

## ANÁLISE DE TEXTURA EM FERROS FUNDIDOS

Campos, M. F. de<sup>1</sup>, Rolim Lopes, L. C.<sup>1</sup>, Lee Tavares, F. C.<sup>2</sup>, Kunioshi, C. T.<sup>3</sup>, Goldenstein, H.<sup>3</sup>,  
Sema, M. M.<sup>4</sup>, Lima, N. B. de<sup>4</sup>

1 - Programa de Pós-graduação em Engenharia Metalúrgica - EEIMVR / UFF  
Escola de Engenharia Industrial Metalúrgica de Volta Redonda / Universidade Federal Fluminense  
Av. dos Trabalhadores 420- Vila Santa Cecília- CEP 27255-125, Volta Redonda, RJ, BRASIL

Email: [MCampos@metal.eeimvr.uff.br](mailto:MCampos@metal.eeimvr.uff.br)

2 - Thyssen Fundições, Barra do Pirai, RJ

3 - Depto. Metalurgia e Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

4 - IPEN, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares São Paulo, SP

### RESUMO

*A resistência a fadiga está diretamente relacionada à microtextura e à estrutura de contornos de grão. Estes dois importantes fatores microestruturais foram avaliados para três tipos de ferros fundidos, utilizando-se um Microscópio Eletrônico de Varredura com EBSD - "Electron Back Scattered Diffraction". Amostras de ferros fundidos: cinzento, vermicular e nodular foram caracterizadas, incluindo detalhada análise da microestrutura, da microtextura e da orientação de contornos de grão. Medidas complementares de macrotextura foram realizadas em um Difrátometro de Raios-X com goniômetro de textura, para os casos de ferro fundido nodular e vermicular. Diferenças nas morfologias da perlita encontrada nestes três tipos de ferro fundido são também discutidas. A análise de textura sugere uma distribuição randômica das orientações dos grãos de ferrita, provavelmente consequência do processo de produção, que inclui solidificação seguida de transformação de fase. A ausência de textura preferencial é atribuída ao processo de inoculação, no qual núcleos randômicos são colocados no metal fundido. Transformações de fase também tendem a favorecer randomização e isto ocorre em ferros fundidos pois solidificação primeiro origina austenita, a qual subsequente mente transforma-se em ferrita, com o resfriamento.*

Palavras-chave: ferros fundidos, textura, EBSD

## INTRODUÇÃO

Freios para caminhões são importantes aplicações de ferros fundidos. Como resultado da fricção durante serviço, estes componentes são submetidos a fadiga térmica. No projeto dessas peças, a resistência a fadiga é um atributo crítico para seleção de materiais (Juvinall & Marshek, 2000).

Vários trabalhos têm mostrado que o comportamento cíclico próximo ao limite de escoamento está relacionado a deformações microplásticas na região de contorno de grão (Rolim Lopes & Charleir, 1993; Rolim Lopes et al., 1998). Um destes estudos empregou análise EBSD “electron backscatter diffraction” em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) para investigar o fenômeno microplástico e sua relação com a microtextura e com a estrutura de contornos de grão (Rolim Lopes et al., 1998).

O objetivo do presente trabalho é investigar, em um MEV equipado com EBSD, a microestrutura, microtextura e distribuição da misorientação de contornos de grão de três tipos de ferros de maneira a ter suporte para futuros estudos do comportamento cíclico destes materiais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A composição química dos três tipos de ferros fundidos: cinzento, vermicular e nodular são mostradas na Tabela I.

Tabela I. Composição química das ligas

	C	Si	Mn	S	Cr	Cu	Sn	Mg	P
Cinzento	3.3	1.9	0.5	0.1	0.3	0.15	0.1	-	<0.05
Vermicular	3.65	2.1	0.45	0.02	0.015	0.15	0.003	0.021	0.03
Nodular	3.6	2.0	0.2	0.01	0.015	-	<0.006	0.04	<0.05

As amostras sofreram o procedimento metalográfico normal, sendo que o polimento final foi realizado com sílica coloidal. O ataque utilizado foi Nital 2%. Imagens EBSD e medidas de microtextura foram obtidas em um microscópio PHILIPS XL 30 acoplado a um sistema EBSD da TexSEM (TSL). O microscópio foi operado com tensão de 20 kV.

Medidas de macrotextura através de Difração de Raios-X foram realizadas em um Difrátômetro Rigaku equipado com goniômetro de textura, utilizando radiação Co K $\alpha$ .

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Microestrutura do ferro fundido cinzento

A microestrutura do ferro fundido cinzento é apresentada na Figura 1, onde pode ser visto que a matriz é perlítica, com grafita lamelar (em preto). Não foi possível determinar a orientação da grafita por análise EBSD. É problemático obter imagens EBSD da grafita, por causa de ambos baixo número atômico do carbono, e por causa da fragilidade da grafita, o que dificulta a preparação metalográfica (Randle, 1992; Randle, 2003).

Entretanto, a análise EBSD revela que toda a ferrita (Fe- $\alpha$ ) dentro de cada grão de perlita tem a mesma orientação, conforme pode ser observado nas Figura 2 e Figura 3) (ver Figura 4 para o código de cores das orientações na Figura 3). Porém, imagens EBSD de Fe- $\alpha$  apenas foram obtidas quando a perlita não é muito fina. Como, os microconstituintes do ferro cinzento estudado eram praticamente apenas perlita e grafita, apenas em poucas colônias de perlita foi possível obter informações sobre a orientação dos grãos. Quando o software que acompanha o EBSD não é capaz de resolver e apontar uma orientação específica do Fe- $\alpha$ , este software indica uma orientação qualquer, sem nenhum significado. Assim, os constituintes grafita ou cementita aparecem na figura 3 como “pequenos pontos”, sem significado específico. Este é um exemplo dos problemas que podem surgir quando EBSD é aplicado para analisar uma microestrutura com dois ou mais fases diferentes.

Convém ainda mencionar que Difração de Raios-X aplicada a amostras produzidas com solidificação unidirecional (Roviglione & Hermida, 2003; Roviglione, 2003; Roviglione & Hermida, 1994) pode permitir o estudo da orientação de diferentes fases. Por exemplo, Difração de Raios-X aplicada a um ferro fundido com matriz austenítica possibilita a determinação da relação de orientação entre austenita e grafita (Roviglione & Hermida, 1994).

### Microestrutura do ferro fundido vermicular

A microestrutura do ferro fundido vermicular é apresentada nas Figuras 5, 6 e 7. A matriz é ferrita, estando também presentes grafita vermicular e alguns grãos perlíticos, com perlita muito fina (ver Figura 5). A técnica EBSD foi eficiente para revelar claramente grãos e contornos de grãos (ver Figura 6). A orientação dos grãos ferríticos é randômica (Figura 7). Isto foi confirmado através de medidas de macrot textura por Difração de Raios-X, a qual é capaz de efetuar medidas em áreas mais extensas. Também foi determinado que a misorientação de contornos de grão segue aproximadamente a distribuição de Mackenzie (Mackenzie & Thomson, 1957; Mackenzie, 1958; Mackenzie, 1964), a qual prevê um pico para em torno de  $45^\circ$  de misorientação, para o caso de aleatória distribuição de contornos de grãos em materiais cúbicos.

### Microestrutura do ferro fundido nodular

O ferro fundido nodular estudado apresenta matriz ferrítica com nódulos de grafita (ver Figuras 8, 9, 10a e 10b). Alguns grãos de perlita muito fina podem também ser observados. Análise por EDS mostrou que os elementos de liga Si e Mg estão preferencialmente dentro dos nódulos, junto com a maioria do carbono.

EBSD possibilita uma clara identificação dos grãos e dos contornos de grão, assim como da orientação dos grãos (Figura 10b). A análise EBSD indica que a orientação dos grãos é aleatória. Isto foi confirmado medidas de macrotxtura por Difração de Raios-X. A misorientação dos contornos de grão é também próxima à esperada no caso da distribuição de Mackenzie (Mackenzie & Thomson, 1957; Mackenzie, 1958; Mackenzie, 1964), que prevê um ponto de máximo perto de  $45^\circ$ .

### A ausência de textura: origem e consequências

A ausência de textura é provavelmente por causa do processo de inoculação, o qual introduz aleatoriamente núcleos no líquido. Além disso, transformações de fase que ocorrem posteriormente, como a austenita transformando-se em ferrita, também favorecem aleatorização de orientações. Os resultados indicam que ferros fundidos estão entre aqueles raros materiais onde não é observada textura cristalográfica. Estes resultados são importantes, pois indicam que as propriedades mecânicas desses materiais sem textura tendem a ser isotrópicas. Portanto, a análise da microestrutura – e da macro e micro textura – mostra que a caracterização de propriedades mecânicas nestes materiais pode ser realizada em qualquer direção.

## **CONCLUSÕES**

A análise de textura dos três tipos de ferros fundidos indica distribuição randômica de orientação dos grãos. A distribuição da misorientação de contornos de grão é também próxima à prevista pela distribuição de Mackenzie, a qual tem máximo previsto para  $45^\circ$ . A ausência de textura preferencial é atribuída ao processo de inoculação, no qual núcleos são aleatoriamente introduzidos no líquido. Isto foi observado para os três tipos de ferros fundidos: cinzento, vermicular e nodular estudados neste trabalho. Estes resultados indicam que os ferros fundidos estão entre os raros materiais sem textura. A ausência de textura indica que as propriedades mecânicas destes materiais tendem a ser isotrópicas.

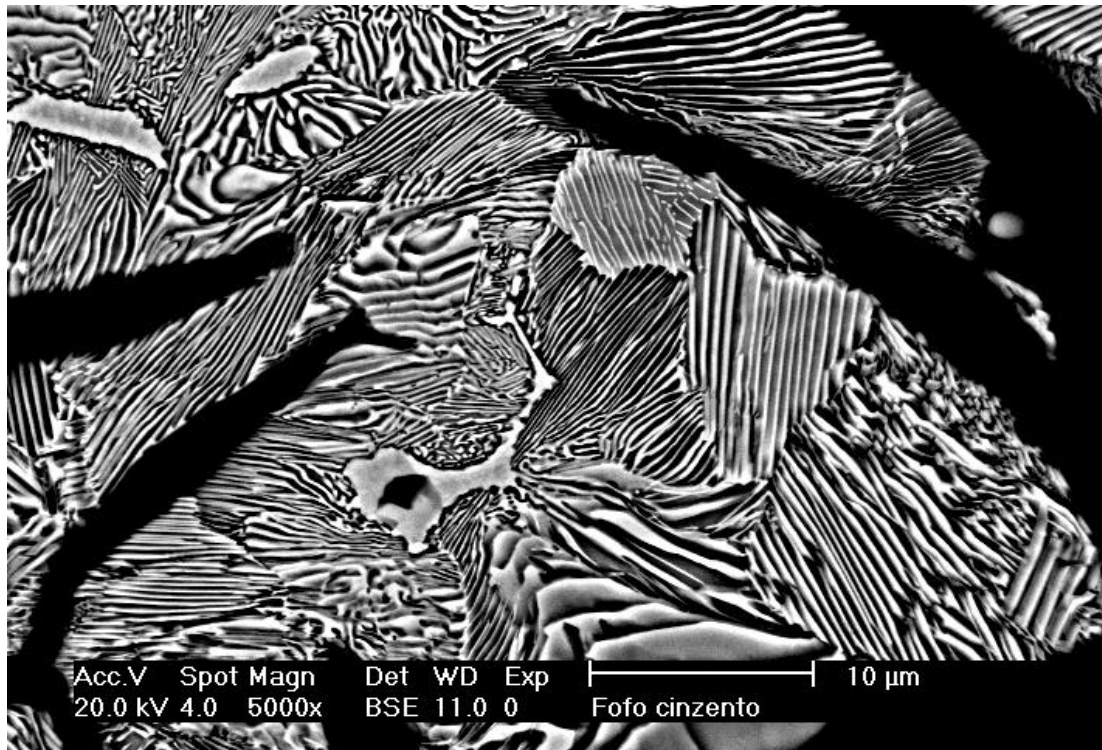


Figura 1. Microestrutura do ferro fundido cinzento. Imagem de elétrons retroespalhados.

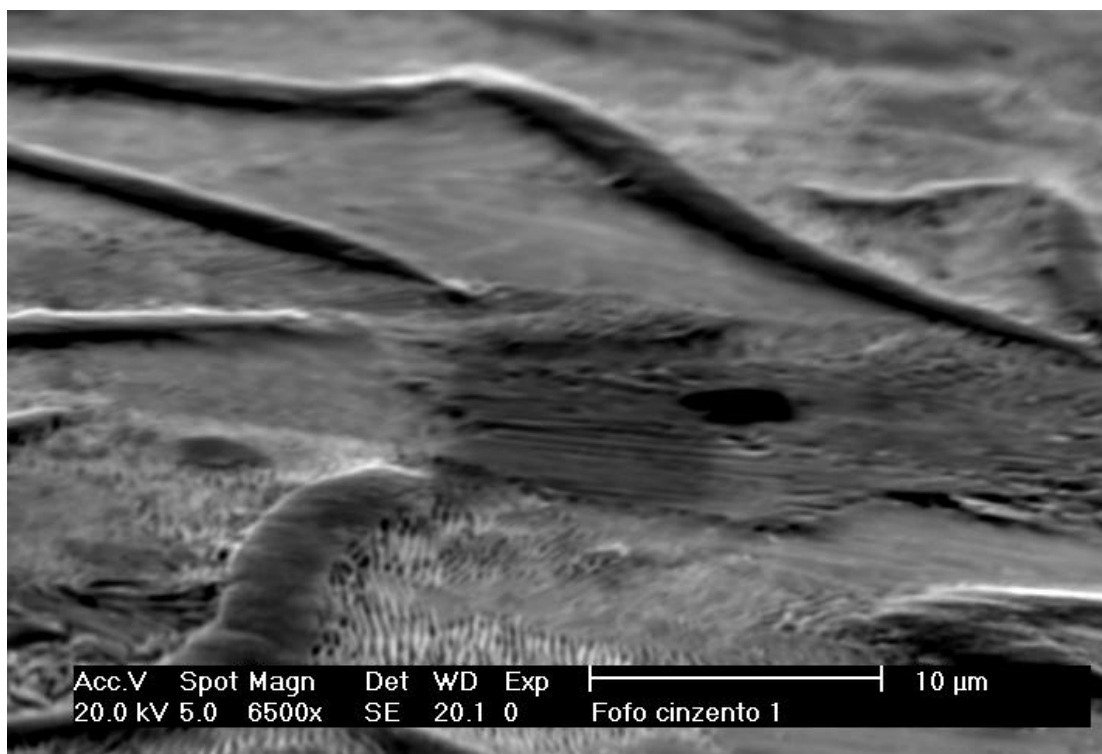


Figura 2 Microestrutura do ferro fundido cinzento. Imagem de elétrons secundários. Estágio inclinado 75°.



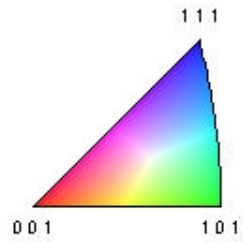
2.00  $\mu\text{m}$  = 5 steps

Figura 3. Microestrutura do ferro fundido cinzento. Imagem EBSD revelando orientação dos grãos (ver figura 4 para o código de cores).

Gray Scale Map Type: <none>

Color Coded Map Type: Inverse Pole Figure [001]

Iron (Alpha)



Boundaries: <none>

Figura 4. Código de cores para a figura de polo inversa.

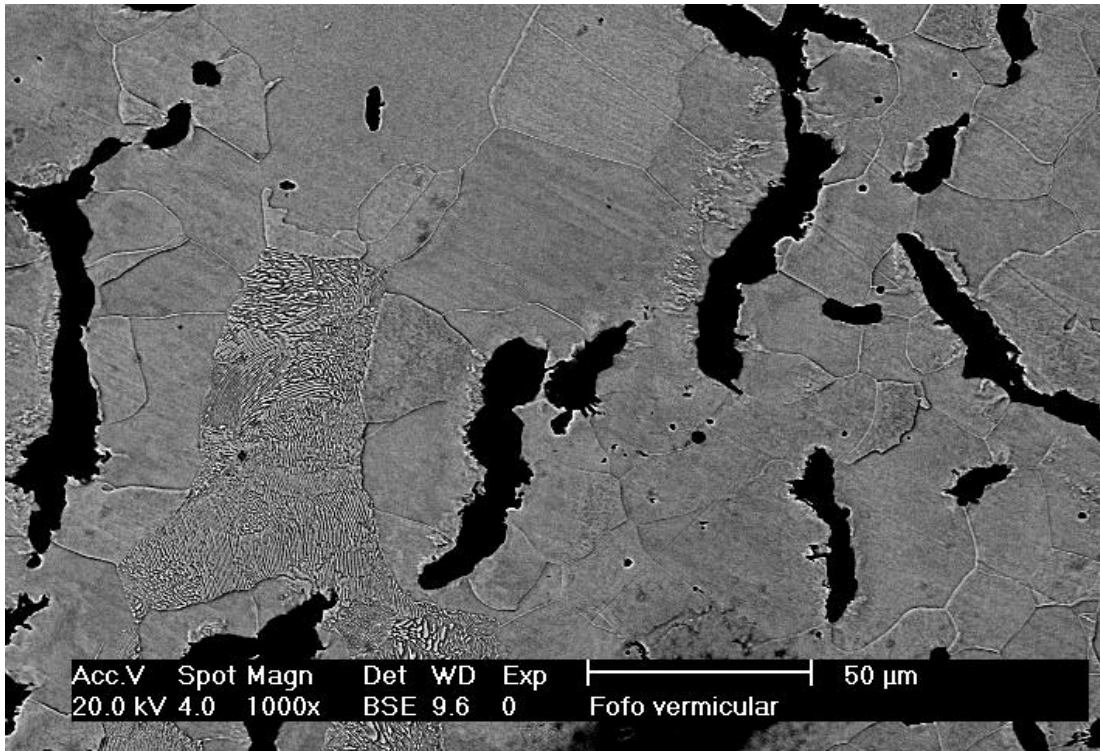


Figura 5. Microestrutura do ferro fundido vermicular. Imagem de elétrons retroespalhados.

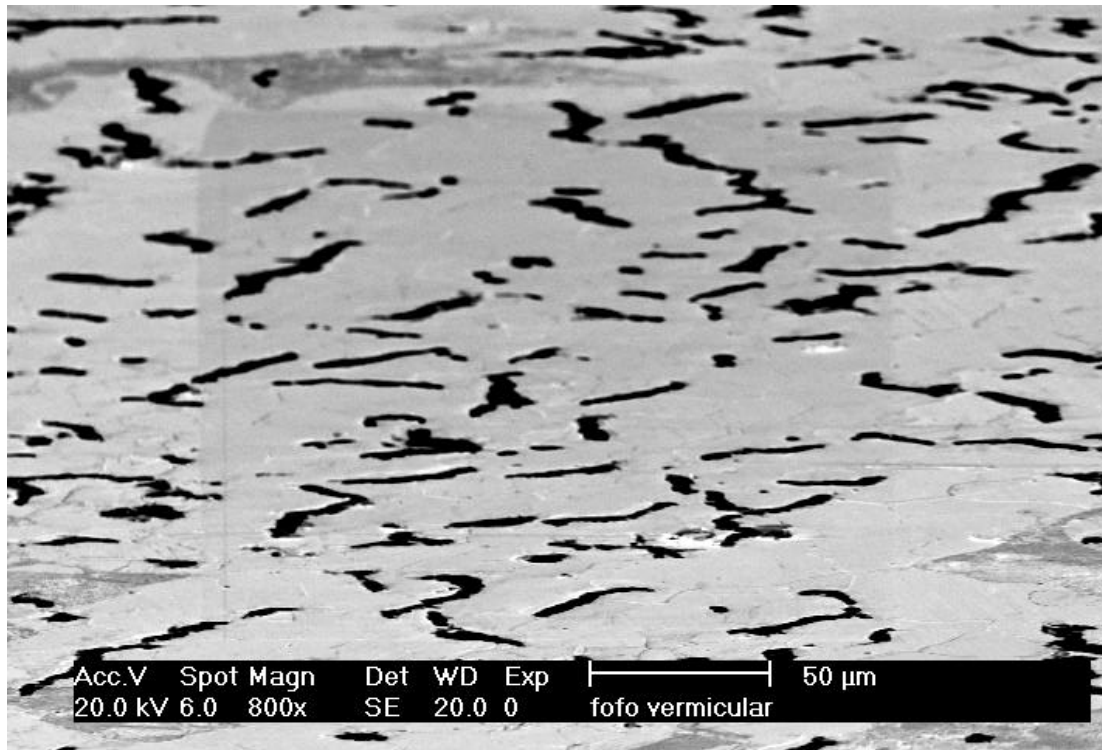
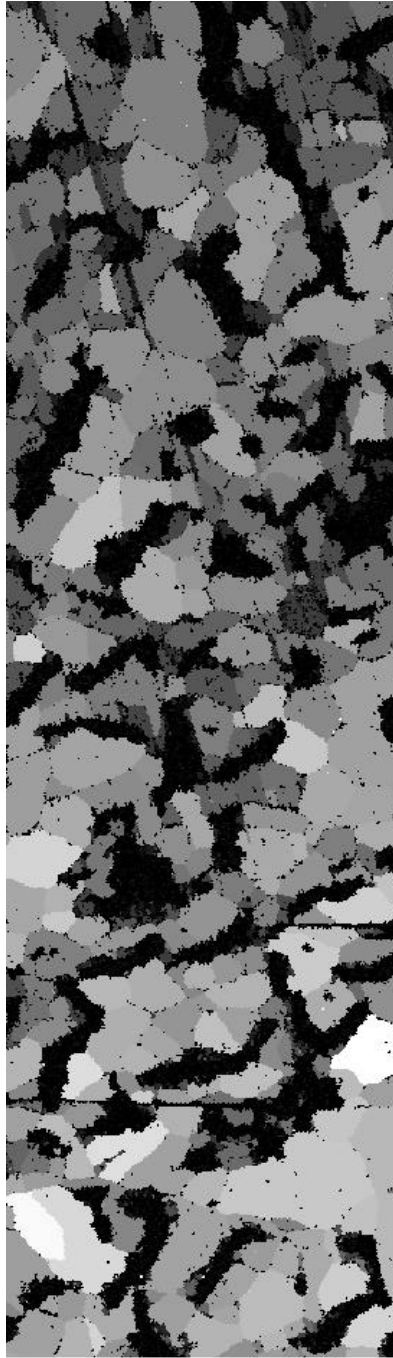


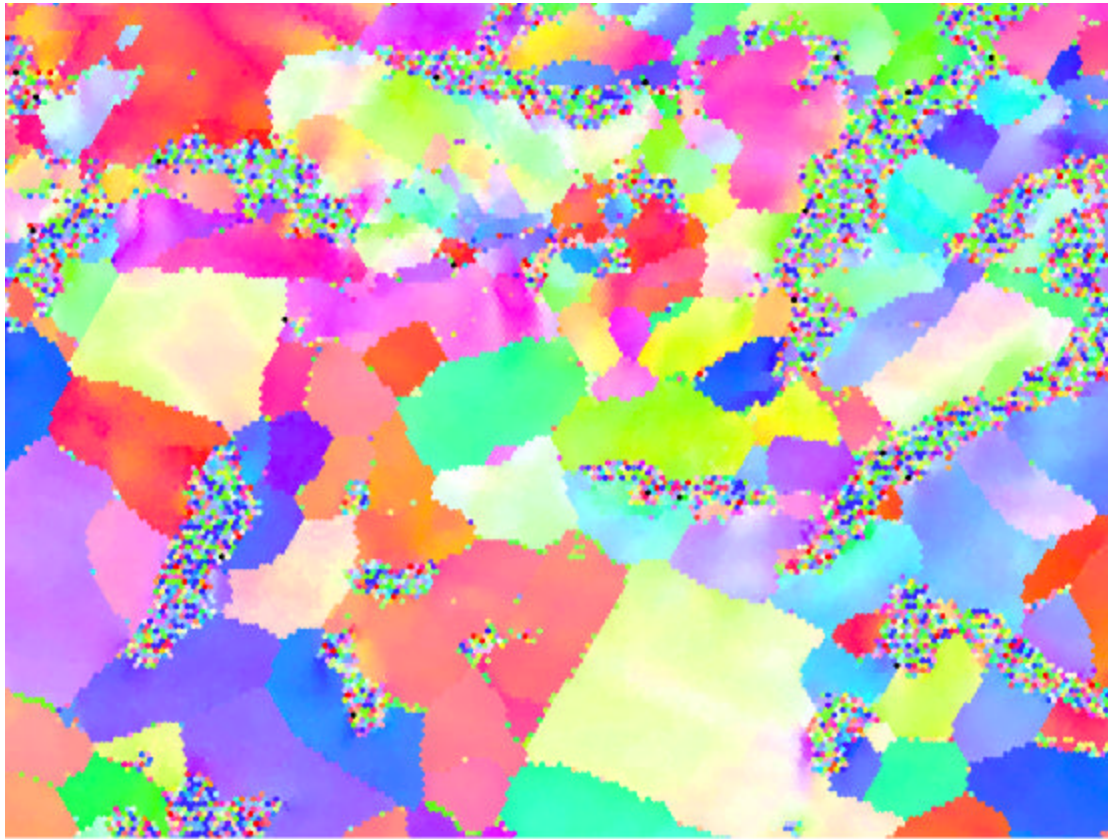
Figura 6a. Microestrutura do ferro fundido vermicular. Imagem de elétrons secundários. Estágio inclinado 75°.





45.00  $\mu\text{m}$  = 45 steps

Figura 6b. Microestrutura do ferro fundido vermicular. Imagem EBSD revelando grãos e contornos de grãos.



54.00  $\mu\text{m}$  = 45 steps IPF [001]

Figura 7. Imagem EBSD para o ferro fundido vermicular revelando orientação dos grãos (ver figura 4 para o código de cores).

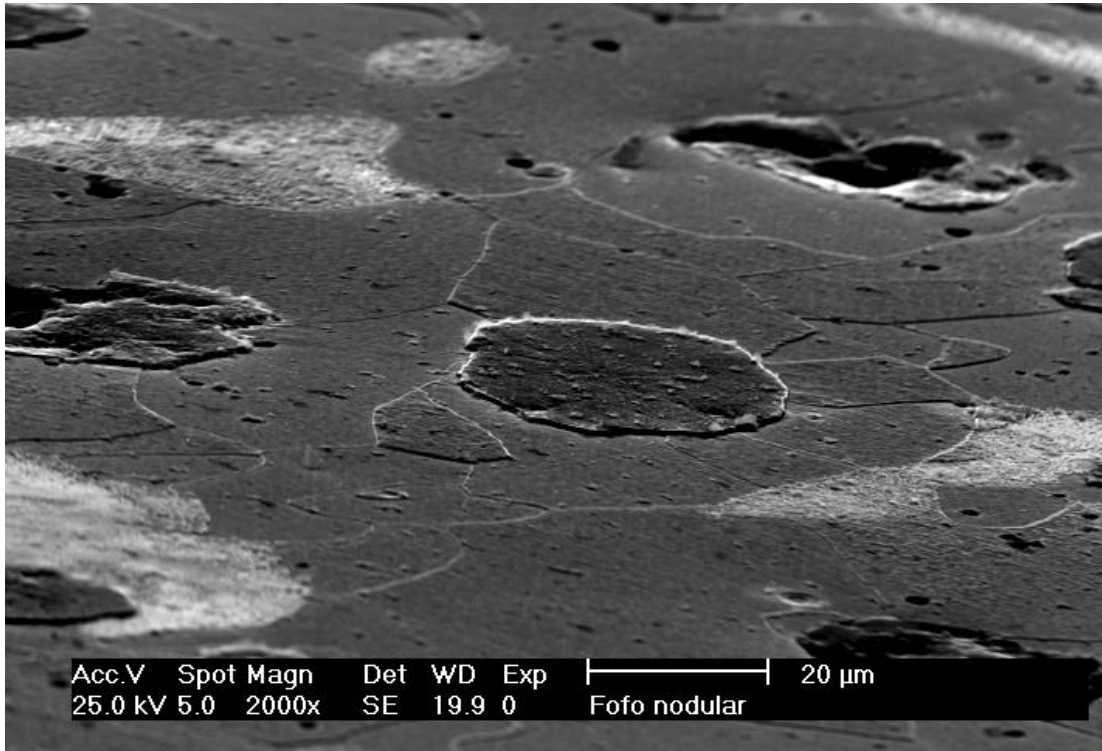


Figura 8. Microestrutura do ferro fundido nodular. Imagem de elétrons secundários. Estágio inclinado 75°.

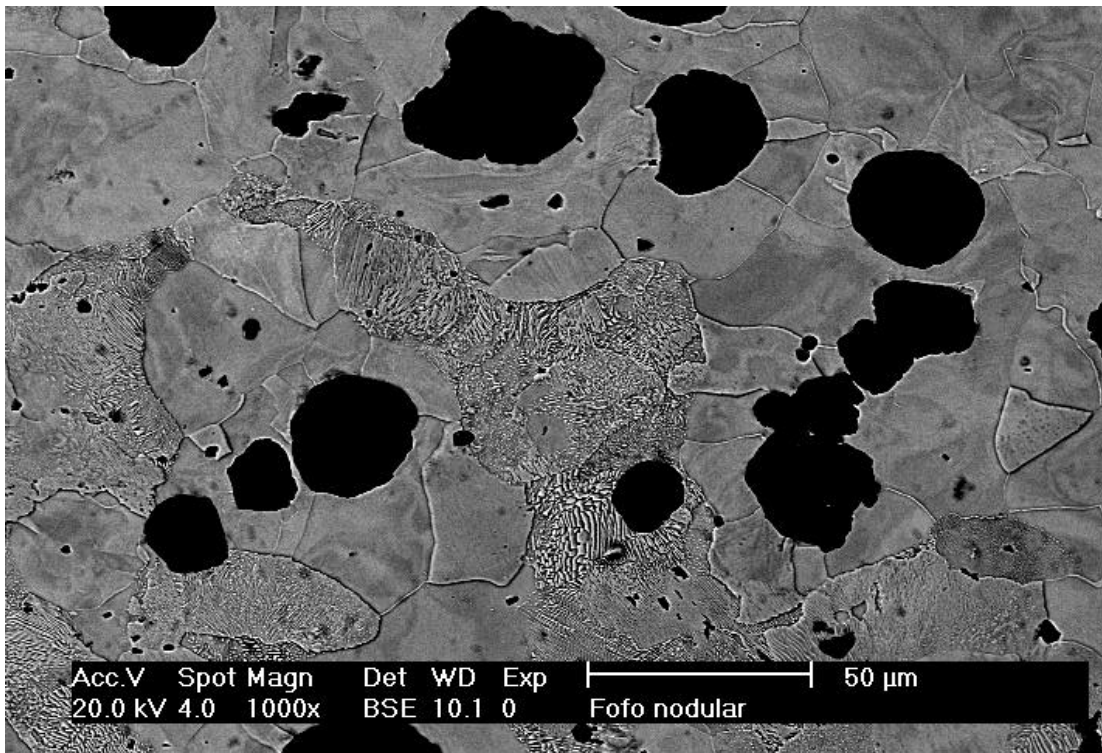


Figura 9. Microestrutura do ferro fundido nodular. Imagem de elétrons retroespalhados.

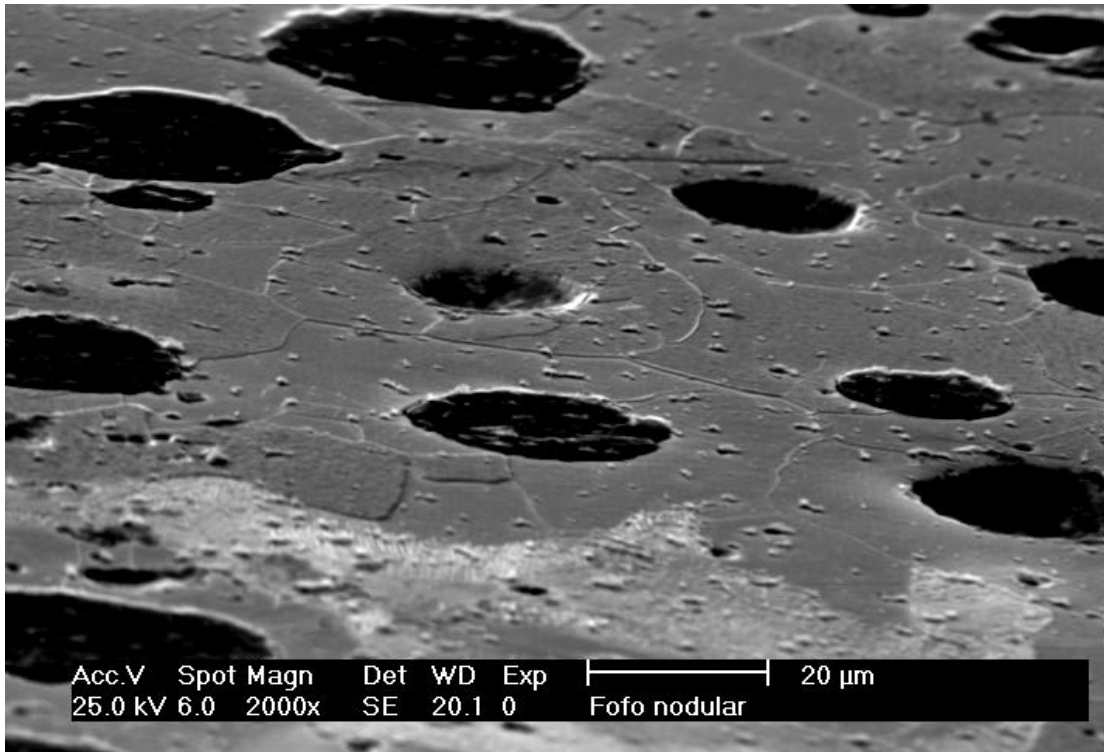
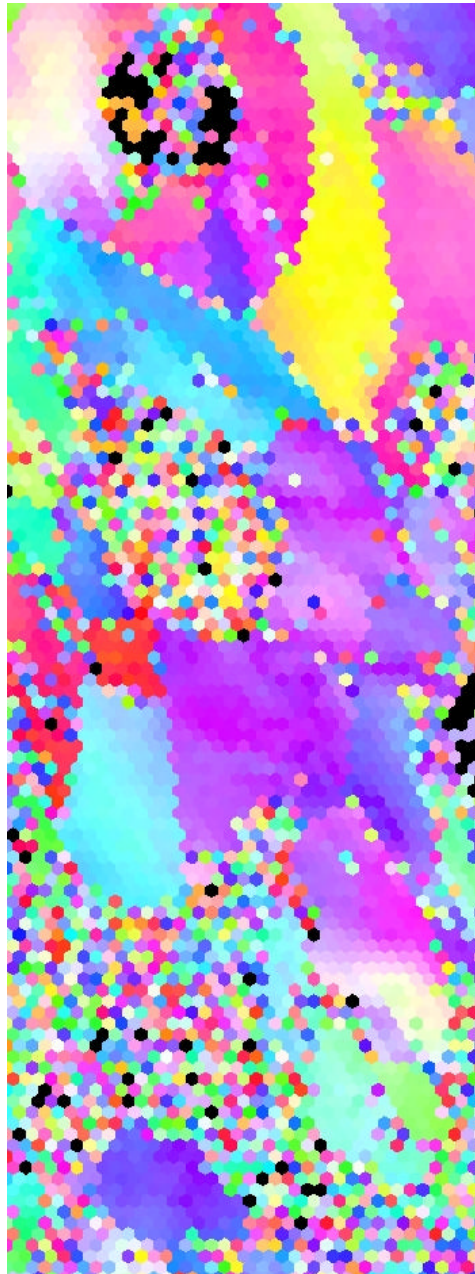


Figura 10a. Microestrutura do ferro fundido nodular. Imagem de elétrons secundários da região. Estágio inclinado 75°.



10.00  $\mu\text{m}$  = 5 steps

Figura 10b. Microestrutura do ferro fundido nodular. Imagem EBSD revelando orientação dos grãos (ver figura 4 para o código de cores).

## AGRADECIMENTOS

MF de Campos agradece CAPES (Programa ProDoc). À FAPESP, proc. 99/10796-8.

## REFERÊNCIAS

Juinall, R. C.; Marshek, K. M., **Fundamentals of Machine Component Design**, John Wiley & Sons, Inc., 2000.

Mackenzie, J. K.; Thomson, M. J. **Biometrika**, v. 44, p. 205-210, 1957.

Mackenzie, J. K. **Biometrika**, v. 45, p. 229-240, 1958.

Mackenzie, J. K. **Acta Met.**, v. 12, p. 223-225, 1964.

Randle, V. **Microtexture Determination and its applications**. The Institute of Materials, London, 1992.

Randle, V. Comunicação pessoal, 2003.

Rolim Lopes, L. C.; Charleir, J. **Mater Science & Engineering A**, v. 169, p. 67, 1993.

Rolim Lopes, L.C.; Thomson, C. B.; Randle, V., Correlation Between Grain Boundary Structure and Cyclic Plastic Strain Below Yield Stress, in: **Low Cycle Fatigue and Elasto-Plastic Behaviour of Materials**, K-T. Rie e P.D. Portella, Editors, Elsevier, 1998.

Roviglione, A. N. **Materials Characterization** v. 31, p. 209-216, 1993.

Roviglione, A.; Hermida, J. D. **Materials Characterization** v. 32, p. 127-137, 1994.

Roviglione, A. N.; Hermida, J.D. **Metallurgical and Materials Transactions B**, v. 33B, p. 235-241, 2002.

## TEXTURE ANALYSIS IN CAST IRONS

### ABSTRACT

Drum and disk brake for trucks are important applications for cast irons. In the design of these components the low cycle fatigue strength is a critical attribute for material selection. It is known the fatigue strength is closely related to microtexture and grain boundary structure. In the present study, these two significant microstructure factors were evaluated for three types of cast irons were evaluated with the aid of a Scanning Electron Microscope equipped with of EBSD – Electron Back Scattered Diffraction Patterns technique. Samples of gray cast iron, compacted graphite cast iron and nodular cast iron were extensively studied, and the microstructure, microtexture and grain boundary misorientation evaluated. Complementarily macrotexture measurements were performed in a X-ray diffractometer with texture goniometer to determine the orientation texture of the nodular and compacted graphite cast iron. Differences in the morphologies of pearlite found in those three types of cast irons are also discussed. The microtexture was evaluated by means of EBSD. The analysis of texture suggests random distribution of the orientations of ferrite grains, as a consequence of the process of production, which includes solidification followed by phase transformation. The absence of preferential texture is attributed to the inoculation process, where random nuclei are introduced in the melt. Phase transformations also favors randomization and this occurs in cast irons because solidification first gives origin to austenite with subsequent transformation of austenite into ferrite, after cooling.

Key-words: cast irons, texture, EBSD