedades estão ligadas a temperatura e o tempo de revenimento, os primeiros minutos ocorrem uma queda brusca de dureza, onde a partir de duas horas esta perda não é expressiva (SILVA E MEI, 2014).

Para esta dureza ser mantida e ocorrer o aumento da ductilidade e tenacidade do material, o revenimento deve assegurar uma matriz ferrítica com cementita dispersa de forma fina, onde a fase ferrítica garante tenacidade e ductilidade e a dureza através da cementita. No caso de ligas, um resfriamento rápido é requerido, devido alguns elementos produzir precipitados em volta dos grãos, causando um aumento da temperatura de transição da fase dúctil-frágil, tornando assim o material mais frágil (NUNES e KREISCHER, 2010).

O revenimento é obtido quando o material sofre o aquecimento abaixo da temperatura de eutetóide, que no caso do Aço AISI 410 está na faixa entre 225 a 375°C segundo Chiaverini (2005), com um tempo de encharque de 1 a 3 horas, conforme Figura 3.

Já a Figura 6 apresenta o diagrama de revenimento do aço AISI 410, com os valores das propriedades mecânicas esperadas conforme a temperatura utilizada no tratamento térmico de revenimento.

Figura 6 – Diagrama de Revenimento do Aço AISI 410



Fonte: Adaptado Villares Metals (2004).

2.2.9 Válvula Dessuperaquecedora de Vapor e Bicos Spray

As válvulas dessuperaquecedora de vapor tem papel fundamental na indústria de produção de álcool, assim como demais indústrias que utilizam o vapor, já que cada processo necessita de uma temperatura específica para operar de forma segura e com eficiência.

Como não é possível que cada processo tenha uma fonte geradora de vapor que atenda

a sua necessidade, encarecendo os custos, uma fonte central, no caso a caldeira, produz o vapor necessário para realizar o trabalho dos processos, e como forma de resfriar este vapor, estas indústrias utilizam a válvula dessuperaquecedora de vapor. Estas válvulas visam reduzir a temperatura até o ideal para a necessidade do processo, aumentando eficiência ao todo e reduzindo custos com instalação de caldeiras secundárias e equipamentos com maior resistência.

Devido as velocidades de vapor e temperatura que os equipamentos operam, materiais inoxidáveis são utilizados devido a sua grande resistência a corrosão e resistência mecânica, variando qual o aço inoxidável utilizado de acordo com as necessidades.

O modo de resfriamento deste vapor, é realizado através da injeção de água na linha de vapor, onde esta injeção ocorre através dos bicos spray presente na válvula, onde estes bicos spray são fabricados através dos aços AISI 410 ou AISI 420, devido a sua elevada resistência mecânica e de corrosão.

Estes bicos spray devido a velocidade que a água é injetada no sistema, assim como devido a temperatura do vapor, mesmo possuindo uma resistência elevada, sofrem desgaste por abrasão em seus orifícios, acarretando a perda de controle desta redução de temperatura e conseqüentemente, redução da eficiência do processo, sendo necessário a parada do processo em algumas situações, para manutenção e troca destes bicos spray, o que ocasiona custos elevados para indústria, já que o processo produtivo não está rodando.

Uma forma de reduzir estes desgastes por abrasão é através da realização de tratamentos térmicos, que visam alterar a microestrutura do material e conseqüentemente mudança nas propriedades mecânicas, sendo neste caso a propriedade de resistência a ideal, e devido ao aço empregado neste componente ser um aço martensítico, ele possui capacidade de realizar tratamentos térmicos, assim sendo possível mudar a propriedades mecânicas como forma de reduzir o desgaste por abrasão.

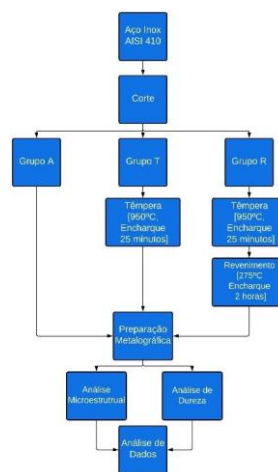
3 METODOLOGIA

A barra do aço inoxidável AISI 410 obtida comercialmente é cortada e, separada através dos grupos A, T e R, onde cada grupo possui 3 amostras, como forma de comparar e analisar possíveis divergências apresentadas em amostras do mesmo grupo, sendo totalizada 9 amostras ao todo, onde as amostras do grupo A pertence as amostras que não receberam procedimento de tratamento térmico, exigindo apenas a preparação metalográfica para as análises.

Já as amostras do grupo T, representam as 3 amostras que sofreram o procedimento de têmpera, e por fim o grupo R representa as amostras que passaram pelo procedimento de têmpera, assim como as amostras do grupo T, porém após esta têmpera, as amostras passaram pelo procedimento de revenimento.

Após as amostras do grupo T e R realizarem os tratamentos térmicos, elas partem assim como as amostras do grupo A, para a fase de preparação metalográfica, onde esta etapa conta com os procedimentos de embutimento a frio, lixamento, polimento e ataque químico, partindo-se assim para as análises microestruturais e de dureza, onde o resultado de cada grupo é comparado aos demais grupos, sendo possível averiguar quais os resultados e conclusões que obtemos. Assim apresentado conforme Figura 7, a metodologia utilizada para realização dos procedimentos.

Figura 7 – Fluxograma de processos a ser realizado.



Fonte: Autoria Própria.

3.1 Materiais Utilizados

Para a realização dos tratamentos térmicos de têmpera e revenimento, foi utilizado o aço AISI 410 obtido comercialmente, devido a sua facilidade do mesmo ser encontrado no “mercado”

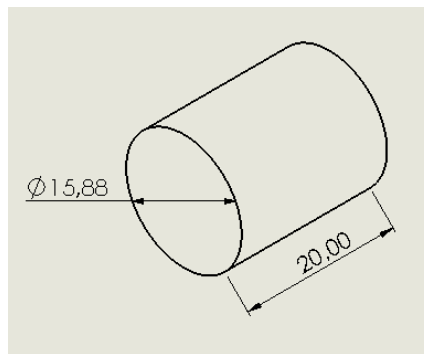
e vastas utilizações no segmento industrial, assim como em função dos bicos spray das válvulas dessuperaquecedora de vapor utilizarem este aço.

Foi utilizado um óleo hidráulico SAE 90 obtido comercialmente, para a imersão das amostras após a têmpera, como forma de realizar o resfriamento

3.2 Procedimento de Preparação

As amostras do Aço AISI 410 foram cortadas com dimensões de aproximadamente 20 mm de comprimento, sendo esta barra circular na medida de 5/8” de polegada (15,88mm) encontrada comercialmente, conforme Figura 8.

Figura 8 – Desenho da Amostra.



Fonte: Autoria Própria.

Esta barra circular obtida comercialmente, apresenta uma composição química de acordo com a empresa Villares Metals, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Composição Química do aço inox AISI 410

Elementos	C	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Si	Outros
Composição [%]	0.13	Máx 1.00	12.00	-	-	-	≤ 1.00	-

Fonte: Adaptado Villares Metals (2023).

As amostras de cada grupo foram cortadas em sua seção transversal, embutidas a frio através de uma resina acrílica autopolimerizável, onde posterior a este embutimento, cada grupo foi classificado conforme a Tabela 2, identificando-as conforme os procedimentos realizados.

Tabela 2 – Composição Química do aço inox AISI 410

Grupo	Procedimento Térmico
A	Sem Tratamento Térmico
T	Têmpera 950°C / Encharque 25 minutos / Óleo SAE 90
R	Têmpera 950°C / Encharque 25 minutos / Óleo SAE 90 Revenimento 275°C / Encharque 2 horas

Fonte: Autoria Própria.

As amostras do grupo A, foram identificadas como A1, A2 e A3, repetindo-se os passos do grupo T, sendo assim demarcadas como T1, T2 e T3, e por fim a amostras do grupo R, nomeadas como R1, R2 e R3.

3.3 Tratamentos Térmicos Realizados

3.3.1 Tratamento Térmico de Têmpera

As amostras do grupo T e R passaram pelo processo de têmpera, através do forno mufla, conforme Figura 9, com capacidade de aquecimento de até 1200°C. Para este procedimento de têmpera, foi escolhido uma temperatura de 950°C, dentro da faixa de temperatura estipulada por Chiaverini (2005), com tempo de encharque de 25 minutos.

Figura 9 – Forno Mufla.



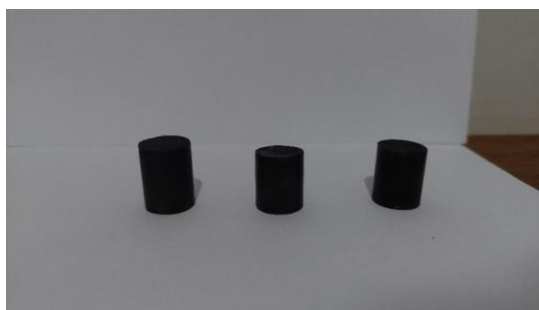
Fonte: Autoria Própria.

Realizado este tempo de encharque, as amostras foram retiradas do forno e sofreram um rápido resfriamento em meio líquido, com a utilização de óleo SAE 90 obtido comercialmente,

sendo constantemente agitadas, com intuito de evitar a formação do filme de vapor e bolhas, onde isto causa uma menor taxa de resfriamento, podendo-se formar fases indesejáveis e que causam perda das propriedades desejadas.

O resfriamento é observado através de um termômetro digital infravermelho, onde as amostras foram retiradas do recipiente de resfriamento ao atingir a temperatura ambiente. Após as amostras terem sido retiradas do óleo, elas foram limpas retirando o excesso presente nelas, sendo possível verificar que estas amostras, conforme Figura 10, apresentam aspecto escurecido, sem diferenças de cores aparente, possibilitando analisar que as amostras não apresentam pontos moles, que poderiam dificultar nas análises a serem realizadas.

Figura 10 – Aspectos das Amostras do Grupo T após Têmpera.



Fonte: Autoria Própria.

3.3.2 Tratamento Térmico de Revenimento

Já para as amostras do grupo R passaram pelo processo de têmpera seguida de revenimento, uma vez que desejamos analisar a microestrutura e dureza das amostras tratadas termicamente em relação as amostras sem tratamento. Para realizar o revenimento, elas foram novamente alocadas no forno mufla, conforme Figura 11, com intuito de realizar o aquecimento abaixo da temperatura de eutetóide, onde no caso do aço AISI 410 está na faixa entre 225 e 375°C segundo Chiaverini (2005), com um tempo de encharque de 1 a 3 horas, conforme Figura 5.

Figura 11 – Forno Mufla Revenimento.



Fonte: Autoria Própria.

Para este procedimento de revenimento, foi escolhido uma temperatura de 275°C e tempo de encharque de 2 horas. Após este tempo de encharque, as amostras foram resfriadas lentamente dentro do forno até alcançar a temperatura ambiente, onde retiradas após o resfriamento, apresentaram aspecto escurecido assim como nas amostras do Grupo T, sendo as amostras do Grupo R representadas conforme Figura 12.

Figura 12 – Aspecto das Amostras do Grupo R após Revenimento.



Fonte: Autoria Própria.

3.3.3 Preparação Metalográfica

As amostras sem tratamentos térmicos após serem cortadas em sua seção transversal através da cortadora metalográfica como mostrado na Figura 13, resultando nas amostras do grupo A, conforme Figura 14. Para escolha das amostras, foram escolhidas as amostras que melhor apresentavam característica superficial após o corte. Após esta escolha, elas passaram

pelo processo de embutimento a frio com a resina acrílica autopolimerizável, com proporção de 10ml de monômetro para 30ml de polímero, sendo a Figura 15 as amostras antes do embutimento no molde de silicone utilizado.

Figura 13 – Cortadora Metalográfica.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 14 – Amostras do Grupo após Corte.



Fonte: Autoria Própria.

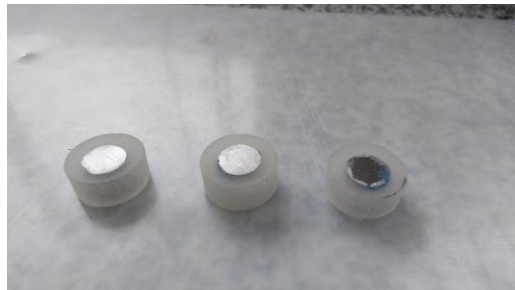
Figura 15 – Embutimento das Amostras do Grupo A em molde de silicone.



Fonte: Autoria Própria.

Após o embutimento, as amostras conforme a Figura 16 tornaram-se firmes e de fácil manuseio.

Figura 16 – Amostras do Grupo A após Embutimento.



Fonte: Autoria Própria.

Já as amostras que foram realizados os tratamentos térmicos, foram cortadas novamente na sua seção transversal, conforme Figura 17, onde foram escolhidas de acordo sua característica superficial. Posterior a este corte e escolha, estas foram embutidas, repetindo-se os passos das amostras sem tratamento térmico, resultando nas amostras da Figura 18.

Figura 17 – Amostras do Grupo T após Corte



Fonte: Autoria Própria.

Figura 18 – Amostras do Grupo T após Embutimento



Fonte: Autoria Própria.

Nas amostras que foram realizados o tratamento térmico de revenimento posterior ao tratamento de têmpera, os procedimentos foram repetidos assim como nas amostras sem tratamento térmico e tratamento de têmpera, sendo a Figura 19 as amostras revenidas cortadas, onde estas foram escolhidas de acordo com a característica superficial, realizando o embutimento, resultando nas amostras conforme Figura 20.

Figura 19 – Amostras do grupo R após Corte



Fonte: Autoria Própria.

Figura 20 – Amostras do Grupo R após Embutimento



Fonte: Autoria Própria.

Posterior ao embutimento de todas as três caracterizações de amostras, estas amostras passaram pelo processo de lixamento, com utilização das lixas de granulometria 120, 220, 400, 600 e 1200, de modo a retirar riscos de sua face, assim como tornar o mais plana possível. Em seguida a este lixamento, as amostras foram polidas com suspensão de Alumina (Al_2O_3 – óxido de alumínio) de $1\mu m$.

Estas etapas de lixamento e polimento foram realizadas através da Politriz lixadeira de velocidade variável, conforme Figura 21. Na primeira etapa de lixamento, foi utilizada a lixa d'água 120, com uma velocidade de 1020 rotações por minuto (rpm) na politriz lixadeira e um fluxo contínuo de água. Mudando-se para a lixa 220, as amostras foram rotacionadas 90° , repetindo este processo de rotação para cada mudança de lixa, até a final de 1200. Após estes polimentos, as impurezas presentes nas amostras foram retiradas com água, seguida de limpeza com álcool e secagem com algodão.

Figura 21 – Politriz lixadeira de velocidade variável.



Fonte: Autoria Própria.

Posterior a este polimento, as amostras ao serem observadas, não possuíam riscos perceptíveis e sua superfície apresentou aparência espelhada, conforme Figura 22.

Figura 22 – Amostra R1 após polimento.

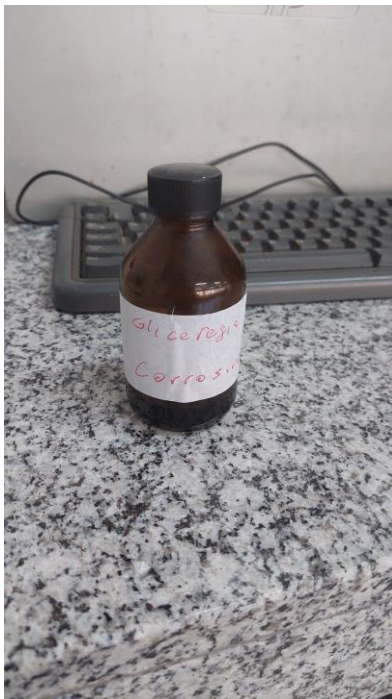


Fonte: Autoria Própria.

Após o polimento, estas foram atacadas quimicamente através de um reagente denominado Glicerégia, conforme Figura 23, formulado através de ácido hidrocloreídrico (HCl), glicerol ($C_3H_8O_2$) e ácido nítrico (HNO_3), realizando-se a análise metalográfica do material após este ataque. O uso da glicerégia é recomendado para revelação de contornos dos grãos da estrutura, além de carbonetos presentes na mesma (SMALL, 2008).

Este ataque químico é uma técnica de revelação da microestrutura presente nas amostras, onde o reagente tem a função de atacar a microestrutura de modo a revelar o formato da estrutura. Para cada material é necessário variar a composição, devido a alguns reagentes possuírem maiores capacidades de revelar a microestrutura em relação a outro reagente. Como no caso presente de aço inoxidável, o reagente corrosivo deve ter um composto com maior capacidade de corrosão devido a propriedade do material a criar uma camada antioxidante quando reage com o oxigênio, formando assim a camada protetora.

Figura 23 – Amostra R1 após polimento.



Fonte: Autoria Própria.

3.3.4 Procedimento de Avaliação Microestrutural

Este procedimento de análise metalográfica foi realizado com o auxílio do microscópio óptico, sendo este microscópio o modelo ISM-M1000, conforme Figura 24, onde a visualização da microestrutura do material foi feita através de um computador está interligado ao microscópio, transmitindo a imagem e facilitando a visualização.

Figura 24 – Microscópio Óptico ISM-M1000.



Fonte: Autoria Própria.

Foram utilizadas as lentes objetivas com magnificação 100x, 200x e 400x. Estas mudanças de lentes facilitam a visualização da microestrutura, uma vez que conforme a mudança de estrutura, características e propriedades são alteradas, sendo assim necessário uma análise microestrutural precisa.

Estas amostras foram posicionadas sobre a base do microscópio, que possui a opção de mudança nas direções, onde foram retiradas as imagens das microestruturas entre as extremidades das amostras com a resina acrílica, assim como na parte central das amostras, buscando-se regiões onde o ataque químico teve uma maior revelação no material. Já para as mudanças de lentes, foram ajustadas a altura da mesa, de modo que seja possível uma visualização de maior qualidade de imagem da microestrutura presente na amostra.

3.3.5 Procedimento de Avaliação de Dureza

Realizado a etapa de avaliação microestrutural do Inox 410 para as amostras tratadas termicamente e as amostras referência, estas amostras passaram pela etapa de avaliação de sua respectiva dureza, através de um durômetro de bancada Rockwell, como ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Durômetro Rockwell.



Fonte: Autoria Própria.

Para as amostras sem tratamento térmico, as medições ocorreram no método Rockwell B, onde o penetrador de aço possui um formato esférico, onde a amostra é alocada sobre a bancada, aproximando este corpo de prova sobre o penetrador, zerando o relógio indicador. Ao primeiro toque da amostra no penetrador, é submetido uma pré-carga de 10 *kgf* no corpo de prova até que no relógio indicador fique na posição indicadora ideal, zerando novamente o relógio comparador. Este método de aplicar uma pré carga visa que o penetrador utilizado fique de forma constante

aplicando a carga, onde a rugosidade não visível que o material apresenta, pode acarretar o deslocamento do penetrador, resultando em inconsistência nos valores apresentados.

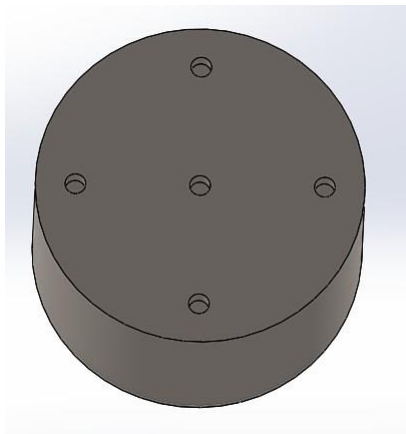
Para o método Rockwell B, a carga aplicada posteriormente é de 100 *kgf*, onde os valores no relógio ficaram estáticos após alguns segundos da aplicação da carga, sendo retirada a carga maior e visualizando o valor obtido no indicador, na escala apropriada. Foram realizado uma medição para a amostra de referência, porém o valor obtido foi menor que 10 HRC.

Devido a este fato, os valores de dureza das amostras referência sem tratamento térmico foram retiradas em HRB, onde foram convertidos os valores após a medição, como forma de analisar o ganho percentual que uma amostra tratada termicamente possui em relação a uma sem tratamento.

Para as amostras com tratamento de têmpera e têmpera seguida de revenimento, o método utilizado foi o Rockwell C (HRC), onde o penetrador é no formato cônico com ângulo de 120°, fabricado em diamante. Esta medição ocorre da mesma maneira que o método de Rockwell B (HRB), porém sua segunda e maior carga é de 150 *kgf* segundo metodologia, comparado a carga de 100 *Kgf*.

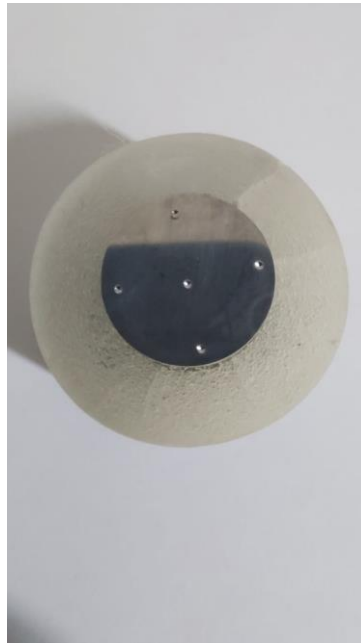
Para esta medição foram escolhidos 5 pontos em cada amostras, sendo um ponto central e quatro pontos em suas extremidades (bordas), conforme esquematizado na Figura 26 e retirado na Figura 27, porém foram utilizados apenas o valor central e de duas bordas, descartando-se valores extremos, de maior e menor dureza, obtendo resultados mais consistentes.

Figura 26 – Pontos de Medição de Dureza Esquematizado.



Fonte: Autoria Própria.

Figura 27 – Pontos de Medição de Dureza .



Fonte: Autoria Própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CONDIÇÕES LIMITANTES

Para este ataque químico no AISI 410, o reagente mais adequado é o reagente Vilella, composto por ácido clorídrico (HCl), álcool etílico (C_2H_6O) e ácido pícrico ($C_2H_3N_3O_7$), porém sua obtenção é de difícil acesso devido a este ácido pícrico ser um composto de difícil acesso, uma vez que este composto é altamente explosivo, sendo assim não encontrado na universidade, optando-se pelo ataque em glicerégia.

Este reagente em vista da glicerégia, tem maior poder de revelação da microestrutura martensítica, como no caso do aço AISI 410, assim como revela a austenita em aços martensíticos temperados, sendo o caso desse trabalho.

4.2 Análise Microestrutural

Realizado o ataque químico, foi possível verificar parcialmente a microestrutura presente em cada amostra, sendo elas sem tratamento térmico, têmpera e têmpera seguida de revenimento, através da microscopia óptica.

Nas amostras sem tratamento térmico, como mostra a Figura 28, foi possível verificar a o contorno dos grãos da martensita, uma vez que este aço pertence a esta família, mesmo que seus grãos não estejam tão indicados, devido ao ataque químico não ter sido o ideal, possuindo ainda carbonetos, sendo estes os pontos escuros presentes na figura.

A martensita possui uma estrutura tetragonal de corpo centrado (TCC), sendo ela uma alteração na forma da ferrita, que possui estrutura cúbica de corpo centrado (CCC).

Figura 28 – Amostra A2 400x.



Fonte: Autoria Própria.

Como no caso do AISI 410, os aços martensíticos apresenta um maior percentual de carbono se comparados a outros aços inoxidáveis, tendendo assim a apresentar maior dureza.

Para as amostras que sofreram o processo de têmpera, como mostra a Figura 29, sua microestrutura martensítica apresenta-se na forma de ripas agulhadas, sendo possível sua visualização de forma mais clara em relação a amostra sem tratamento térmico devido ao ataque químico não ter sido o ideal para o material.

Figura 29 – Amostra T2 400x.



Fonte: Autoria Própria.

Porém a martensita temperada é extremamente dura e frágil (SILVA E MEI, 2014), já que possuem alta tensões internas, aumentando os riscos de trincas, sendo assim necessário a realização do revenimento.

Já nas amostras revenidas após a têmpera, conforme a Figura 30, foi possível visualizar maior ocorrência de carbonetos, isto ocorre devido ao tempo e temperatura de resfriamento, onde estes carbonetos não são capazes de dissolver. Se comparado aos carbonetos presentes nas amostras sem tratamento térmico, estes estão distribuídos de forma mais organizada e suavizada.

Como o revenimento busca reduzir a dureza do material com aumento de ductilidade e tenacidade, tornando assim mais adequado sua utilização, a sua a faixa de temperatura utilizada neste trabalho visa reduzir a resistência mecânica se comparada a apenas o tratamento de tempera, porém com uma resistência mecânica maior se comparado ao revenimento realizado em altas temperaturas, onde busca-se maiores valores tenacidade e ductilidade com redução da resistência.

Figura 30 – Amostra T2 400x.



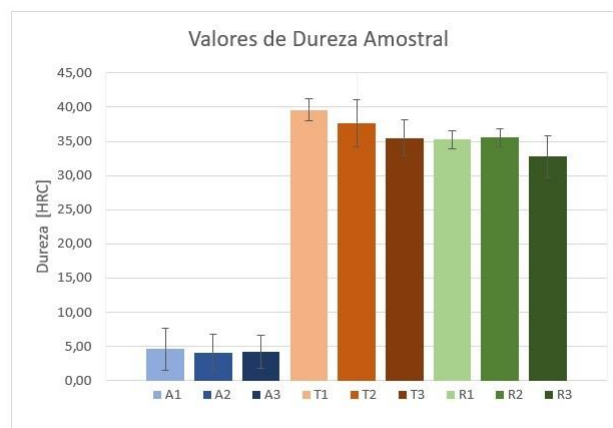
Fonte: Autoria Própria.

4.3 Análise de Dureza

Na retirada de dados das amostras sem tratamento térmicos, os valores obtidos foram na escala Rockwell B, devido aos valores observados na escala Rockwell C estarem abaixo de 10 HRC, tornando-se necessário assim sua conversão para Rockwell C após a medição em HRB, podendo assim verificar uma real magnitude de como o tratamento térmico afeta a dureza do material.

Com estes dados, foi possível realizar um gráfico comparativo de cada amostra e seu respectivo procedimento conforme Figura 31, podendo assim ter uma real noção de como os procedimentos de tratamento térmico potencializou o aumento de dureza do material em relação a ele sem qualquer tratamento.

Figura 31 – Gráfico de Dureza por Amostra.



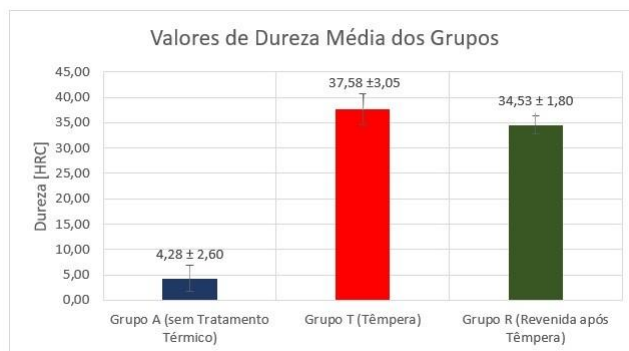
Fonte: Autoria Própria.

Conforme os dados da Figura 32, observa-se que o tratamento térmico surtiu efeito na dureza do material, assim como o tratamento de revenimento reduziu a dureza em relação a

tempera, porém sua tenacidade e ductilidade não foi possível analisar devido aos equipamentos disponíveis.

Os valores obtidos de desvio padrão e assim a dispersão, foi através de método de desvio padrão amostral, onde é calculado a média dos valores de cada amostra e assim calculado o seu desvio padrão, obtendo-se assim a dispersão dos valores.

Figura 32 – Gráfico de Dureza Média dos Grupos.



Fonte: Autoria Própria.

Sendo assim, os resultados obtidos na medição de dureza estão condensados, conforme Tabela 3, devido a grande quantidade de dados retirados das amostras, sendo estes valores calculados a partir da média de cada grupo, onde o Grupo A representa as amostras que não receberam tratamento térmico, as amostras do Grupo T as amostras realizadas têmpera, e por fim, as amostras do grupo R, que passaram pelo tratamento térmico de revenido após a realização da têmpera. Para o valor média das amostras sem tratamento térmico, este valor ficou por volta de 85,5 HRB, sendo necessário a conversão para a escala HRC, com intuito de se ter uma real noção da mudança de dureza que os tratamentos térmicos proporcionaram ao aço Inox AISI 410.

Tabela 3 – Valores de Dureza Média dos Grupos.

Média das Amostras	Grupo A	Grupo T [Têmpera]	Grupo R [Revenida após Têmpera]
Média [HRC]	4.3 ± 2.6	37.6 ± 3.05	34.5 ± 1.8

Fonte: Adaptado Villares Metals (2023).

Os valores base de dureza, tanto do grupo A, quanto dos grupos T e R estão dentro dos valores esperados de acordo com Chiaverini (2005) e outras literaturas, sendo os valores para o grupo T maiores em relação aos demais, devido a sua estrutura martensítica, enquanto o grupo R reduziu o valor em relação ao grupo T, devido a realocação do carbono que sai da estrutura martensítica para outros tipos de ferrita, e para o grupo A, onde ocorre pouco a alocação de carbono para a martensita formada.

Em função das dimensões das amostras, não se observou grande diferença na dureza ao longo de toda a amostra.

5 CONCLUSÃO

A partir dos resultados observados, pode-se afirmar que os tratamentos térmicos cumpriram a função no aumento da resistência mecânica do aço AISI 410.

A análise microestrutural revelou uma microestrutura martensítica para as amostras sem tratamento. Nas amostras temperadas em óleo, observou-se também uma estrutura martensítica em forma de agulhas e ripas e nas amostras temperadas e revenidas, uma estrutura martensítica com carbonetos dissolvidos na matriz.

Comprovando as mudanças microestruturais, as análises de dureza revelaram um aumento de aproximadamente 880% para as amostras temperadas e 805% para as amostras com têmpera seguidas de revenimento, valores estes condizentes com o efeito esperado dos tratamentos.

Em função dos resultados obtidos, espera-se que se aplicados nas válvulas dessuperaquecedora de vapor, estas amostras tenham um desempenho melhor que as manufaturadas apenas no aço AISI 410 sem tratamento.

A microestrutura está de acordo com as bibliografias e o que se espera da estrutura martensítica, porém sem uma visualização mais clara de suas particularidades em cada tratamento, devido a reagente indisponível no momento de realização deste trabalho.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com a realização deste trabalho, é possível posteriormente realizar estudo comparativo dos seguintes itens:

- Análise aplicação dessas peças;
- Analisar outras propriedades mecânicas, como tenacidade e ductilidade para os tratamentos térmicos de tempera e revenimento;

7 REFERÊNCIAS

- CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 7. eded. Rio de Janeiro: LTC, 2008.
- Carbó, Hector Mario.; **Aços Inoxidáveis: Aplicações e especificações**. Aperam. Disponível em: <<https://brasil.aperam.com/e-book-acos-inoxidaveis-aplicacoes-e-especificacoes/>>. Acesso em: 10/10/2022.
- CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 7 ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais - ABM, 2005. COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4 ed. São Paulo: Blücher, 2008.
- COUTINHO, C. B. **Materiais metálicos para engenharia**. Belo Horizonte: FCO, 1992. 405p.
- HITER. **Série DA**. 2023. Disponível em: < <https://www.hiter.com.br/produtos/serie-da/>>
- KRAUSS, H. **Steels heat treatment and processing principles**. Ohio: ASM International, 1990. 497p.
- NUNES, L. P.; KREISCHER, A. T. **Introdução à Metalurgia e aos Materiais Metálicos**. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 2010.
- SILVA, A. L. V. C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 3 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2014.
- PADILHA, A. F; GUEDES, L. C., **Aços inoxidáveis austeníticos: microestrutura e propriedades**. Curitiba, Editora Hemus, 2004.
- PARDAL, J. M., **Aços Inoxidáveis Superduplex. Efeitos dos tratamentos térmicos nas propriedades mecânicas, magnéticas e resistência à corrosão**. Blucher, 2012.
- SEVERIANO, Josemberg de Assis et al. **Estudo dos mecanismos de danos de válvulas de injeção de água de poços de petróleo fabricadas em aço inoxidável AISI 316 e AISI 410**. 2016.
- SMALL, K. B. (2008). **Guide to etching specialty alloys. Advanced Materials Processes**. 32-37.
- STEEL EXPRESS. **Steel Hardness Conversion Table**. 2023. Disponível em: < <https://www.steelexpress.co.uk/steel-hardness-conversion.html>>
- VILLARES METALS, **Aço Inoxidável VC 140**. Ficha técnica. Sumaré, 2004.