

## Projeto e Construção do Aparato Jominy: Uma Contribuição para a Pesquisa no UniFOA

### *Design and Construction of the Jominy Apparatus: A Contribution for the Research at the UniFOA*

Carlos Roberto Xavier <sup>1</sup>  
 Tarcisio dos Santos Gonçalves <sup>2</sup>  
 João Antonio de Araújo Sousa <sup>3</sup>  
 Luiz Carlos de Andrade Vieira <sup>4</sup>  
 Célio de Jesus Marcelo <sup>4</sup>

Artigo  
Original

Original  
Paper

#### Palavras-chaves:

Aços  
 Temperabilidade  
 Ensaio Jominy

#### Resumo

Este trabalho diz respeito ao projeto e construção do aparato experimental Jominy para a realização do ensaio de temperabilidade em aços no UniFOA. Essa iniciativa partiu do curso de Engenharia Mecânica, tendo como objetivo a construção de um instrumento prático e confiável para o estudo das transformações que ocorrem nos metais, em especial nos aços, quando submetidos a um determinado ciclo térmico. Dessa forma, com o empenho dos alunos e dos técnicos de laboratório da instituição, foi possível, baseado na norma NBR 6339/89, projetar e construir o aparato Jominy para a determinação da temperabilidade dos aços. Isso possibilitou aos alunos uma melhor compreensão do comportamento e das transformações sofridas pelos metais quando tratados termicamente e as influências destes tratamentos sobre as suas propriedades.

#### Abstract

*This report refers to the design and construction of the Jominy experimental apparatus for the accomplishment of the steels hardenability test at the UniFOA. This initiative had origin at the Mechanical Engineering course, with the purpose of obtaining an effective and reliable instrument for the study of the transformations that occur in metals, specially the steel transformations when steel is submitted to a determinate thermal cycle. Thus, with the dedication of the graduation students and laboratory technicians, it was possible, based in the standard specification NBR 6339/89, to project and to build the Jominy apparatus, aiming the steels hardenability determination. This made possible to the students a better understanding about the behavior and transformations in metals when it is submitted to the heat treating and the effects of these treatments on its properties.*

#### Key words:

Steels  
 Hardenability  
 Jominy Test

## 1. Introdução

### 1.1. O Ensaio Jominy

O ensaio Jominy é um dos métodos utilizados para se avaliar a temperabilidade dos aços. Este ensaio, padronizado pela norma NBR-6339 da ABNT, utiliza corpos-de-prova

classificados como corpo-de-prova convencional, corpo-de-prova reduzido e corpo-de-prova fundido, em função das suas dimensões ou de seu material de origem. Neste ensaio, o corpo-de-prova é aquecido até a temperatura de austenitização do aço do qual o mesmo é fabricado e resfriado rapidamente em condições padronizadas, através de um jato d'água. Após

<sup>1</sup> Doutor e Docente do Curso de Engenharia Mecânica – UniFOA

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Mecânica – UniFOA

<sup>3</sup> Graduando em Engenharia Mecânica – UniFOA

<sup>4</sup> Técnico de Laboratório – UniFOA

o resfriamento do corpo-de-prova, é feito um mapeamento da dureza no sentido longitudinal do mesmo, a partir da extremidade resfriada, sendo esses resultados exibidos graficamente como uma variação da dureza em função da distância. Pode ser visto, na Figura 1, um esquema da realização do ensaio e da obtenção da curva de temperabilidade Jominy.

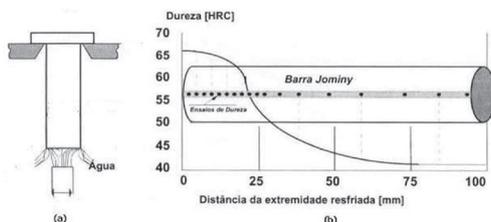


Figura 1. Ensaio Jominy esquemático: (a) ensaio; (b) curva de dureza x distância

## 1.2. Aplicação Prática do Ensaio Jominy

Compete ao engenheiro a aplicação de conhecimentos adquiridos com a teoria associados à experiência, a fim de obter-se o melhor desempenho possível dos materiais selecionados para a fabricação de componentes mecânicos e estruturais, tudo isso aliado, preferencialmente, a um menor custo.

O conhecimento das transformações metalúrgicas sofridas pelas ligas metálicas, como é o caso dos aços, pode possibilitar a adequação da sua estrutura metalúrgica e, consequentemente, das suas propriedades mecânicas para uma aplicação específica, sem a necessidade de maiores investimentos como a aquisição de ligas mais nobres ou especialmente processadas para aquele fim.

O ensaio Jominy é uma ferramenta que nos permite entender melhor essas transformações, já que possibilita estudar e comparar a evolução microestrutural de diversos tipos de aços, quando submetidos, controladamente, a um rápido resfriamento a partir da região austenítica.

Além disso, para exemplificar a praticidade da utilização do ensaio Jominy, pode-se citar o seu uso para determinar, com boa aproximação, a dureza de barras de aço temperadas, como cilindros de laminação ou eixos mecânicos. Neste caso, veremos que é possível prever o perfil de durezas destes componentes depois de temperados em um meio de resfriamento qualquer, sem que tenha que se recorrer ao corte dos mesmos.

Isso pode ser feito ao associar os resultados do ensaio Jominy aos resultados obtidos ao se estudar o resfriamento contínuo, a partir de uma elevada temperatura, de barras com diversos diâmetros. Admite-se, nesse caso, que a dureza e as propriedades físicas adquiridas por um aço depois da têmpera, efetuada em condições normais, são sempre funções exclusivas do processo de resfriamento.

A velocidade de resfriamento de uma peça depende do tamanho desta, do meio de resfriamento e da temperatura de têmpera. Isso quer dizer que, se é conhecida a dureza que adquire um aço depois da têmpera, quando o resfriamento foi feito de uma forma determinada, conheceremos também a dureza de qualquer ponto do mesmo aço que tenha se resfriado de forma análoga, independentemente de sua posição na peça, da forma e tamanho desta, bem como do meio de resfriamento empregado.

Conhecendo as durezas obtidas ao se efetuar o ensaio Jominy de um aço e as condições de resfriamento dos diferentes pontos do corpo-de-prova, pode-se conhecer a dureza que se obtém no interior de peças resfriadas nas mesmas condições. Desse modo, as curvas Jominy podem ser utilizadas para se prever a distribuição de dureza em barras de aço de diferentes dimensões, resfriadas em vários meios de resfriamento.

As velocidades de resfriamento nos vários pontos do corpo-de-prova Jominy podem ser comparadas com as velocidades de resfriamento em barras de vários diâmetros resfriadas em vários meios de resfriamento. Esta comparação pode ser feita pelo uso dos gráficos de Lamont, os quais servem para poder encontrarem-se as velocidades de resfriamento em diversas posições de uma barra, partindo do seu centro até a sua superfície, quando resfriada em condições normais, ou seja, mergulhando-a totalmente em um meio de resfriamento.

Uma vez encontrada a velocidade de resfriamento em uma determinada posição da barra, podemos utilizar um gráfico de ensaio Jominy de um aço específico para sabermos a dureza resultante na mesma.

## 2. Projeto e Construção do Aparato Jominy

O aparato Jominy foi projetado e construído segundo a norma NBR 6339/89 da ABNT. Esta norma permite o ensaio de diferentes modalidades de corpos-de-prova, que é função de suas dimensões e origens, sendo classificados como corpos-de-prova convencional, reduzido e fundido. Neste caso, o aparato possibilita, a partir de um pequeno e fácil ajuste para fins de adaptação ao modelo de corpo-de-prova utilizado, o ensaio de uma ampla faixa de diferentes tipos de aços, independentemente do método de fabricação, processamento e dimensões disponíveis dos mesmos, o que nos fornece uma versatilidade muito grande em termos operacionais e de pesquisa.

Foram utilizados diversos tipos de materiais na construção do aparato, podendo-se citar o uso de polímeros, metais não ferrosos e ferrosos. A escolha para cada item do dispositivo, ainda na etapa do projeto, foi feita de forma que tivéssemos um aparato eficiente, robusto e duradouro, que ficasse operacional por vários anos, sem a necessidade de manutenção frequente. Daí, pode-se mencionar, como exemplo, o amplo uso do aço inoxidável, como na construção da estrutura do aparato, a fim de evitar danos por corrosão ao mesmo, ao passo que se obteve, ainda, um bom acabamento estético.

Pode ser visto nas Figuras 2 a 4 o aparato Jominy em algumas de suas fases do projeto.



Figura 2. Aparato Jominy em construção



Figura 3. Teste do Aparato Jominy.



Figura 4. Aparato Jominy instalado no laboratório de tratamentos térmicos.

## 3. Resultados

A Figura 5 mostra parte do procedimento para a realização do ensaio Jominy. Nela pode ser vista a retirada do corpo-de-prova do forno e a realização, propriamente dita, do ensaio Jominy.





Figura 5. Retirada do corpo-de-prova do forno e realização do ensaio Jominy.

Esse procedimento foi utilizado para a obtenção das curvas de temperabilidade Jominy dos aços SAE 1045 e SAE 4340, os quais possuem uma grande aplicação industrial. Essas curvas são apresentadas na Figura 6, podendo se observar facilmente a superior capacidade de temperabilidade do aço SAE 4340 quando comparada a do aço SAE 1045. 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, o que muito irá contribuir quando da seleção dos mesmos para uma determinada aplicação.

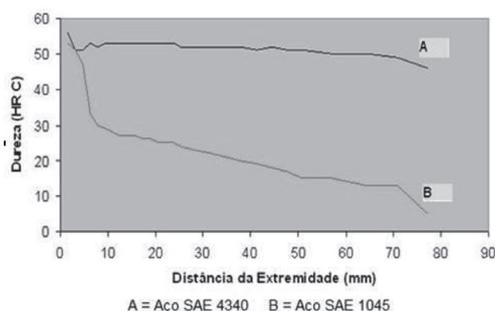


Figura 6. Curvas de temperabilidade: Aços SAE 1045 e 4340

#### 4. Conclusão

O objetivo do trabalho foi o de construir um aparato que permitisse à comunidade acadêmica, uma ferramenta para uma melhor compreensão do comportamento dos aços quando submetidos a um determinado ciclo térmico. Vários fenômenos ocorrem, e os mesmos afetam as propriedades dos aços. Fenômenos, tais como ocorrem na transformação de fases, são expostos e debatidos em aulas teóricas, mas

é fundamental uma complementação prática que contribua na consolidação desta teoria.

Essa complementação foi, em parte, obtida com o aparato Jominy, o qual, além de possibilitar o ensaio de vários tipos de aços, permite fazer uma comparação entre o comportamento dos mesmos. O aparato serve, ainda, como uma ferramenta para poder inferir a dureza em peças e componentes mecânicos submetidos a um processo de têmpera, sem a necessidade de destruí-los.

Muito ainda pode ser obtido do aparato, e o mesmo se encontra apto para ser utilizado em aulas, pesquisas e otimização de projetos, contribuindo para o avanço e a qualidade do ensino e da pesquisa no UniFOA.

#### 5. Referências Bibliográficas

CALLISTER Jr., W. D. - Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 5a edição, LTC, Rio de Janeiro, 2002.

ASM HANDBOOK. Heat Treating. 10th edition, ASM International, vol. 4, USA, 1991.

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

Steel Heat Treatment Handbook: Metallurgy and Technologies, 2th Ed. Edited by George E. Totten, CRC Press, 2007.

#### Endereço para Correspondência:

Carlos Roberto Xavier  
Curso de Engenharia Mecânica - UniFOA  
carlos.xavier@foa.org.br

Centro Universitário de Volta Redonda  
Campus Três Poços  
Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, nº 1325,  
Três Poços - Volta Redonda / RJ  
CEP: 27240-560

#### Informações bibliográficas:

Conforme a NBR 6023:2002 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), este texto científico publicado em periódico eletrônico deve ser citado da seguinte forma: XAVIER, Carlos Roberto; GONÇALVES, Tarcísio dos Santos; SOUSA, João Antonio de Araújo; VIEIRA, Luiz Carlos de Andrade; MARCELO, Célio de Jesus. Projeto e Construção do Aparato Jominy: Uma Contribuição para a Pesquisa no UniFOA. *Cadernos UniFOA*. Volta Redonda, ano IV, n. 10, agosto, 2009. Disponível em: <[http://www.unifoa.edu.br/portal\\_pesq/caderno/edicao/10/15.pdf](http://www.unifoa.edu.br/portal_pesq/caderno/edicao/10/15.pdf)>