

# Estudo da morfologia e da dureza, por microindentação vickers, do ferro fundido nodular

*Study of morphology and toughness in microindentação nodular cast iron vickers*

<sup>1</sup> Bruno de Oliveira Teixeira  
<sup>1</sup> Grazielle de Oliveira Tostis  
<sup>1</sup> Rafaela Rodrigues Brandão  
<sup>1</sup> Carlos Rogério de Oliveira Coutinho  
<sup>2</sup> Ricardo de Freitas Cabral

<sup>1</sup> Discente do Mestrado profissional em Materiais, do UniFOA.

<sup>2</sup> Professor Doutor, Centro Universitário de Volta Redonda - UniFOA / Centro Universitário Geraldo di Biase - UGB.

## Resumo

Os estudos da estrutura do ferro fundido nodular têm sido difundidos ao longo dos anos, principalmente devido às características apresentadas por esse material, que se assemelham às características dos aços de baixo e médio carbono. Tal semelhança, combinada com um baixo custo de produção, faz com que o material seja amplamente utilizado no setor industrial. Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização microestrutural e a análise da microdureza Vickers do ferro fundido nodular. As amostras foram preparadas metalograficamente, conforme norma ASTM E 407. Foram utilizados os seguintes equipamentos para análise da estrutura do material: microscópio óptico (MO), microscópio metalográfico invertido, microscópio eletrônico de varredura (MEV), microdurômetro e durômetro. Análises realizadas em microscópio óptico e microscópio metalográfico invertido mostraram uma microestrutura caracterizada pela formação da grafita em nódulos ou partículas de formato esférico. Esse resultado também foi analisado pelas imagens de alta resolução obtidas no MEV. Foram realizados testes de microdureza na escala Vickers com duas cargas de indentação. Os resultados mostram que, tanto na análise microestrutural, quanto na análise de dureza, os valores claramente evidenciam as características do material estudado, em que a dureza do produto foi de 170 HV.

## Palavras-chave

Ferro fundido nodular; Microestrutura; Microdureza Vickers.

## Abstract

*The studies of the structure of Nodular Cast Iron have been broadcast over the years, mostly due to the characteristics shown by this material, which resemble the characteristics of the low and medium carbon steels. This similarity, combined with a low production cost, makes the material is widely used in industry. This work has as main objective the microstructural characterization and the analysis of Microhardness Vickers of Nodular Cast Iron. Samples were prepared metallographic as ASTM E 407. We used the following equipment to analyze the structure of the material: Optical Microscope (OM), Inverted Metallographic Microscope, Scanning Electron Microscope (SEM), Microdurometer and durometer. Analyzes in Optical Microscope and Microscope Inverted Metallographic showed a microstructure characterized by the formation of graphite nodules, or particles of spherical shape. This result was also analyzed by high-resolution images obtained from SEM. Hardness tests were performed on the Vickers scale with two loads of indentation. The results show that both the microstructural analysis, the analysis in hardness, values clearly show the features of the studied material, wherein the hardness of the product was 170 HV.*

## Keywords

Nodular Cast Iron; Microstructure; Microhardness Vickers.

## Como você deve citar?

CABRAL, Ricardo de Freitas et al. Estudo da morfologia e da dureza, por microindentação vickers, do ferro fundido nodular. **Cadernos UniFOA**, Volta Redonda, n. 28, p. 25-30, ago. 2015.

## 1 INTRODUÇÃO

O material deste estudo é o ferro fundido nodular, uma liga composta de, basicamente, carbono e silício, com o carbono (grafita) livre na matriz metálica. Entretanto, possui forma esferoidal, devido à combinação de propriedades como elevada tenacidade, resistência à tração, ductilidade, resistência ao desgaste e à fadiga, o que o torna um material de engenharia competitivo, que, devido à formação da grafita em nódulos, adquire características semelhantes às do aço. Além disso, a presença das esferas ou nódulos de grafita mantém as características de boa usinabilidade e razoável estabilidade dimensional (CALLISTER, 2003).

Por outro lado, considerando o diagrama de fases estável, no qual o carbono se apresenta em grande quantidade na forma de grafita, Chiaverini (2002) atribui aos ferros fundidos a seguinte definição: "ferro fundido é a liga de Fe-C-Si, com teores de carbono geralmente acima de 2%, em quantidade superior à que se é retida em solução sólida na austenita, de modo a resultar carbono parcialmente livre, na forma de veios ou lamelas de grafita. Em ambos os casos, ainda é constante a presença dos elementos manganês, fósforo e enxofre nas ligas de ferro fundido, sendo os dois últimos considerados impurezas", cujo objetivo é a melhoria da produtividade com redução de custo nas operações.

Esse material pode ser utilizado em aplicações de alto desempenho, como autopeças, em que a ocorrência de falhas por fragilidade pode originar graves desastres, envolvendo vidas humanas, com o custo ligeiramente maior, quando comparado ao ferro fundido cinzento, devido às estreitas faixas de composição químicas utilizadas para esse material. As peças de ferro fundido temperado são 10% mais leves que as mesmas peças feitas em aço para uma mesma aplicação e mais fáceis de usinar do que os aços com durezas equivalentes, etc. (SILVA, 2008; FEISTE, 2002).

O objetivo deste artigo é realizar a caracterização microestrutural do material, por meio da análise de micrografias, ensaios de microdureza Vickers e dureza Rockwell, comparando os resultados obtidos com informações encontradas em bibliografias e estudos sobre o ferro fundido nodular. Com os resultados, pretende-se avaliar as propriedades mecânicas e estruturais do material.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizadas barras retangulares de (10x10) mm<sup>2</sup> do ferro fundido nodular, que foi cortada no tamanho desejado, utilizando-se uma cortadora metalográfica Teclago CM40 com disco abrasivo, do UniFOA. Em seguida, a amostra foi embutida a quente, utilizando-se baquelite, em uma embutidora metalográfica Arotec PRE 30Mi, do UniFOA.

Após o embutimento, as amostras foram submetidas ao processo de lixamento, utilizando-se uma politriz lixadeira metalográfica Arotec e lixas de carbetto de silício, do UniFOA. As granulações das lixas foram de 220, 400, 600, 1000, 1200 e a 1500 microns, cada qual com uma rotação padrão alto, girando em torno de, aproximadamente, 2 minutos por lixamento, cuja finalidade final seria a de se conseguir ver a microestrutura final do corpo de prova. Em seguida, o corpo de prova foi levado até o microscópio óptico marca Opton, do UniFOA, que possui uma lente ocular de 10x e lentes objetivas de 10x, 20x e 40x. Verificou-se que o padrão esperado era adequado.

Após o lixamento e análise da superfície, foi realizado o polimento, utilizando uma politriz com um feltro apropriado e alumina com diferentes granulações (1; 0,3 e 0,05 µm), a fim de se obter uma superfície espelhada, ideal para realizar a última etapa do procedimento, o ataque químico. O reagente utilizado para atacar quimicamente a amostra foi o Nital 2%. A amostra foi imersa durante 3 segundos

em um recipiente contendo o reagente químico, para revelação das microestruturas típica do ferro fundido nodular.

Após o ataque químico, a amostra foi lavada e, em seguida, seca, a fim de isentá-la de qualquer impureza que pudesse dificultar a visualização da superfície atacada. Utilizou-se o microscópio metalográfico invertido Opton TNM-07T-PL e um microcomputador com o software Scope Photo 3.0, ambos do UniFOA, para realizar a microscopia ótica nas ampliações desejadas.

Foi realizada a análise por MEV, marca Hitachi TM3000, e software TM-3000, do UniFOA, para obtenção das imagens com ampliações maiores e mais detalhadas dos materiais. Para iniciar o processo, foi retirado o vácuo do compartimento do equipamento e logo foi inserido e fixado o material sem baquelite. Em seguida, feito o vácuo para a retirada de impurezas e, assim, gerou-se a imagem. Logo, o mesmo processo foi realizado novamente, porém com o material embutido em baquelite. Como o baquelite não é condutor, foi necessário colocar uma fita de cobre para promover a condutividade, pois as imagens são geradas pelos feixes de elétrons com intensidade de 5KV a 15KV.

Em seguida, foi realizada a microdureza Vickers, medindo-se as diagonais e obtendo-se a medida direta em HV no equipamento. O valor da dureza é dado em função da área impressa pela indentação que tem o formato de uma pirâmide invertida de diamante, cuja carga aplicada é em kgf, dividida pela média ao quadrado das diagonais de indentação em mm<sup>2</sup>, de acordo com a equação 1:

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

Onde:

F= é a carga em kgf;

d = é a media aritmética das duas diagonais, d1 e d2 em mm;

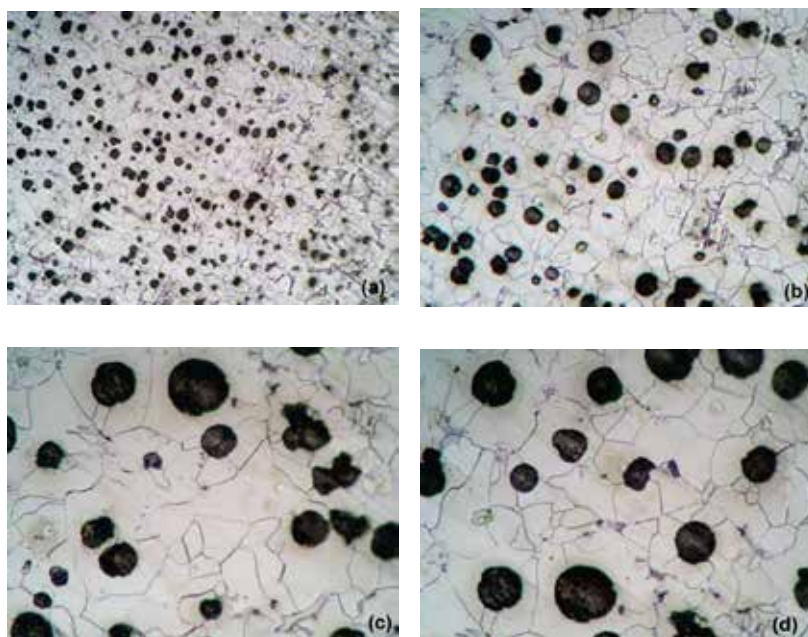
HV = é a dureza Vickers.

Para o cálculo do valor da dureza Vickers, foi utilizado um microdurômetro Time DHV-1000, com um indentador de diamante Vickers, do UniFOA, que tem a forma de uma pirâmide de base quadrada com ângulo de 136° entre as faces, e uma objetiva de 40X para realizar dez microindentações, durante 15 segundos, no ferro fundido nodular, obedecendo-se a distância de 1mm de uma impressão a outra, utilizando-se cargas de 500gf e 300gf.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

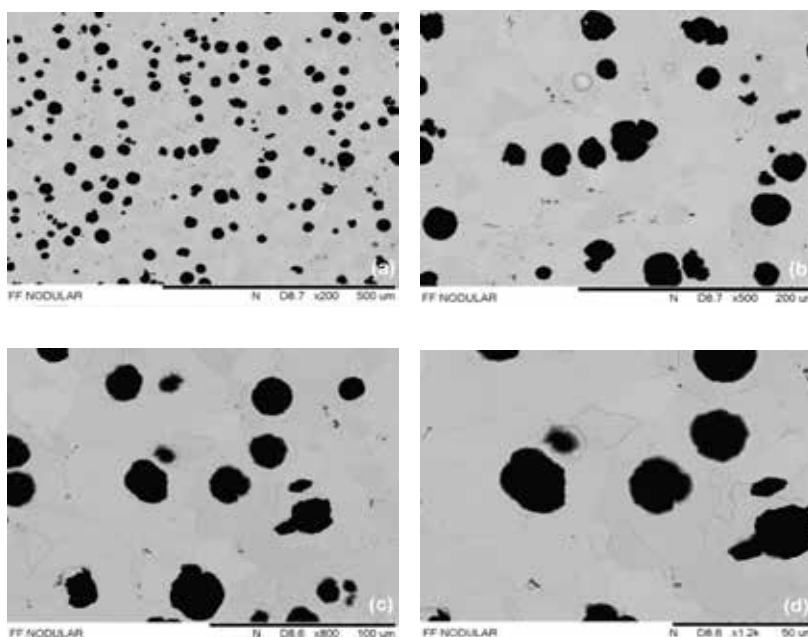
As Figuras 1 (a), (b), (c) e (d), nos aumentos de 100, 200, 400 e 1400 X, respectivamente, apresentam as imagens por microscopia ótica de uma amostra do material, no seu estado bruto de fusão, onde é possível observar os nódulos de grafita numa matriz metálica, que estão distribuídos de forma homogênea (FRANCKIN, 2008).

Figura 1 – Imagens da Microscopia Óptica, obtidas pelo Microscópio Metalográfico Invertido Opton TNM-07T-PL do UniFOA.



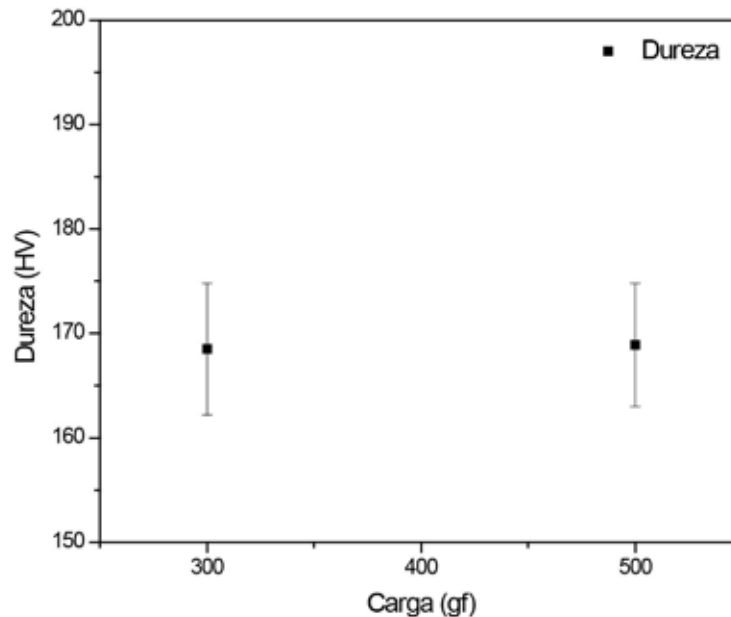
As microestruturas das Figuras 2 (a), (b), (c) e (d) ilustram as imagens por MEV da amostra de ferro fundido nodular, nos aumentos de 200, 500, 800 e 1200 X. Pela análise dessas imagens, foi possível observar nitidamente as partículas de grafita dispostas na matriz do material de forma homogênea, o que corrobora com as imagens obtidas nas análises de microscopia óptica.

Figura 2 – Imagens MEV do Ferro Fundido Nodular: (a) 200 X, (b) 500 X, (c) 800 X e (d) 1200 X



A Figura 3 apresenta os resultados da dureza por microindentação Vickers, sob as cargas de 300 e 500 gf. Como pode ser visto, os resultados foram muito semelhantes, em torno de 170 HV, o que corrobora com as imagens das Figuras 2 (a), (b), (c) e (d), cuja microestrutura está muito homogênea e com ausência de defeitos. E, ainda, a precipitação do carbono em nódulos na estrutura do material influencia de forma direta na sua dureza.

Figura 3 – Valores da dureza por microindentação Vickers do ferro fundido nodular, sob carga de 300 e 500 gf.



#### 4 CONCLUSÕES

A morfologia do material apresentou-se densa e bem homogênea, com ausência de defeitos.

A amostra apresentou uma dureza da ordem de 170 HV, típica do ferro fundido nodular com matriz predominantemente ferrítica.

O ensaio comprova a influência da formação da grafita em nódulos na dureza do material, que tem ainda como características, maior resistência mecânica e ductilidade do que o ferro fundido cinzento.

Com o aumento da carga, a impressão também aumentou proporcionalmente, mas os valores mantiveram-se inalterados.

## **REFERÊNCIAS**

CALLISTER, W.D. **Materials science and engineering: an introduction**. 6. ed. New York: 2003.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 6. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 1990.

M. B. DA SILVA, D. F. SANTOS. **Determinação da Usinabilidade do ferro fundido nodular produzido na fundição da Eletrotécnica LTDA**. Jun. 2008.

FRANCKIN, A. R. **Um Breve Estudo Sobre Ferro Fundido Nodular – TCC**; 2008, Uezo, Rio de Janeiro, 2008.

FEISTE, K. L.; REIMCHE, W.; BACH, FR. W.; MARQUES, P. F.; REBELLO, J. M. A., Caracterização das propriedades mecânicas de ferro fundido nodular por análise harmônica dos sinais das correntes parasitas, 6ª Conferência sobre Tecnologia de equipamentos, Rio de Janeiro, 2002.