

DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RESFRIAMENTO DE DIFERENTES MEIOS DE EXTRAÇÃO DE CALOR E A INFLUÊNCIA SOBRE A DUREZA DO AÇO ABNT 8620.

Aline Vitória Maia de Oliveira¹, Francisco Edson N. Fraga², Liliane F. A. de Almada³

¹ Graduanda em Bel. Ciência e Tecnologia, UFERSA, Mossoró – RN. E-mail: alinnemaia@hotmail.com

² Orientador. Professor Dr. C.E. UFERSA, Mossoró – RN. E-mail: nfraga@ufersa.com.br

³ Co-Orientadora. Mestrando PPgCEM - UFERSA, Mossoró – RN. E-mail: almadalily@gmail.com

Resumo: O meio e taxa de resfriamento do aço a partir da sua temperatura austenítica influencia na microestrutura e propriedades mecânicas resultantes. O estudo sobre as taxas dos meios de resfriamento ainda é precária na literatura, de modo que seu estudo se faz necessário. No presente trabalho foram realizadas extrações de calor no aço SAE 8620 a partir da sua temperatura de austenitização, em meios de água, salmoura e ar agitados moderadamente e severamente. A partir das curvas de resfriamento verificou-se que a agitação do meio de extração de calor tem influência na severidade dos mesmos, assim como, observou-se também que a salmoura e água agitadas severamente extraíram calor no mesmo intervalo de tempo, no entanto, com diferentes taxas de resfriamento, sendo a água a maior delas, com taxa máxima de resfriamento obtida de 221,25°C/s a temperatura aproximada de 180°C. Em contrapartida, as durezas obtidas para os meios mais severos apesar de próximas, a salmoura agitada severamente possibilitou obter uma maior dureza média, que foi de 60,2 HRC. Com o presente trabalho foi possível, portanto, obter de forma satisfatória as curvas e taxas de resfriamento para ar, água e salmoura quando submetidos a condições de agitações moderadas e severas, para serem utilizadas em tratamentos térmicos por resfriamento contínuo. Palavras-chave: Taxa de resfriamento; Extração de calor; Aço ABNT 8620.

1. INTRODUÇÃO

As taxas e meios de resfriamento em que o aço é submetido têm relação direta com as microestruturas e propriedades mecânicas associadas. O conhecimento destas taxas permite prever e controlar essas propriedades. O resfriamento do aço tem como objetivo alterar sua microestrutura, partindo de uma matriz de transformação austenítica, e resfriando continuamente. Espera-se normalmente após esse processo, o aumento de dureza [1]. Alterando o meio de resfriamento para uma mesma peça, podemos compará-lo em relação à quantidade de calor extraído (severidade), microestrutura e dureza obtidos em cada um, selecionando aquele que mais se adequa as condições de serviço desejada [2]. O resfriamento inadequado da peça pode provocar modificações nas propriedades, tensões e distorções que comprometam ou até inviabilizem a aplicação [3].

No contexto de aplicação e desempenho dos aços, o aço ABNT/SAE 8620 é um aço baixa liga normalmente utilizado após o processo de cementação que, após este e tratamento térmico posterior, obtém uma elevada dureza superficial que profere uma maior resistência ao desgaste e resistência a fadiga. Aplica-se para fabricação de componentes mecânicos onde se faz necessário uma alta dureza superficial, tais como, eixo de comando de válvulas, coroas, engrenagens, pinos de pistão, etc [4]. Este processo termoquímico é relativamente complexo e apresenta um custo alto quando comparado a outros processos térmicos de endurecimento de aço. Após o processo de cementação, o aço passa a apresentar um maior grau de deformação proveniente de tensões residuais e sua composição química é alterada em função do carbono a ele adicionado [5].

Diante do exposto, o presente trabalho tem por objetivo analisar as taxas de resfriamento e durezas obtidas em diferentes meios de extração de calor sendo eles, água, salmoura e ar quando submetidos a agitações moderadas e severas, fazendo uma analogia ao processo prático, o resfriamento ocorrerá de forma contínua para um aço ABNT/SAE 8620 sem tratamento.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os seguintes tópicos apresentam conceitos e possíveis resultados, segundo a literatura, para taxas de resfriamento e meios de extração de calor utilizados nos experimentos, abordando também o aço de estudo, SAE 8620.

2.1. Taxa de resfriamento

A taxa de resfriamento é a quantidade de calor removida do material em um intervalo de tempo, determinada

através do gradiente (dT/dt). Nos tratamentos térmicos dos aços essa taxa é obtida a partir de uma curva de resfriamento [2]. Este gradiente é afetado pela severidade do meio de extração de calor, espessura, geometria da peça e elementos de liga que a constituem, uma vez que a temperabilidade está associada a composição. O conhecimento das taxas máximas de resfriamento se faz necessária, uma vez que, tensões internas estão associadas ao resfriamento brusco do material [1].

2.2. Meios de extração de calor

Os meios de extração de calor são empregados normalmente visando o endurecimento do aço. Diante disso, em termos práticos é necessário o aquecimento até a temperatura de austenitização e resfriamento contínuo por um período de tempo suficiente para que se complete as transformações microestruturais.

A capacidade de extração de calor de um meio pode ser medida em função da sua velocidade de resfriamento, conhecido como severidade Grossmann's de resfriamento, indicado pela letra "H", portanto, quanto maior a velocidade, maior será a severidade. Este valor pode ser alterado dependendo do estado de agitação e do ciclo de resfriamento ao qual a peça está submetida no meio [9]. Diante disso, a Tabela 1 indica a severidade das agitações nos meios realizados nos experimentos, a fim de fornecer um conhecimento prévio sobre aquele que proporcionará uma maior taxa de resfriamento.

Tabela 1. Valores de severidade Grossmann's em $\text{in}^{-1}(\text{H})$ [3].

Severidade (H)	
Ar moderado	0.02
Ar severo	-
Água moderada	1.0
Água severa	1.3
Salmoura moderada	-
Salmoura severa	2.0

Os valores de ar agitado severamente e salmoura agitada moderadamente não são apresentados na tabela 1, pois nestes a agitação do meio, quando comparados, respectivamente, ao ar agitado moderadamente e salmoura agitada severamente não causa efeitos significantes na quantidade de calor extraído.

A capacidade de extração de calor de um meio também pode ser avaliada comparando dureza em determinado ponto da seção transversal da peça obtida como resposta metalúrgica do aço quando submetido em diferentes meios de extração de calor.

No contexto de meios de extração de calor, o resfriamento ao ar é empregado quando se deseja uma microestrutura mais uniforme e menores tensões residuais associadas a peça. Para alguns aços de pequenas dimensões o resfriamento ao ar é suficientemente rápido para se obter uma microestrutura martensítica, porém na maior parte dos aços se obtém microestrutura perlítica. As taxas de resfriamento associados a esse tende a ser menor quando comparado a meios líquidos, pois o coeficiente de transferência de calor é menor, fluxos de ar exibem taxas de resfriamento maiores [6].

Para o resfriamento da peça em água, meio líquido, três estágios são formados, sendo eles indicados na Figura 1.

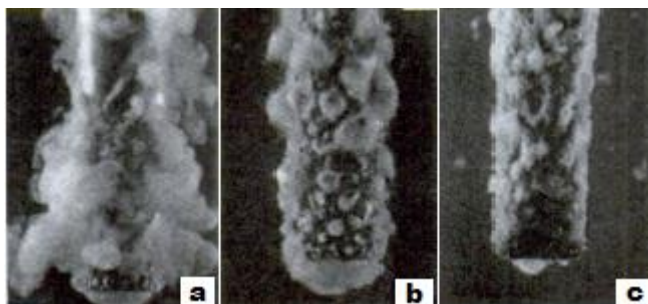


Figura 1. Estágios do resfriamento em meio líquido. (a) Formação do filme vapor, (b) Nucleação de bolhas de vapor, (c) Resfriamento por convecção. (Adaptado de [3])

No primeiro estágio há a formação considerável de uma camada de vapor contínua sobre a peça, onde a transferência de calor ocorre por radiação e convecção através dessa camada de vapor, fazendo com que este atue retardando seu resfriamento. Esse processo pode ser reduzido, ou até interrompido, agitando a peça no início de sua inserção no meio ou com adição de sais. No segundo estágio há a nucleação de bolhas de vapor na superfície da peça provenientes da degradação da camada de vapor, de modo que o resfriamento é dado pela separação das bolhas da superfície da peça. No terceiro estágio ocorre o resfriamento por condução e convecção,

pois a temperatura da peça se encontra abaixo do ponto de ebulição do meio de resfriamento, entrando em contato direto com o fluido, nessa faixa de temperatura pode ocorrer transformações martensíticas [13].

A camada de óxido formada pela oxidação da superfície da peça influencia na troca de calor entre a peça e o meio de extração, esta camada de óxido tende a se espalhar quando a mesma é resfriada e tem efeitos significativos na formação e estabilização do filme de vapor formado quando em contato com o meio líquido [6].

A adição de sais em água, formando salmoura, tende a alterar as propriedades termocinéticas da água. A salmoura mais utilizada para tratamentos térmicos é contendo 10% de cloreto de sódio, concentrações altas reduzem a capacidade de extração do meio. Em comparação com a água, a salmoura tende a extinguir mais calor de maneira mais uniforme, pois os sais tendem a reduzir ou eliminar a manta de vapor formada durante o resfriamento em líquido. A agitação do meio tem menos influência sobre a capacidade de extração de calor da salmoura corroborando a informação apresentada na Tabela 1 [6].

2.3 Aços para Cementação

Os aços para cementação são em sua maior parte aços-liga com baixo teor de carbono que são submetidos ao tratamento termoquímico de cementação, que consiste no enriquecimento superficial por carbono e posterior tratamento térmico de têmpera, para se obter uma superfície de alta dureza, resistência ao desgaste e núcleo tenaz. Dentre os aços de baixos teores de elemento de liga utilizados para cementação destaca-se neste artigo o aço ABNT/SAE 8620 que possui uma boa temperabilidade devido aos elementos de liga a ele adicionado [11-12]. A Tabela 2 apresenta sua composição química:

Tabela 2. Composição química (% peso) do aço ABNT/SAE 8620 [10].

C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
0.18 – 0.23	0.70 – 0.90	0.035	0.040	0.15 – 0.30	0.40 – 0.70	0.40 – 0.60	0.15 – 0.25

Uma forma de estimar os efeitos dos elementos de liga sobre a temperabilidade e dureza do aço é através do cálculo do carbono equivalente. Para este cálculo é determinado o valor aproximado do teor do elemento de liga necessário para se obter a mesma dureza que 1% de carbono. Existem diversas expressões na literatura para se calcular o carbono equivalente, sendo mais utilizada a desenvolvida pelo IIW (International Institute of Welding) apresentada pela Equação 1, onde os símbolos dos elementos presentes fazem referência a composição química da liga (%peso) [7].

$$C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Cu + Ni}{15} \quad (1)$$

Visando o endurecimento do aço, faz-se necessário o conhecimento da temperatura de austenitização para garantir uma microestrutura e transformação homogênea na peça. Essa temperatura varia para cada tipo de aço, e pode ser consultada através de diagramas ferro-carbono, para aços com baixo teor de carbono se encontra acima da linha A3, diagramas de transformações isotérmicas (TTT) e diagramas de resfriamento contínuo (TRC). Nesse contexto, para o aço SAE 8620 foi utilizada a temperatura de austenitização de 850°C do diagrama de transformações isotérmicas apresentado na Figura 2 [8].

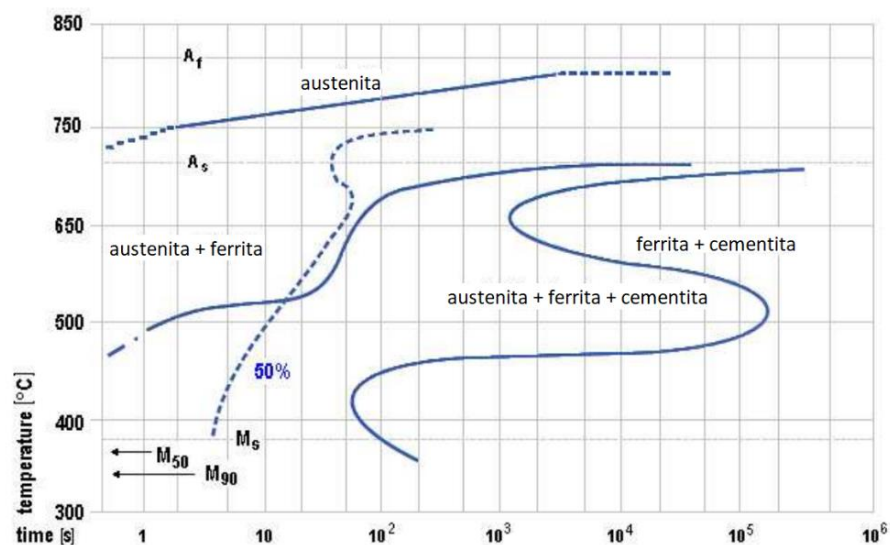


Figura 2. Diagrama de transformações isotérmicas (TTT) para o aço SAE 8620. [8]

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foi utilizada uma barra de aço circular SAE 8620 de diâmetro 1'' ¼. A barra circular foi seccionada para a confecção dos corpos de prova, em seis corpos de prova de 15 mm de espessura. Em seguida realizaram-se furos no centro da espessura do disco com diâmetros de 1/16'' e 5/8'' de profundidade para a inserção do termopar, no intuito de registrar a temperatura no centro da peça. Um furo passante foi realizado na face da peça, de modo que ficasse à lateral do termopar, para a introdução de um arame de aço que auxiliou na movimentação do corpo de prova durante os processos de aquecimento e resfriamento. A representação do corpo de prova é esquematizada na Figura 3. Para a aquisição de dados utilizou-se a plataforma Arduino® de placa microcontroladora UNO, juntamente com o módulo MAX6675 e termopar tipo K para leituras de temperaturas e registro da taxa de resfriamento que foram posteriormente salvos em uma planilha eletrônica.

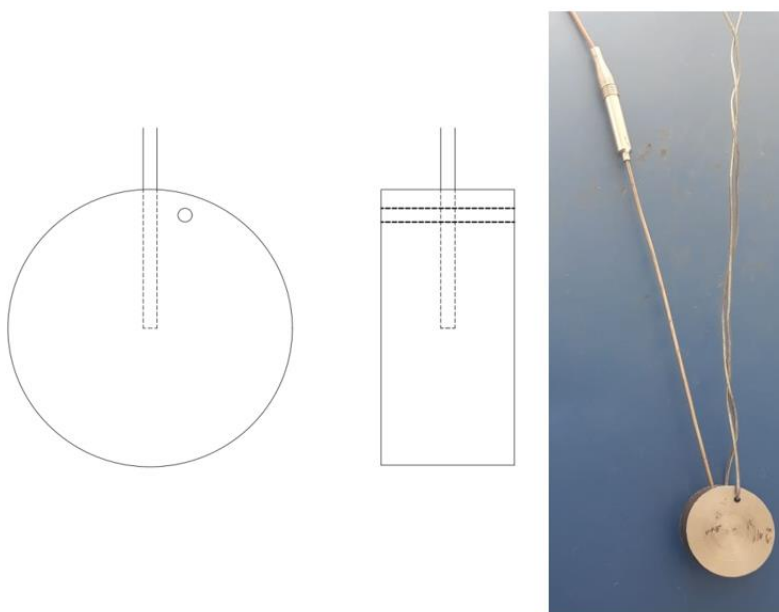


Figura 3. Representação esquemática do corpo de prova. (Autoria própria)

Depois de preparados, os corpos de prova foram submetidos, um por vez, aos processos de aquecimento em forno e resfriamento contínuo em diferentes meios de extração de calor, como segue. O aquecimento foi realizado utilizando um forno modelo 07120 da fabricante JUNG, onde o aço foi aquecido até que a temperatura em seu centro, indicada pelo termopar, fosse de aproximadamente 40°C acima da temperatura de autenitização, no caso 890°C. A transferência do forno para o meio de extração ocorreu de modo que, a perda de calor para o ambiente não fosse suficiente para haver mudança microestrutural e o corpo de prova estivesse acima da temperatura austenítica quando inserido no meio de extração de calor.

O resfriamento por meio da agitação moderada da peça foi realizado com frequência aproximada de uma rotação por segundo, a agitação severa em meio líquido ocorreu à frequência aproximada de três rotações por segundo e em meio gasoso fez-se o uso de um fluxo de ar. O resfriamento foi interrompido, quando em cada meio, a peça atingiu 50°C. O resfriamento em meio gasoso, ar, ocorreu à temperatura ambiente de 29°C. Para o resfriamento em meio líquido, água e salmoura, foi empregado um bquer na qual o volume de fluido fosse suficiente para permitir uma extração de calor mais eficaz, 1600 ml, e temperatura de 28°C. A solução de salmoura foi preparada utilizando 10% de NaCl.

Os corpos de prova tratados foram preparados metalograficamente até a lixa 600 para garantir acabamento superficial para medições de dureza, de acordo com a norma ASTM E18-19, sendo realizado seis medições para cada corpo de prova, o durômetro utilizado foi o Mitutoyo®HR-300. Os valores de durezas obtidos foram comparados com resultados para este mesmo aço após o processo de cementação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resfriamentos

O Gráfico 1 mostra as curvas de resfriamento obtidas experimentalmente utilizando ar como meio de extração de calor. Observa-se que a agitação moderada da peça no meio leva cerca de 992 segundos (16 minutos) para a mesma sair da temperatura de 875°C e atingir 50°C, enquanto a agitação severa da peça no meio leva em torno de 480 segundos (8 minutos) para atingir a mesma temperatura.

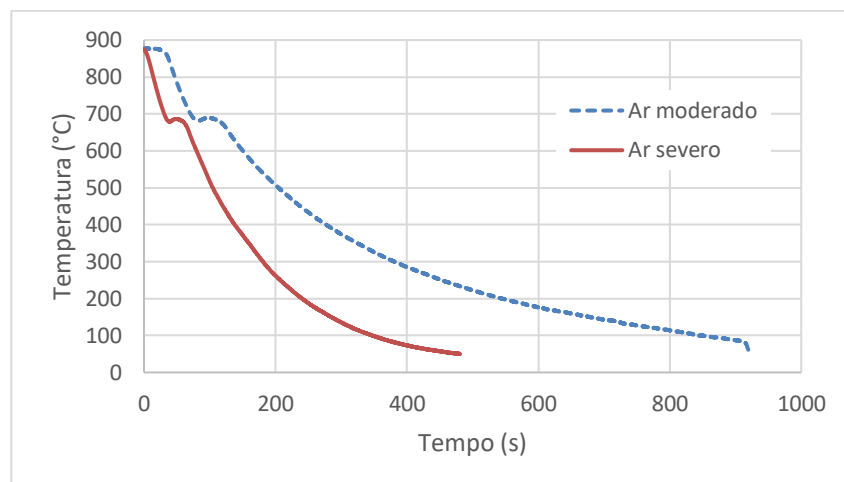


Gráfico 1. Curva de resfriamento em ar agitado moderadamente e severamente. (Autoria própria)

O comportamento das curvas para o resfriamento em ar se diferencia do comportamento dos demais devido a variação de temperatura entre as leituras serem muito pequenas, de modo que as taxas obtidas são muito baixas, tornando-o ilegível para o artigo. Assim foram exibidas no gráfico 2 apenas o comportamento das maiores taxas de resfriamento obtida nesse meio.

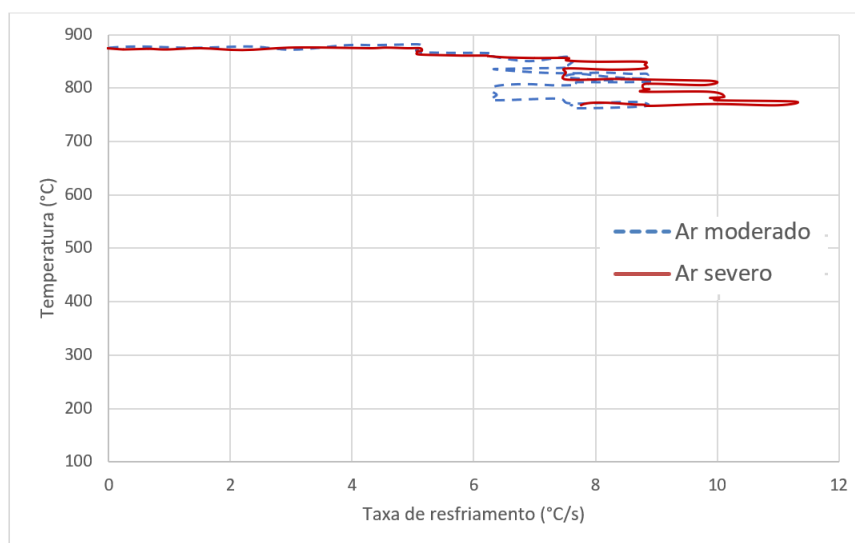


Gráfico 2. Taxa de resfriamento utilizando ar como meio de extração de calor. (Autoria própria)

As taxas de resfriamento obtida utilizando ar como meio de extração de calor é apresentada no Gráfico 2, para a agitação moderada da peça no meio a maior taxa de resfriamento obtida, de 8,75°C/s, ocorre a uma temperatura de 815,20°C. A agitação severa da peça proporciona a maior taxa, 11,25°C/s, em uma temperatura de 769,25°C.

O Gráfico 3 exibe as curvas de resfriamento quando utilizado água como meio de extração de calor. A agitação moderada da peça no meio permitiu o resfriamento da mesma da temperatura de 875°C á 50°C em 17 segundos, enquanto a agitação severa da peça no meio nas mesmas condições de temperatura demorou cerca de 13,8 segundos.

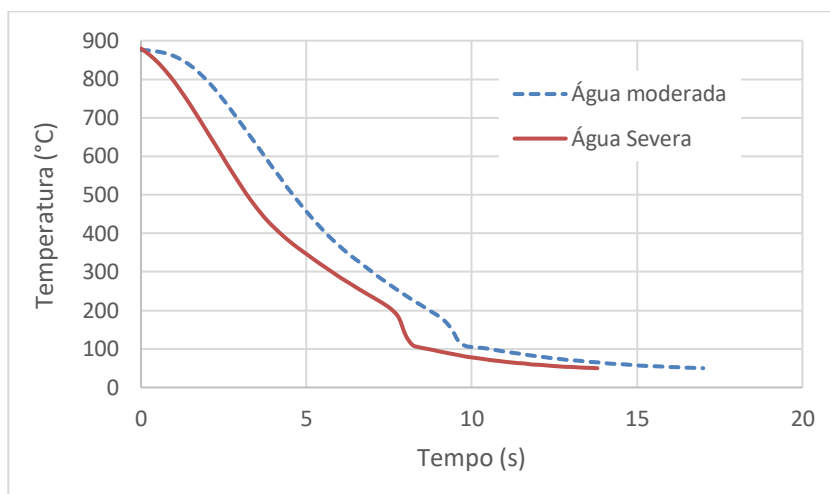


Gráfico 3. Curva de resfriamento em água agitada moderadamente e severamente. (Autoria própria)

O Gráfico 4 exibe o comportamento das taxas de resfriamentos quando a peça é submetida em água. A maior taxa de resfriamento obtida na agitação moderada da peça no meio, 151,25°C/s, ocorre a temperatura de 150,50°C. Na agitação severa a taxa máxima de resfriamento obtida é de 221,25°C/s a uma temperatura de 180,25°C

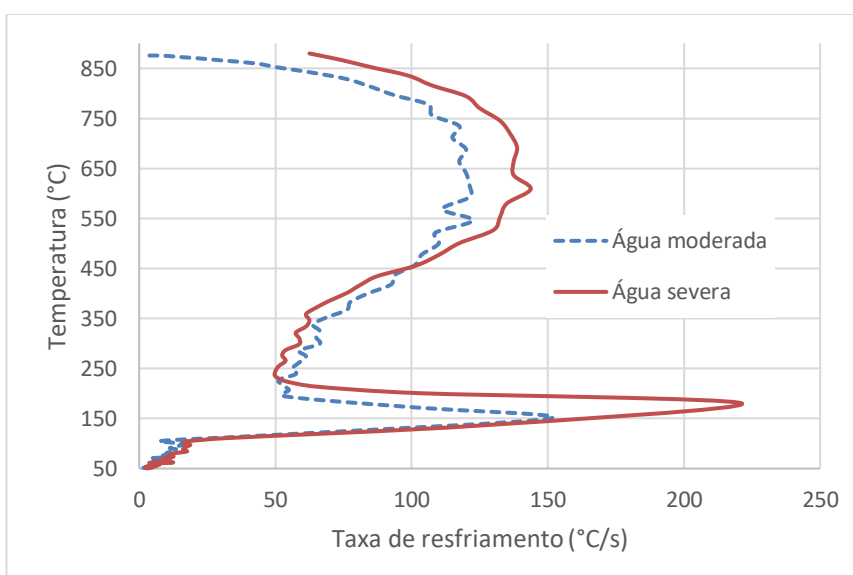


Gráfico 4. Taxa de resfriamento utilizando água como meio de extração de calor. (Autoria própria)

O Gráfico 5 apresenta as curvas de resfriamento para a peça utilizando como meio de extração de calor a salmoura. Neste, a agitação moderada da peça no meio demorou cerca de 18,4 segundos para sair da temperatura de 875°C e atingir 50°C, a agitação severa da peça no meio levou cerca de 13,8 segundos para atingir a mesma temperatura. A extração de calor em salmoura agitada severamente acontece de maneira mais linear do que a extração nesse meio quando a peça é agitada moderadamente.

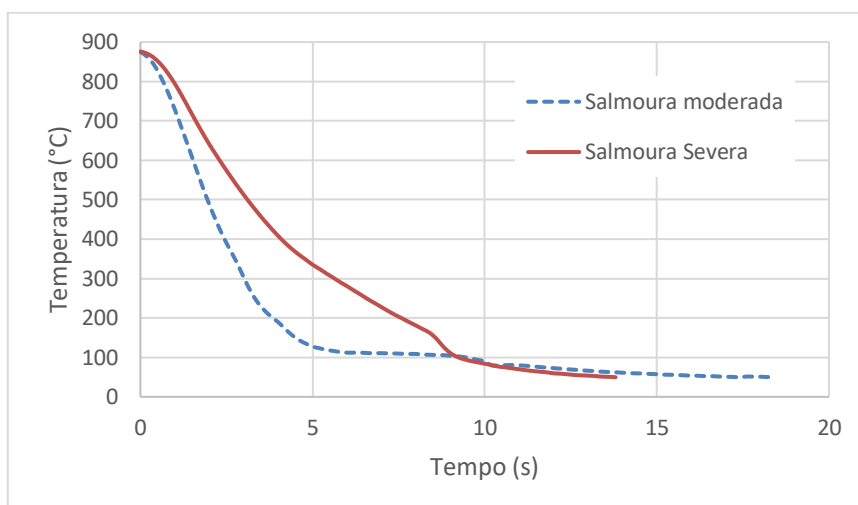


Gráfico 5. Curva de resfriamento em salmoura agitada moderadamente e severamente. (Autoria própria)

As taxas de resfriamento obtidas utilizando salmoura como meio de extração de calor são apresentadas no Gráfico 6. A taxa máxima de resfriamento para a agitação da peça moderadamente no meio é de 247,50°C/s a uma temperatura de 632,75°C, e para a peça agitada severamente nesse mesmo meio, a taxa máxima de 158°C/s encontra-se a temperatura de 732,75°C.

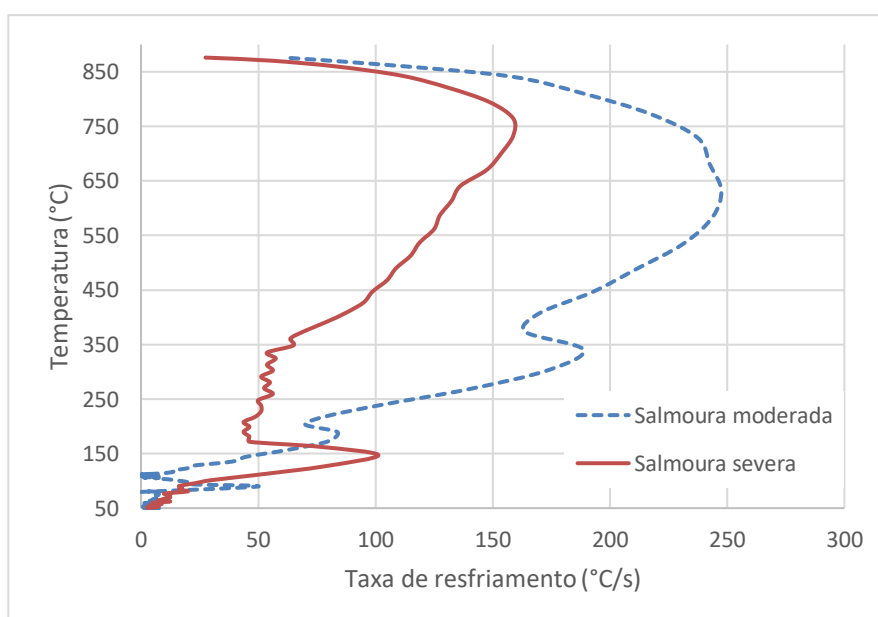


Gráfico 6. Taxa de resfriamento utilizando salmoura como meio de extração de calor. (Autoria própria)

Na Tabela 3 é possível comparar as maiores taxas obtidas em cada meio com suas respectivas temperaturas. As taxas maiores para o resfriamento em ar acontecem em altas temperaturas, portanto as tensões internas resultantes no material serão menores, pois o resfriamento da peça não ocorre de forma tão brusca.

Tabela 3. Relação da taxa máxima de extração de calor com a temperatura. (Autoria própria)

Meio de extração	Condição de agitação	Temperatura (°C)	Máxima taxa de extração (°C/s)
Ar	Moderado	815,20	8
	Severo	769,25	11
Água	Moderado	150,50	151
	Severo	180,25	221
Salmoura	Moderado	632,75	247
	Severo	732,75	158

Para a água as taxas máximas de resfriamento ocorrem na faixa de 100°C, isto se explica pela camada de vapor que impede a troca imediata de calor da peça com o meio de extração, no entanto, as altas taxas de resfriamento resultam em tensões internas maiores na peça. Na salmoura a temperatura onde acontece a máxima troca de calor é alta, entre 700°C e 600°C, resultando também em maiores tensões internas na peça.

4.2 Dureza

Aplicando a Equação 1 para o aço SAE 8620, utilizando a porcentagem em peso média dos seus elementos apresentados na Tabela 1, temos que os elementos de liga a ele adicionado equivale a 0,51% de carbono. O conhecimento desse valor nos permite dizer que ele obterá uma alta dureza quando submetido a meios de extrações de calor mais severos, de fato, os resultados de medição de dureza constataram que foi obtido, muito provavelmente, microestrutura martensítica.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos dos ensaios de dureza realizados na superfície das amostras de aço SAE 8620 após submetidas aos meios de extração de calor. O ar por apresentar uma menor taxa de resfriamento a dureza resultante foi baixa, não sendo possível mensurá-la em Rockwell C (HRC), utilizou-se então a escala Rockwell B (HRB) por ser uma escala de dureza menor.

Tabela 4. Média dos resultados dos ensaios de dureza para os meios de extração de calor. (Autoria própria)

Ensaio de dureza						
Meio de extração	Ar		Água		Salmoura	
	(HRB)		(HRC)		(HRC)	
Estado de agitação	Moderado	Severo	Moderado	Severo	Moderado	Severo
Média	90,70	93,02	59,0	58,90	59,92	60,23
Desvio Padrão	1,14	0,25	1,07	0,84	1,23	0,48

O Gráfico 7 traz um comparativo dos meios mais severos de resfriamento, sendo eles, água e salmoura, em função das taxas mais severas para cada meio, observa-se que estatisticamente os valores de dureza obtidos para água agitada moderadamente e água agitada severamente são iguais, sendo respectivamente, 59,0 HRC e 58,9 HRC. A dureza maior, de 60,23 HRC, é obtida em salmoura agitada severamente, esta possui o menor desvio padrão das leituras de durezas associadas, de 0,48, a uma taxa de resfriamento baixa quando comparadas aos demais resultados.

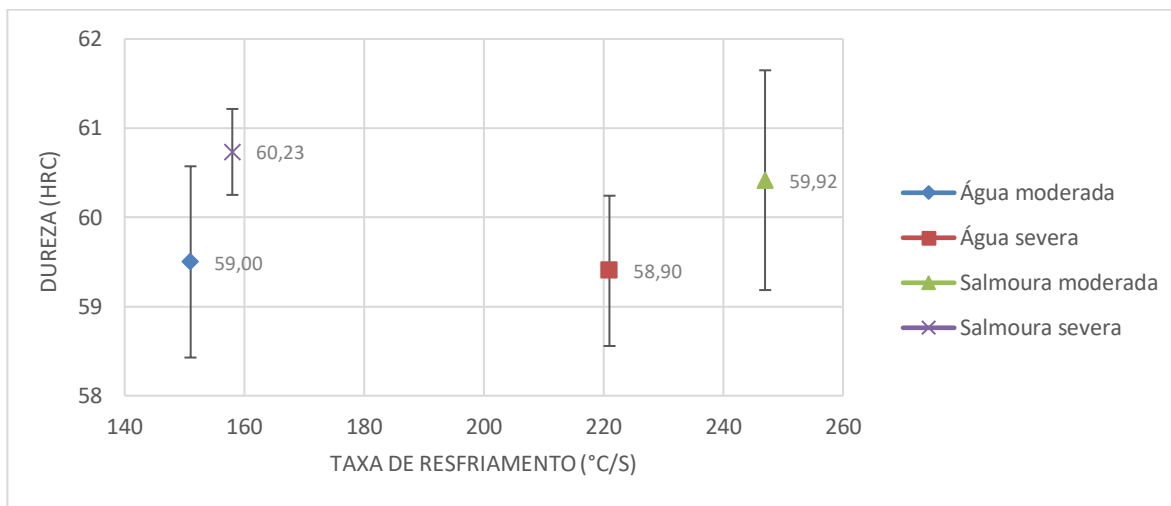


Gráfico 7. Dureza em função da maior taxa de resfriamento para os meios mais severos. (Autoria própria)

A Tabela 5 faz o comparativo da dureza obtida dos meios mais de resfriamento, em seus estados de agitação, com a obtida por Almada (2017) para este mesmo aço sem nenhum tratamento.

Tabela 5. Comparação dos resultados de dureza obtidos nesse artigo com o resultado obtido para este aço sem tratamento. (Autoria própria)

Meio de extração	Autoria Própria						Almada (2017)
	Ar (HRB)		Água (HRC)		Salmoura (HRC)		Sem tratamento (HRB)
	Moderado	Severo	Moderado	Severo	Moderado	Severo	
Dureza	90,70	93,02	59,0	58,90	59,92	60,23	11,3

As durezas obtidas nestes meios são grandes quando comparadas aos resultados de Almada (2017) para este aço sem processo de tratamento, verificando que de fato o resfriamento resultou no aumento da dureza do material, mesmo em baixas taxas de resfriamento, como é o caso do resfriamento ao ar. Assim como, é possível que os meios mais severos de resfriamento como água e salmoura resultaram em uma estrutura martensítica.

5. CONCLUSÃO

Concluiu-se, por fim, que com o presente trabalho foi possível obter de forma satisfatória as curvas de taxas de resfriamento para ar, água e salmoura, sobre condições de agitação moderadas e severas, para serem utilizadas em tratamentos térmicos por resfriamento contínuo.

De fato, a agitação da peça aumenta a severidade de extração de calor dos meios de resfriamento em água e em ar, no entanto, a alteração desse parâmetro para a salmoura diminui a taxa de resfriamento na agitação severa, de modo que mais calor é extraído em um intervalo menor de tempo.

A extração de calor em salmoura e em água agitadas severamente ocorreu no mesmo intervalo de tempo, de 13,8 segundos, para o mesmo intervalo de temperatura, no entanto, com diferentes taxas de resfriamento. Portanto, avaliando a mais eficiente em termos de maior capacidade de extração de calor, ou seja, maior taxa de resfriamento, pode-se afirmar que a água agitada severamente obteve maior desempenho.

Para aplicações em que se faz necessário apenas valores elevados de dureza do aço SAE 8620, pode-se tratá-lo termicamente fazendo o uso de água agitada moderadamente como meio de extração, pois neste o aço apresentou uma dureza elevada de 59 HRC, o meio terá menos influência na oxidação da peça e a taxa de resfriamento baixa quando comparada aos demais meios, em torno de 151°C/s.

Como a excessiva dureza pode implicar em baixa tenacidade é importante que trabalhos futuros avaliem a tenacidade dentro das condições de extração de calor apresentadas no presente trabalho. Como também, analisar a dureza superficial através de teste de abrasão, uma vez que, este aço é aplicado em peças onde essa característica se faz necessária.

6. AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao PET Mecânica&Energia por disponibilizar o aço, material metalográfico, termopar e sistema de aquisição de dados, ao CITED por disponibilizar o forno para a realização dos experimentos, ao laboratório de Ensaios Mecânica da UFERSA por disponibilizar a lixadeira politriz e durômetro para a realização dos ensaios de dureza.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] TOTTEN, G.E.; BATES, C.E.; CLINTON, N.A. Handbook of quenchants and quenching technology. ASM International, Materials Park, 1993.
- [2] ASTM D6200-01, Standard Test Method for Determination of Cooling Characteristics of Quench Oils by Cooling Curve Analysis, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017. Disponível em: <www.astm.org>. Acesso em: 18 junho 2019.
- [3] BROOKS, C.R. Principles of the heat treatment of plain carbon and low alloy steels. ASM International, Materials Park, 1996.
- [4] CHIAVERINI, Vicente. Boletim Geologia e metalurgia: aços carbonos e aços ligas. C.M.R, São Paulo, n.11, 1954.
- [5] LEITÃO, C.J.; MEI, P.R.; LIBARDI, R. Efeitos da cementação e da nitretação no custo e na qualidade de engrenagens produzidas com aço ABNT 4140 e 8620. Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 9, n. 3, p. 257-263, jul.-set. 2012.
- [6] LISCIC, Bozidar. et al., Quenching theory and technology. Taylor and Francis Goup, 2.ed. 2010.
- [7] MARQUES, P.V.; MODENESI, P.J. Algumas equações úteis em soldagem. Soldag. Insp. São Paulo, Vol. 19, Nº. 01, p.091-102, Jan/Mar 2014.
- [8] BONIARDI, M.; CASAROLI, A. Metallurgia degli acciai. Gruppo Lucefin. Esine (Brescia), Italia, Vol.1, 2017.
- [9] CHIAVERINI, Vicente. Tratamento térmico das ligas metálicas. Associação brasileira de metalurgia e metais, São Paulo, 2008.
- [10] ASM HANDBOOK. Properties and selection: irons steels and high performance alloys. ASM International, USA, Vol.1, 1992.
- [11] CHIAVERINI, Vicente. Aços e ferros fundidos. Associação brasileira de metalurgia e metais, São Paulo, 7.ed. ampl. e rev, 2012.
- [12] SILVA, A.L.; MEI, P.R. Aços e ligas especiais. Bluncher, São Paulo, 3.ed. 2010.
- [13] FERNANDES, P.; PRABHU, K.N. Heat transfer during quenching and assessment of quench severity-a review. J. ASTM Intl., Vol. 6, No. 1. doi:10.1520/JAI101784.
- [14] ALMADA, Lucas. Cementação Sólida no aço ABNT 8620 utilizando ferro fundido como fonte de carbono e carbonato de cálcio como ativador. 20017. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Bacharelado em ciência e tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró-RN, 2017.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
Centro de Ciências Exatas e Naturais – CCEN

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às 16:00 horas do dia quatorze de agosto de dois mil e dezenove, na sala 27 do prédio de professores do Centro de Engenharias da UFERSA, campus Mossoró, reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria da aluna **ALINE VITORIA MAIA DE OLIVEIRA**, do curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia desta universidade, N° de matrícula **2016020592**, com o título **“DETERMINAÇÃO DA TAXA DE RESFRIAMENTO DE DIFERENTES MEIOS DE EXTRAÇÃO DE CALOR E A INFLUÊNCIA SOBRE A DUREZA DO AÇO ABNT 8620”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. FRANCISCO EDSON NOGUEIRA FRAGA, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Prof. Dr. MANOEL QUIRINO DA SILVA JUNIOR (CE/UFERSA Mossoró) e Prof. Eng. PRINCE AZSEMBERGH NOGUEIRA DE CARVALHO (CE/UFERSA Mossoró), como membros. Em tempo, informo que a aluna teve como Co-Orientadora a Engenheira LILIANE FERREIRA DE ARAUJO DE ALMADA (Eng. Mecânica e aluna de Mestrado do programa PPGE/UFERSA). Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, tendo a aluna obtido as seguintes notas: 10 ; 10 ; 10. Apuradas as notas a aluna foi aprovado com **média geral 10** no Trabalho Conclusão de Curso. Conclusão no período letivo de 2019.I. E, para constar, eu, FRANCISCO EDSON NOGUEIRA FRAGA, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, foi assinada por todos.

Mossoró, 14 de agosto de 2019.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora

Prof. Dr. FRANCISCO EDSON NOGUEIRA FRAGA – CE/UFERSA
Presidente e orientador

Prof. Dr. MANOEL QUIRINO DA SILVA JUNIOR (CE/UFERSA Mossoró)
Primeiro Membro

Prof. Eng. PRINCE AZSEMBERGH NOGUEIRA DE CARVALHO (CE/UFERSA Mossoró)
Segundo Membro