



21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

CONSTRUÇÃO DO EQUIPAMENTO PARA ENSAIO JOMINY PARA AUXÍLIO NO ENSINO DA DISCIPLINA DE TRATAMENTOS TÉRMICOS

Hana Livia Frota Coelho, hanaliviafc@gmail.com¹
Francisca Rayssila Ripardo Ferreira, r.ripardo@gmail.com¹
Carlos Eduardo de Souza Moura, eduardomoura@hotmail.it¹
Prof. Dr. Hamilton Ferreira Gomes de Abreu, hamilton@ufc.br¹
Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva, mgsilva@ufc.br¹

¹Universidade federal do Ceará, lacam@metalmat.ufc.br

Resumo: Este trabalho descreve o projeto de construção de um aparato experimental Jominy para auxiliar no aprendizado dos alunos da disciplina de tratamentos térmicos. Tal iniciativa tem como objetivo a observação prática da temperabilidade de aços (Temperabilidade é um termo empregado para descrever a habilidade de uma liga em ser endurecida pela formação de martensita como resultado em um dado tratamento térmico) e a construção de um instrumento simplificado, visando ter uma noção geral do seu funcionamento e do processo, realizando assim um ensino mais didático.

Palavras-chave: Ensaio Jominy, ensino, tratamento térmico, temperabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Tratamento Térmico é um ciclo de aquecimento e resfriamento realizado nos metais com o objetivo de alterar as suas propriedades físicas e mecânicas, sem mudar a forma do produto. O tratamento térmico às vezes acontece inadvertidamente, como “efeito colateral” de um processo de fabricação que cause aquecimento ou resfriamento no metal, como nos casos de soldagem e de forjamento. O tratamento térmico é normalmente associado com o aumento da resistência do material, mas também pode ser usado para melhorar a usinabilidade, a conformabilidade e restaurar a ductilidade depois de uma operação a frio. Logo, o tratamento térmico é uma operação que pode auxiliar outros processos de manufatura e/ou melhorar o desempenho de produtos, aumentando sua resistência ou alterando outras características desejáveis.

A influência da composição da liga sobre a habilidade de um aço transformar-se em martensita para um tratamento por têmpera específico está relacionada a um parâmetro chamado temperabilidade. Para cada aço diferente existe uma relação específica entre as propriedades mecânicas e a taxa de resfriamento. Temperabilidade é um termo empregado para descrever a habilidade de uma liga em ser endurecida pela formação de martensita como resultado em um dado tratamento térmico; e é uma medida qualitativa da taxa na qual a dureza cai em função da distância para o interior de uma amostra, como resultado de menor teor de martensita. Um aço com temperabilidade elevada é aquele que endurece, ou que forma martensita, não apenas na sua superfície, mas em elevado grau, ao longo do seu interior.

Um procedimento padrão amplamente utilizado para determinar a temperabilidade é o ensaio Jominy de extremidade temperada. Com esse procedimento, à exceção da composição da liga, todos os fatores que podem influenciar a profundidade até a qual uma peça endurece são mantidos constantes. O Ensaio Jominy foi padronizado pela Sociedade Americana de Testes e Materiais em 1942, sob a norma ASTM A 255 (Métodos de Ensaio Padronizados para Determinação da Temperabilidade dos aços, “Standart Test Methods for Determining Hardenability of steel”). O teste consiste no aquecimento e resfriamento com água a extremidade de uma barra cilíndrica de uma polegada de diâmetro por quatro polegadas de comprimento, para medir a resposta da barra ao endurecimento, em função da distância a partir da extremidade resfriada. Dessa forma, a taxa de resfriamento é máxima na extremidade temperada e diminui em função da posição desde esse ponto ao longo do comprimento do corpo de provas.

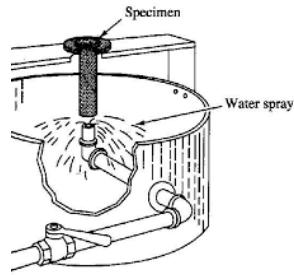


Figura 1. Desenho esquemático: Aparato experimental para Ensaio Jominy.

2.MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização da prática, foram realizados os seguintes procedimentos:

2.1.Confecção do Aparato Experimental Jominy

Seguindo a norma ABTN A 255, foi construído o equipamento para o ensaio jominy. As etapas de construção podem ser vistas abaixo.



Figura 2. Corte de um tambor para conter a água



Figura 3. Encaixe de um suporte de metal na boca do tambor para apoiar a peça e a tubulação.



Figura 4. Montagem da tubulação com diâmetro e posicionamento dentro da norma.



Figura 5. Equipamento instalado.

2.2. Realização do Ensaio Jominy

Primeiramente foram selecionados os corpos de prova, das seguintes especificações:

Aço SAE 1020 e aço SAE 4140, ambos com forma cilíndrica, furo central, de dimensões de diâmetro 1" e comprimento 4";

Os corpos de prova foram normalizados, durante uma hora, em um forno mufla, com temperaturas de aquecimento e resfriados ao ar calmo, conforme Tab. 1 abaixo:

Tabela 1. Temperatura de normalização dos aços

Tipo de aço	1020	4140
Temperatura de normalização (°C)	925	870

O tratamento de normalização foi realizado com o intuito de refinar a granulação grosseira e produzir uma microestrutura mais uniforme e homogênea.

Em seguida, os corpos de prova foram reaquecidos para uma austenitização, durante 30 minutos, em um forno mufla, com temperaturas conforme especificada na Tab. 2 abaixo:

Tabela 2. Temperatura de austenização dos aços

Tipo de aço	1020	4140
Temperatura de austenitização (°C)	925°	845°

Depois de austenitizados, os corpos de prova foram acoplados no aparato de ensaio jominy e resfriados bruscamente pelo jato de água que jorra da tubulação, para propiciar a formação da estrutura martensítica.



Figura 6. Peça sendo ensaiada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização do ensaio Jominy foram feitas as medições de dureza no durômetro Rockwell B Fig. 7, a partir do corte transversal do corpo de prova, no total de 22 pontos com os seguintes espaçamentos entre eles:

- 1/16 de polegada → 1° ao 16°
- 2/16 de polegada → 16° ao 22°



Figura 7. Dureza sendo realizada nas peças ensaiadas.

As Figuras 8 e 9 mostram os gráficos com os valores de dureza obtidas nos corpos de prova do aço SAE 1020 e SAE 4140.

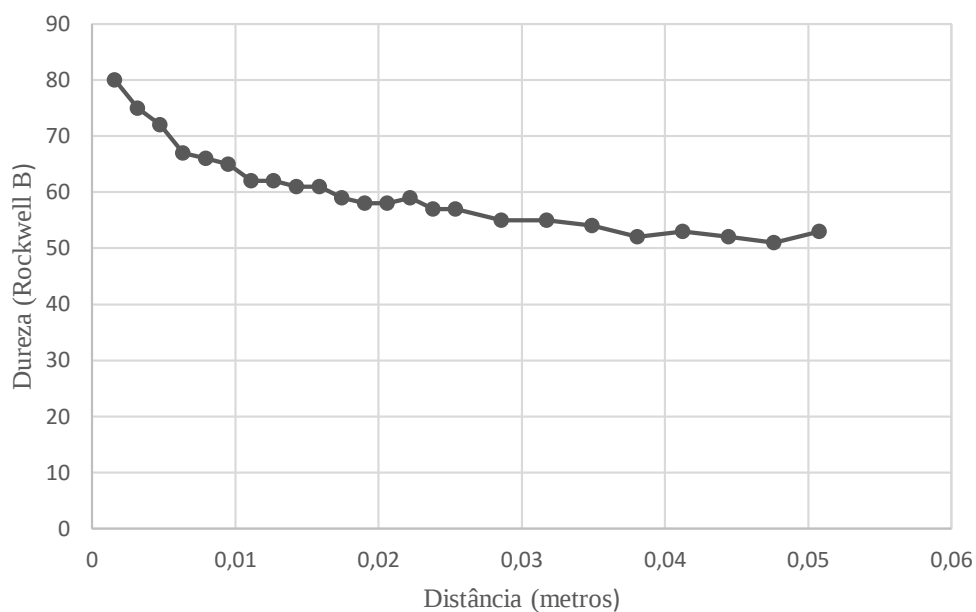


Figura 8. Dureza x Distância da base da peça do aço SAE 1020.

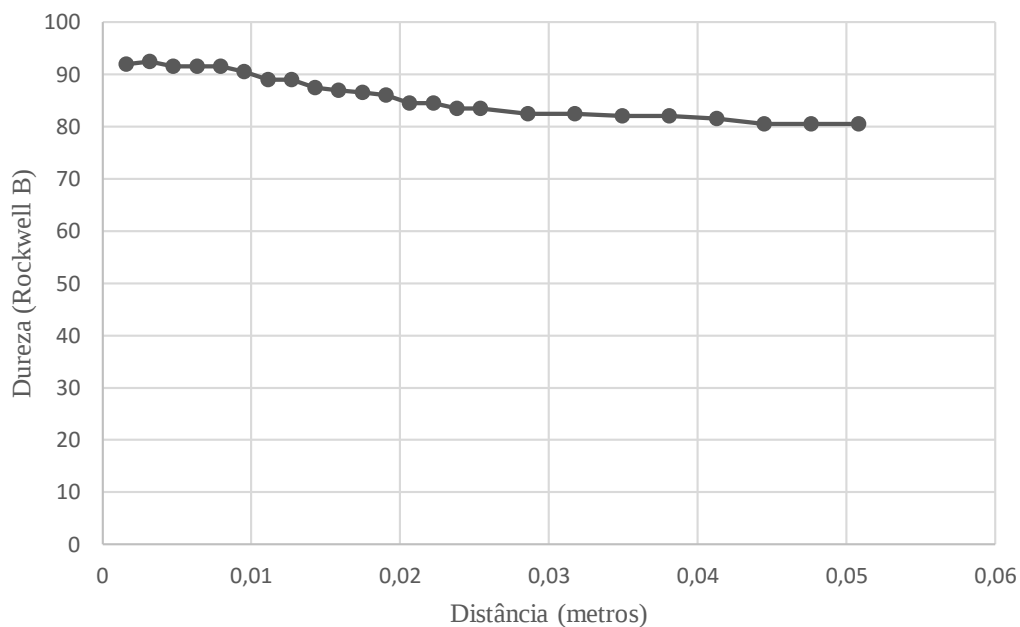


Figura 9. Dureza x Distância da base da peça do aço SAE 4140.

A Tabela 3 mostra a composição dos aços 1020 e 4140.

Tabela 3. Composição percentual em massa dos aços 1020 e 4140

Aço	C	Mn	Si	Cr	Mo	P	S	Fe
1020	0,17 – 0,24	0,30 – 0,60	0,40 máx.	-	-	0,04 máx.	0,05 máx	Balanço
4140	0,38 – 0,43	0,75 - 1	0,10 – 0,35	0,80 – 1,10	0,15 - 0,25	-	-	Balanço

Nas tabelas acima vemos que o SAE 4140 possui adição de cromo, silício e molibdênio que deslocam a curva TTT deste aço para a direita, facilitando deste modo a geração de martensita no, ou seja, este aço tem maior temperabilidade em relação SAE 1020, que é um aço baixa liga.

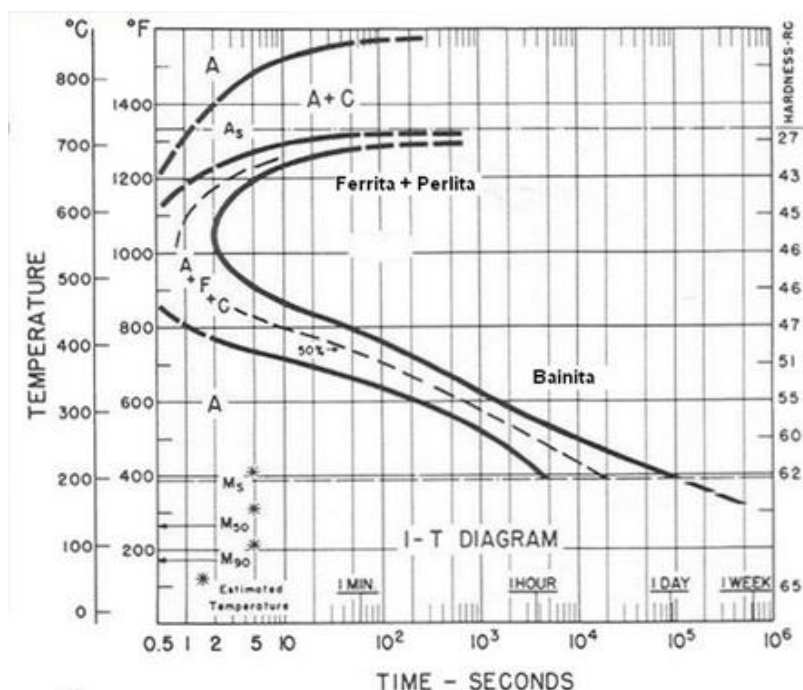


Figura 10. Diagrama TTT do aço 1020 (Porter, 1992).

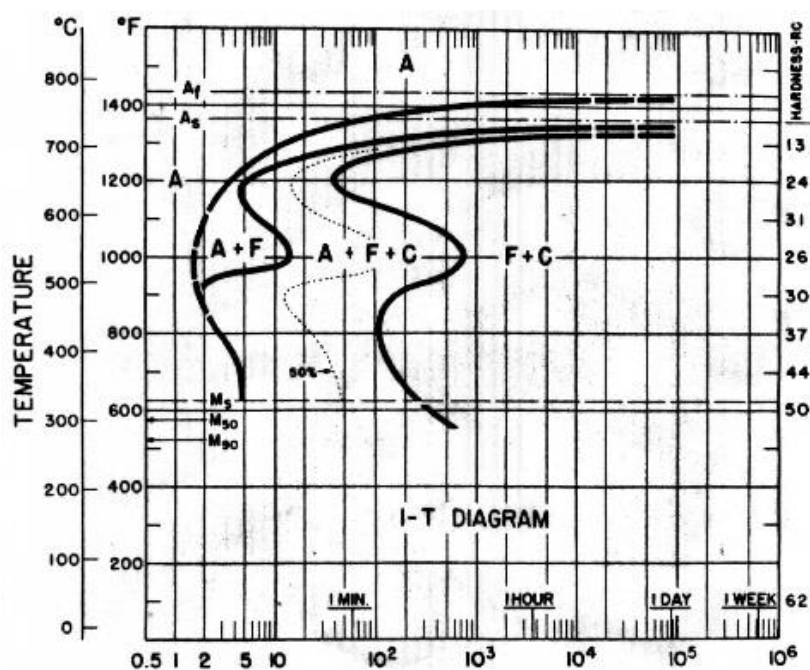


Figura 11. Diagrama TTT do aço 4140 (Porter, 1992).

Como pode se observar, após o tratamento térmico, o aço SAE 1020, que possui baixo teor de carbono e baixo teor de elementos de liga, obteve valores de dureza menores do que o aço SAE 4140, que obteve uma maior dureza ao longo de toda a sua extensão. O perfil obtido nos gráficos pode ser chamado de curva Jominy. No caso do aço 1020, percebemos que há um endurecimento bem maior na extremidade resfriada pela coluna de água, em relação ao restante do corpo de prova ao longo de seu comprimento. Já no aço 4140, a curva Jominy a diferença de dureza da extremidade que estava em contato direto com a água e o restante de sua extensão não diferenças de dureza tão significativas como

do aço 1020, indicando que o endurecimento se deu ao longo do corpo de prova de forma mais uniforme; ou seja, a teoria afirmada no parágrafo acima, de que “o SAE 4140 possui adição de cromo, silício e molibdênio que deslocam a curva TTT deste aço para a direita, facilitando deste modo à geração de martensita” é verificada e confirmada na prática.

4. CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi o de desenvolver um aparato que permitisse a realização prática de um ensaio Jominy, de forma que seja uma ferramenta para melhor compreensão da metalurgia dos aços quando submetidos a um determinado ciclo térmico.

Através dos valores obtidos de na prática do ensaio Jominy, podemos constatar que, de fato, o aço 4140 possui temperabilidade mais elevada que o aço 1020. Isso ocorre devido a maior presença de percentual de elementos de liga no aço 4140, que confere a ele não só uma média temperabilidade como também boa resistência a fadiga, sendo utilizado em componentes para sistemas mecânicos de uso geral onde o uso do aço SAE 1020 não se aplica por consequência de sua melhor capacidade de endurecimento em maiores seções transversais, resistência à fadiga e à fratura.

Pode-se constatar também a eficácia da construção do aparato Jominy que, apesar de algumas limitações, teve boa praticidade no decorrer da prática.

Apesar de esperado, este resultado vem a consolidar os conhecimentos teóricos adquiridos, servindo, ainda, como uma ferramenta para propiciar uma melhor compreensão das transformações e comportamento dos aços. Tais conteúdos são abordados em aulas teóricas, mas é fundamental uma contemplação prática que contribua na consolidação desta teoria.

Por fim, a prática foi bastante satisfatória, tanto pelos resultados obtidos esperados, quanto pelo conhecimento agregado em áreas diversas do ramo da engenharia metalúrgica, no qual a realização de práticas é fundamental para um amplo conhecimento no dia-a-dia, atuando como estudante de engenharia.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Dr. Eng. Flávio Gaspar Herculano, ao Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Ceará e ao senhor Francisco Adriano Lino Coelho pela colaboração na fabricação e instalação do equipamento.

6. REFERÊNCIAS

<<http://www.ggdmetals.com.br/aco-construcao-mecanica/sae-4140/>>, acessado em 26 de janeiro de 2016.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/Ensaio_Jominy>, acessado em 25 de janeiro de 2016.

CALLISTER, Jr., W. D.- Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 8ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2012.

KWIETNIEWSKI, Carlos E. F.- Tratamentos Térmicos de Aços fundidos. 1ª edição, Gráfica UFRGS, Porto Alegre, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. Aço, Determinação da Temperabilidade (Jominy). NBR 6339, 1989.

D. A. Porter, K. E. Easterling. Phase Transformations in Metal and Alloys. 2º edição, Chapman e Hall, Londres, 1992.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

“Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho”.

CONSTRUCTION OF A JOMINY TEST APPARATUS TO HELP THE HEAT TREATMENT COURSE.

Hana Livia Frota Coelho, hanaliviafc@gmail.com¹

Francisca Rayssila Ripardo Ferreira, r.ripardo@gmail.com¹

Carlos Eduardo de Souza Moura, eduardomoura@hotmail.it¹

Prof. Dr. Hamilton Ferreira Gomes de Abreu, hamilton@ufc.br¹

Prof. Dr. Marcelo José Gomes da Silva, mgsilva@ufc.br¹

¹Universidade federal do Ceará, lacam@metalmat.ufc.br

Abstract. *This work describes the construction design of a Jominy test apparatus to help the academic development of the students enrolled on the heat treatment course. Such initiative aims to observe the hardenability of steel (Hardenability is a term used to describe the ability of an alloy to harden due the formation of Martensite resulting from heat treatment). It also has as objective the construction of a simplified instrument, intending to allow a general understanding of its functioning and of the process itself, thus permitting a more didactic teaching.*

Keywords: *Jominy Test, Teaching, Heat Treatment, Hardenability.*