

# AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E MICROESTRUTURAL DO AÇO CARBONO 1016

## EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y MICROESTRUTURAL DEL ACERO CARBONO 1016

### EVALUATION OF THE MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL BEHAVIOR OF 1016 CARBON STEEL

Davi José Oliveira de Souza Irlanda\*  
daviirlanda@gmail.com

Lara Barbosa de Oliveira Pinheiro\*  
poliveiralara@hotmail.com

Thiago Tranin Paulino\*  
thiago\_tranin@hotmail.com

Tiago Ortiz Arantes da Silva\*  
tiagoortiz\_bm@hotmail.com

Wesley Rossi Pimenta\*  
wesleyrossi2@bol.com.br

Ricardo de Freitas Cabral\*  
ricardo.cabral@foa.org.br

\* Programa de Mestrado Profissional em Materiais, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda – Brasil

#### Resumo

Dentre os materiais existentes na sociedade atual, diversas são as aplicabilidades dos materiais metálicos. Isso é devido a sua abundância na natureza, onde podem aparecer no estado livre ou composto proveniente do minério, e pelo fato de após processados apresentarem diversas características mecânicas e físicas específicas. As ligas metálicas têm a função de acrescentar uma ou mais características que o metal base nela presente não apresenta por si só. Os aços de baixo carbono, conforme o artigo, podem conter até 0,2 por cento de carbono em massa na sua estrutura. Este artigo tem como objetivo caracterizar mecanicamente, e microestruturalmente, uma amostra de aço carbono SAE 1016. Para isto, foram realizadas avaliações da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) do material, ensaios de tração, e macrodureza Rockwell. Na avaliação microestrutural, a amostra apresentou características de ferrita e perlita, e também exibiu grãos bem elevados. Nos ensaios de tração, a amostra apresentou alongamento de 44,8%, e alta tensão de escoamento de 410MPa, quando comparada à literatura, que é de 325 MPa para aços normalizados. Os testes de macrodureza Rockwell com uma carga máxima na amostra de 100 Kgf, apresentou uma média de 84,3 HRB, e um desvio padrão de 0,47. Demonstrando assim, uma uniformidade e homogeneidade da amostra analisada.

**Palavras-chave:** Aço carbono; Tração; Macrodureza Rockwell; Microestrutura.

#### Resumen

Entre los materiales existentes en la sociedad actual, diversas son las aplicaciones de los materiales metálicos. Esto es debido a su abundancia en la naturaleza, donde pueden aparecer en el estado libre o compuesto proveniente del mineral, y por el hecho de después de procesados presentar varias características mecánicas y físicas específicas. Las aleaciones metálicas tienen la función de añadir una o más características que el metal base en ella presente no presenta por sí solo. Los aceros de bajo carbono, según el artículo, pueden contener hasta un 0,2 por ciento de carbono en masa en su

estrutura. Este artículo tiene como objetivo caracterizar mecánicamente, y microestructuralmente, una muestra de acero carbono SAE 1016. Para ello, se realizaron evaluaciones de la Microscopía Electrónica de Barrido (MEV) del material, ensayos de tracción, y macrodureza Rockwell. En la evaluación microestructural, la muestra presentó características de ferrita y perlita, y también exhibió granos muy elevados. En los ensayos de tracción, la muestra presentó estiramiento del 44,8%, y alta tensión de flujo de 410MPa, en comparación con la literatura, que es de 325 MPa para aceros normalizados. Las pruebas de macrodureza Rockwell con una carga máxima en la muestra de 100 kgf, presentó una media de 84,3 HRB, y una desviación estándar de 0,47. Demostrando así una uniformidad y homogeneidad de la muestra analizada.

**Palabras Clave:** Acero carbono; tracción; Macrodureza Rockwell; microestructura

### Abstract

Among the materials that exist in the daily life of society, there are several applications of metallic materials. That is because of their abundance in nature, where they may appear in the free state or compound coming from the ore, and the fact that after processed they present several specific mechanical and physical characteristics. The metal alloys have the function of adding one or more characteristics that the base metal present in it does not present by itself. Low-carbon steels, according to the article, may contain up to 0.2 percent carbon by weight in their structure. This article has the objective characterize mechanically, and microstructurally, a sample of SAE 1016 carbon steel. For this, evaluations were made of Scanning Electron Microscopy (SEM) of the material, tensile tests, and Rockwell macrohardness. In the microstructural evaluation, the sample presented characteristics of ferrite and perlite, besides the presence of very high grains. From the tensile tests, the sample had an elongation rate of 44.8%, and high tension leakage of 410MPa, compared with the literature, which is 325 MPa for steels normalized. Rockwell macrohardness tests with a maximum charge on sample of 100 kgf that mean a average of 84.3 HRB, and a standard deviation of 0.47. Showing a uniformity and homogeneity of the sample analyzed.

**Keywords:** Carbon steel; Traction; Macrohardness Rockwell; Microstructure

---

## INTRODUÇÃO

Segundo Caruso (2001), define-se, metalurgicamente, “aço carbono” como uma liga de ferro abrangendo uma massa de carbono de 0,05 a 2,0%. Esses aços contém uma quantidade primordial de ferro e carbono, além de fósforo, enxofre e manganês. Apresentando ainda, em alguns casos, uma pequena quantidade de alumínio, cobre e silício.

As variações de resistência e dureza do aço carbono são alcançadas pelas modificações da porcentagem de carbono ou por tratamento térmico. Este é preferido devido as grandes aplicações práticas, e aos baixos valores comerciais (Silva & Avanzi, 2011). O aço carbono pode ser caracterizado de acordo com sua composição ou teor de carbono nele contido. São considerados com baixo carbono, quando possuem até 0,25% de carbono em sua composição (Colapert, 1983).

O aço SAE 1016, tem em sua composição: 0,14 Carbonos (C), 0,26 Silício (Si), 0,18 Fósforo (P), 0,67 Manganês (Mn), 0,02 Enxofre (S), 0,13 Cobre (Cu), 0,05 Níquel (Ni), 0,06 Cromo (Cr), 0,02

Estanho (Sn), 0,02 Nióbio (Nb) e 92,00 Nitrogênio (N). Mas dependendo do processo siderúrgico, a porcentagem de cada material pode variar. E por, dentre outros fatores, possui dificuldade de aperfeiçoar suas propriedades de resistência e dureza a partir de tratamentos térmicos, e é considerado um aço de baixo carbono (Souza, 1982)

Este artigo tem como objetivo final a caracterizar a microestrutura e mecânica de uma amostra de aço carbono SAE 1016. Através de avaliações de microscopia ótica e MEV, e ensaios de tração e macrodureza Rockwell. Para assim, comparar os resultados obtidos com a literatura do aço carbono SAE 1016.

## PERCURSO METODOLÓGICO

A amostra de aço-carbono SAE 1016 utilizada na caracterização, com medidas médias de 12,58 mm de largura e 2,20 mm de espessura, passou primeiramente pelo processo de metalografia. O processo é constituído de cinco etapas, todas essas realizadas no laboratório da UniFOA.

A primeira etapa do processo foi o corte da secção a ser analisada. Utilizou-se uma Cortadora Metalográfica Teclago C-M40, contendo disco abrasivo refrigerado, de maneira que a amostra não sofresse alterações em sua microestrutura pelo método aplicado. Buscando tornar o procedimento mais ergonômico e seguro, foi necessário realizar o embutimento da amostra recortada. Para isso, a amostra foi inserida junto ao baquelite (resina fenólica) em uma Embutidora Metalográfica EM-30 série 3030, onde permaneceu entre 160°C e 170°C e pressão de até 120kgf/cm<sup>2</sup> durante 15 minutos.

Em seguida, realizou-se o lixamento da amostra em uma Politriz Lixadeira Metalográfica Arotec, contendo lixas de carbetto de silício de oito granulometrias diferentes (220, 400, 600, 1000, 1200 e 1500), respeitando uma ordem crescente. Durante esse processo, fez-se necessário um giro de 90° entre o uso de cada lixa. Além da utilização de água para refrigerar o processo na lixadora. Concluído o procedimento com a última lixa, foi verificado através de um Microscópio Metalográfico Invertido Opton TNM-07T-PL (lente ocular de 10x e objetivas de 10X, 20X e 40X), se a superfície da amostra estava pronta para a microscopia ótica. E pode se verificar que a superfície estava pronta para a etapa de polimento.

O polimento possui o objetivo de alcançar o padrão espelhado, foi utilizado um feltro apropriado e pasta de óxido de alumina como material abrasivo. Com a superfície da amostra no padrão espelhado, foi realizado o ataque químico, e o último passo do procedimento de preparação, a

fim de revelar a microestrutura da amostra. A mesma foi mergulhada num reservatório com o reagente químico, o Nital 2% (solução de etanol e ácido nítrico), com a finalidade de destacar os contornos de grãos. Este ataque foi realizado dentro de uma capela, para a exaustão dos vapores gerados durante o procedimento.

### Ensaio de Tração

Para o ensaio de tração, a amostra foi medida duas vezes por meio de um Paquímetro Analógico Mitutoyo com precisão de 0,05mm, com intuito de se obter as dimensões de espessura, largura, comprimento do corpo de prova antecedente ao ensaio, e área transversal da seção, conforme Tabela 1. Além disso, foi marcado na área útil do corpo de prova o comprimento inicial.

**Tabela 1:** Dimensões do corpo de prova

Corpo de prova		
Medida	Largura (mm)	Espessura (mm)
1°	12,6	2,2
2°	12,55	2,2
Média	12,58	2,2
Área transversal	27,68mm <sup>2</sup>	
Comprimento	40mm	

**Fonte:** Os autores (2019).

Com a utilização da Máquina Universal de Ensaio de 100 kN Linha DL EMIC, o corpo de prova foi fixado à barra de carga perpendicular à seção reta, e preso à garra de modo assegurar a aplicação de uma carga axial de 500 kgf com taxa de carregamento de 3 mm/min. Os valores do dimensional foram aplicados no software obtido junto aos demais parâmetros de controle para o teste.

Em seguida, foram inseridos os valores do dimensional obtido junto aos demais parâmetros de controle para o teste. Após o processo de ruptura, o Corpo de prova foi retirado da máquina, que por sua vez levantou os resultados do limite de escoamento e tensão máxima do material, e foi medido o comprimento final da área marcada antes do ensaio com o intuito de calcular, no corpo de prova, seu alongamento em porcentagem. Para efetuar o cálculo do alongamento foi utilizada a Equação 1.

$$A = \left[ \frac{(L_R - L_O)}{L_O} \right] \times 100\% \quad (1)$$

Onde:

$A$  = Alongamento

$L_R$  = Comprimento final

$L_0$  = Comprimento Inicial

## MEV

No MEV as amostras foram avaliadas em um microscópio eletrônico de varredura da marca HITACHI e modelo TM 3000, através do software Tabletop Microscope, operando à 20 kV, com a utilização de um detector de elétrons secundários. Foram examinadas as amostras fraturadas e embutidas em baquelite, com ampliação de 2000X. Com intuito de reduzir a impedância, melhorando assim a condutividade elétrica do material, fez-se necessário a utilização película de cobre e, foi realizado vácuo, no porta amostras, para não oxidar as amostras.

## Macro dureza Rockwell

O ensaio de macro dureza Rockwell foi realizado no durômetro PANTEC, modelo RASN-RS. Para assegurar a confiabilidade do ensaio, e verificar a homogeneidades das amostras, o mesmo foi realizado três vezes consecutivas em áreas distintas do mesmo corpo de prova. As áreas de indentação foram definidas, e a amostra já polida foi posicionada de acordo com as áreas. O durômetro foi regulado para uma carga máxima de 100 kgf. Mas, fez-se necessário a aplicação de uma pré-carga de 10 kgf em cada ensaio com uma duração de 15s, realizado por um penetrador tipo esfera de aço temperado.

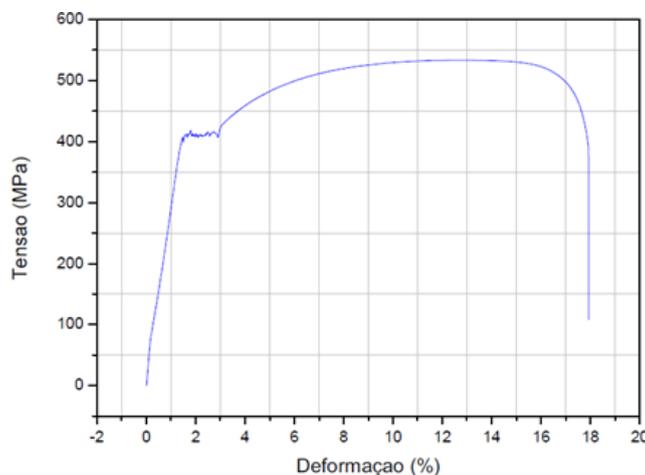
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Ensaio de tração

A Figura 1 ilustra os resultados obtidos no ensaio de tração para aço 1016. Os valores obtidos, para o limite de escoamento foi de 114 MPa e tensão máxima de 534 MPa, tais números foram observados após o rompimento do corpo de prova. Além de uma porcentagem de 44,8% de alongamento. Onde mesmo demonstra um formato característico de um material que apresenta baixo teor de carbono, ou seja, o material se portou conforme o esperado (Van Vlack, 1988). Outro fator que comprova as características do material é a análise realizada no MEV, Figura 3 (a) e (b). Onde foi

possível visualizar uma fratura dúctil com grãos alongado o que evidência alta tensão entre os contornos de grão (Garcia, Spin & Santos, 2000).

**Figura 1:** Respostas do ensaio de tração do aço 1016.



**Fonte:** Os autores (2019).

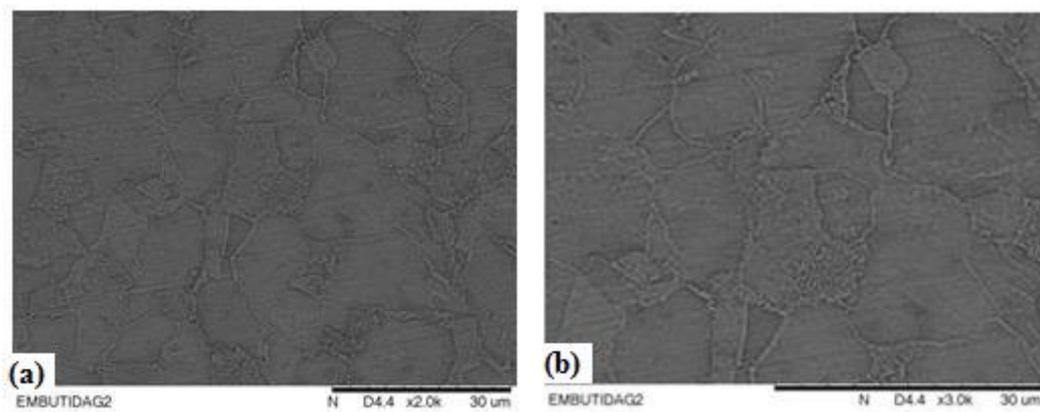
## MEV

A Figura 2 (a) e (b) apresentam as microestruturas obtidas pelo MEV da amostra embutida, com ampliação de 2000X. Onde é possível observar várias cavidades de caracterizam uma fratura tipo dúctil, além da existência de vários planos. Na amostra fraturada, a Figura 3 (a) e (b) gerada pelo MEV, com ampliação de 2000Xapresentam a existência de grãos com formatos elevados e nos contornos de grãos a presença de perlita.

A Figura 3 (a) e (b) também demostram uma fratura do tipo dúctil, pois existe uma grande deformação plástica ao redor da trinca, que se propaga à medida que a tensão é aplicada (Teixeira, et al., 2016). Observa-se também, na amostra fraturada, a existência de trincas, e grãos com formatos bem definidos em vários planos. Segundo a relação de *Hall-Petch*, a elevação do tamanho dos grãos não é conveniente, pois o movimento das discordâncias não é restringido (Callister, 2008). Os tamanhos dos grãos interferem também na tensão deste aço, a intensidade desta tensão é influenciada pelo elevado tamanho dos grãos (Colpaert, 2008).

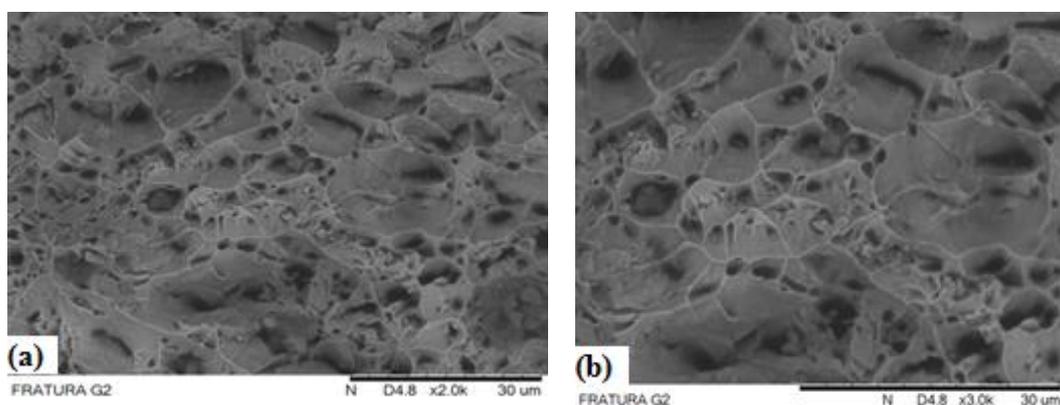
Ao comparar as ampliações das amostras embutidas, Figura 3 (a) e (b), e fraturadas, Figura 4 (a) e (b), verifica-se claramente, que a fraturada apresenta uma coloração mais clara dos poros e dos planos existentes na amostra, além disso, pode-se observar o rompimento dos grãos enquanto na embutida, pode-se observar a propagação das trincas nos planos.

**Figura 2:** (a) e (b) MEV da amostra embutida, com ampliação de 2000X.



**Fonte:** Os autores (2019).

**Figura 3:** (a) e (b) MEV da amostra fraturada, com ampliação de 2000X.



**Fonte:** Os autores (2019).

### Macro dureza Rockwell

Os resultados obtidos foram de 84 HRB no primeiro ensaio, 85 HRB no segundo ensaio e 84 HRB no terceiro ensaio. Resultando assim em uma média de 84,3 HRB, e um desvio padrão de 0,47, certificando uma uniformidade e homogeneidade da amostra analisada.

Quanto a dureza, o material apresentou características conforme esperado de um material de baixo carbono, com microestrutura Ferrita + Ferrita e Perlita sem que haja presença de grãos encruados (Chiaverini, 2008). A partir dos três testes efetuados, foi encontrado uma média de 84,3 HRB, o aço 1016 normalizado apresenta dureza na faixa de 125 a 165 HRB segundo a GERDAU (2003), ou seja, os números para um encruamento seriam maiores até que o aço tratado termicamente.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com o ensaio de tração efetuado nos corpos de prova, e mediante a análise, foi possível conhecer e identificar, de forma bem evidente as propriedades dos materiais dúcteis e suas características mecânicas. Os ensaios realizados foram bem-sucedidos e apresentaram de maneira objetiva, a fase de ruptura de um aço baixo carbono encontrado em diversos segmentos da indústria.

Possibilitou também averiguar as características, decorrente de um ensaio prático onde o corpo de prova apresentou limite de escoamento na ordem de 114 MPa e 534 MPa para tensão de ruptura além de alongamento de 44,8%. Já para a dureza apresentou um valor médio de 84,3 HRB, isso após três medições em pontos diferentes da amostra embutida.

Todas as características superficiais apresentadas pela amostra foram de acordo com um aço 1016, exibindo uma matriz ferrítica em dominância, com pontos de perlita em minoria. Estes pontos são observáveis nos contornos de grão. O MEV confirmou a ductilidade ao analisar a fratura típica de um material dúctil.

## REFERÊNCIAS

- CARUSO (2001). Informações Gerais Sobre os Aços. Centro Federal de Educação Tecnológica de São Paulo – CEFET/SP, (p. 2-5).
- CALLISTER W. (2008). Ciência e Engenharia de Materiais Uma Introdução. (7<sup>o</sup> ed). Livros Técnicos e Científicos Editora LTDA.
- GERDAU. (2003). Catálogo Manual de Aços. Rio de Janeiro.
- SILVA, A. C. & AVANZI, C. (2011). Mecânica Tecnologia dos Materiais e Industrial (Vol: 2). São Paulo.
- TEIXEIRA, G., PEREIRA L., FARIAS I., GANDUR N., FLORES P., OLIVEIRA R. & SILVA M. (2016). Análise Fractográfica em MEV – Fratura Dúctil x Fratura Frágil. Revista Militar de Ciência e Tecnologia [RMCT], 33 (2), 85-86.

VAN VLACK, L. H. (1988). *Princípios de ciência e tecnologia dos materiais*. (2º ed.). São Paulo: Editora Campus.

COLPAERT, H. (2008). *Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns*. Revisão técnica André Luiz V. da Costa e Silva. (4. ed.). São Paulo: Edgard Blucher.

GARCIA, A., SPIM, J. A., SANTOS, C. A. (2000). *Ensaio dos materiais*. Ed. LTC, Rio de Janeiro.

SOUZA, S. A. (1982). *Ensaio mecânicos de materiais metálicos: fundamentos teóricos e práticos*. Ed. Edgard Blucher.

CHIAVERINI, V. (2008). *Aços e Ferros Fundidos*. (7ª ed.). São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais.

COLPAERT, H. (1983). *Metalografia dos Produtos Siderúrgicos Comuns*. (3ª ed.). Edgard Blucher.

Recebido em: 05/06/2019

Aceito em: 19/06/2019

Endereço para correspondência:

Nome Ricardo de Freitas Cabral email  
ricardo.cabral@foa.org.br



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)