

# FADIGA DE COMPONENTE FUNDIDO DE INJETORA <sup>1</sup>

Enrico Jose Giordano <sup>2</sup>  
Paulo Sergio Carvalho Pereira da Silva <sup>3</sup>  
Fernanda Potomati <sup>4</sup>  
Claudemiro Bolfarini <sup>5</sup>

## Resumo

Uma injetora de polímeros apresentou uma trinca na terceira, das três placas de ferro fundido nodular, que compõem o sistema de funcionamento de abertura e fechamento dos moldes. A falha do componente ocorreu após sete anos de uso da máquina. A análise da falha da placa de ferro fundido nodular, realizada no CCDM - Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais UFSCar/UNESP, indicou fratura por fadiga do componente, com início em uma das aberturas no fundo da placa, na qual a microestrutura degenerada observada na superfície, contribuiu para diminuir localmente a resistência à fadiga do material, facilitando a nucleação da trinca por fadiga. É interessante observar que uma segunda máquina, idêntica a primeira e ainda em funcionamento, também apresenta uma trinca em evolução, aparentemente iniciada em região análoga à primeira.

**Palavras-chave:** Ferro fundido nodular; Fadiga; Análise de falhas.

## FATIGUE OF THE REAR PLATE OF AN INJECTION MOLDING MACHINE

### Abstract

The objective of this paper is to determine the root cause of the fracture of a component, designated in this paper as “rear plate”, of an injection molding machine. The rear plate was the third, of three plates, constituting the opening/closing system of the molds of the injection molding machine. The plates were cast on ductile iron. Failure occurred after seven years of operation. The fracture of the rear plate examined at CCDM – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais, propagated by fatigue, nucleated along the inside surface of an opening, on the bottom side of the machine. An altered microstructure, with inclusions, voids and degenerated spheroids, characteristic of a cast iron with low strength and decreased resistance to fatigue, was present at the nucleation site and it is, probably, the root cause of the fracture. The occurrence of cracks in similar regions of another machine, which is still operating in similar conditions, is a strong indication that the nucleation site of the crack in the machine examined is subjected to high local stresses.

**Key words:** Ductile cast iron; Fatigue; Failure analysis.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 63º Congresso Anual da ABM, 28 de julho a 1º de agosto de 2008, Santos, SP, Brasil

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor em Engenharia, Pesquisador CCDM – UFSCar/UNESP (Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais).

<sup>3</sup> Engenheiro Metalurgista, Professor Titular USP (aposent.), Pesq. Associado CCDM.

<sup>4</sup> Engenheira de Materiais, Mestre em Engenharia, Doutoranda do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar, Pesquisadora CCDM.

<sup>5</sup> Engenheiro de Materiais, Professor Titular UFSCar, Diretor Técnico CCDM.

## 1 INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é apresentar a análise da falha de uma placa de ferro fundido nodular componente do sistema de abertura e fechamento dos moldes de uma injetora de peças poliméricas. A placa trincada é a terceira das três placas de ferro fundido nodular, que compõe o sistema. O equipamento ficou inoperante devido à falha da placa após sete anos de uso.

O ferro fundido nodular apresenta grafita esferoidal, que confere a este material maior resistência e maior alongamento do que o ferro fundido cinzento e o maleável. Suas propriedades permitem aplicações que requerem resistência e tenacidade, combinadas a boa usinabilidade e baixo custo.<sup>[1]</sup>

A grafita em formato nodular é obtida pela adição de magnésio (ou magnésio e cério). Grafitas com formato intermediário entre o nodular (ASTM tipo 1) e o formato em veios (ASTM tipo VII) apresentam propriedades mecânicas inferiores ao tipo nodular. O tamanho e a distribuição da grafita também influenciam nas propriedades mecânicas, mas em um grau menor do que a influência da forma.<sup>[1]</sup>

É conhecido que aspectos microestruturais podem ser prejudiciais ao desempenho dos ferros fundidos. Dentre esses aspectos, podem ser citados: fragilização por rede intergranular de carbonetos, grafita em forma, tamanho, ou distribuição, desfavoráveis, gradientes superficiais de estrutura.<sup>[2]</sup>

Para o caso apresentado neste trabalho, dois fatores relacionados às características do ferro fundido nodular são relevantes: a presença de grafita vermicular ao invés de grafita nodular em ferros fundidos dúcteis pode ser causa raiz de falhas em componentes desse material;<sup>[2]</sup> além disso, o ferro fundido tem sua resistência à fadiga influenciada pelas características superficiais, sendo sensível à rugosidade e ao entalhe.<sup>[1]</sup>

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

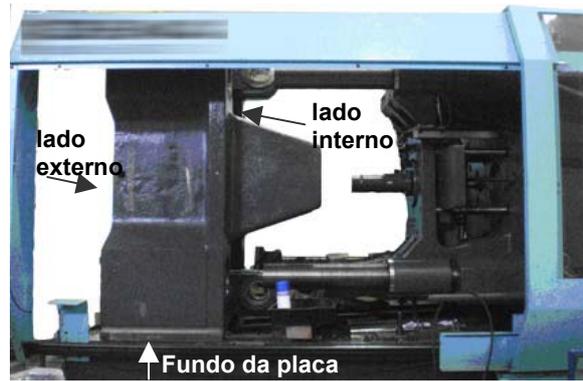
Duas visitas foram realizadas ao local em que a injetora operava, durante as quais se estipulou os cortes necessários para expor a superfície da fratura.

As amostras metalográficas foram preparadas seguindo o procedimento usual de corte, lixamento, embutimento e polimento. As amostras foram observadas em um microscópio ótico Leitz Laborlux 12ME S – Leica, sem ataque químico para classificação da grafita e com ataque químico (Nital 0,2%) para caracterização microestrutural da matriz.

A análise fractográfica foi realizada utilizando-se uma lupa de aumento binocular e MEV (microscópio eletrônico de varredura) Stereoscan 440 – LEO.

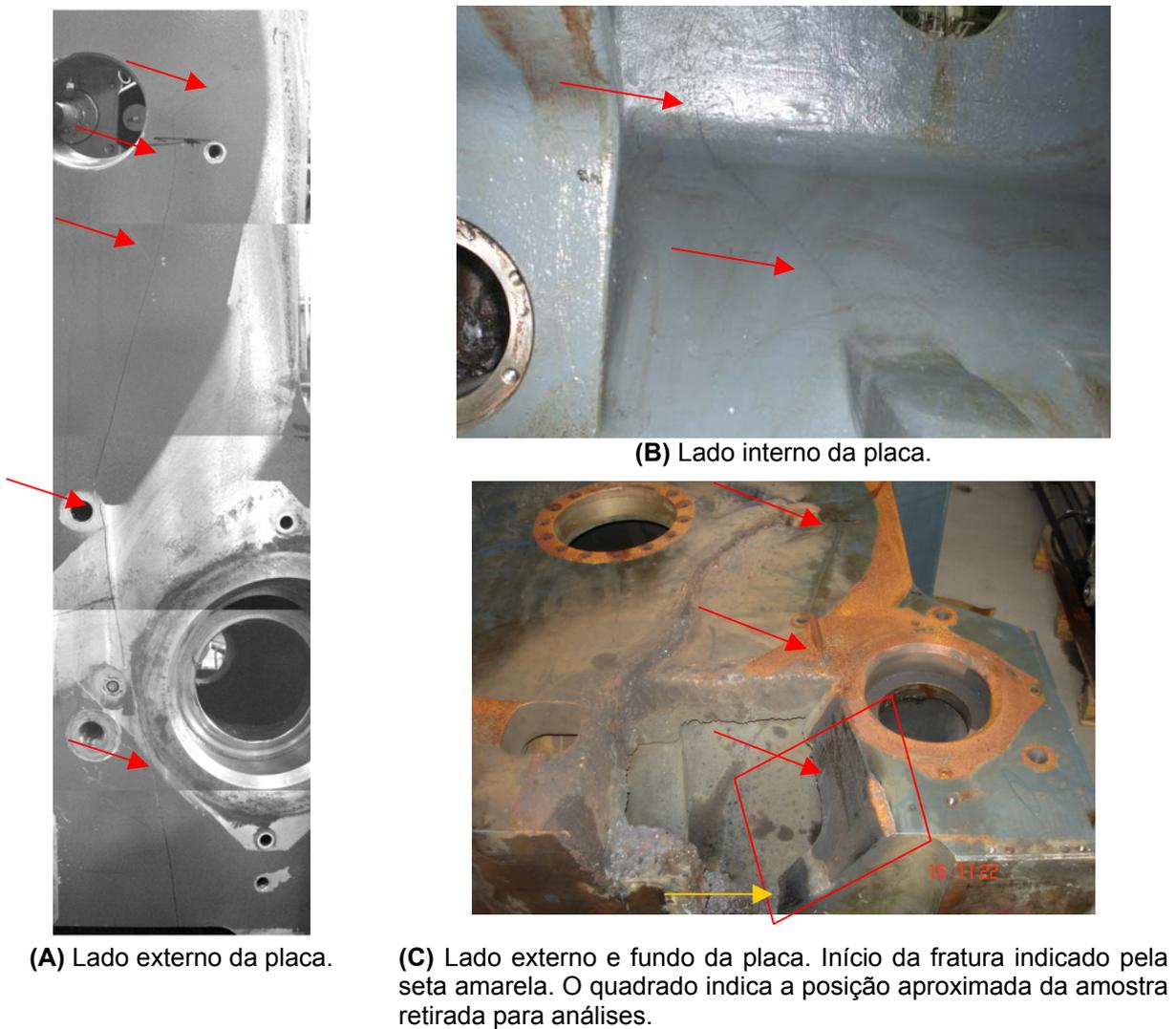
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 apresenta a injetora em seu local de funcionamento, parcialmente desmontada, ainda com o componente fraturado. Estão indicados na Figura 1 os lados interno e externo do componente, e o fundo da placa, local de início da fratura.



**Figura 1.** Vista geral da injetora, parcialmente desmontada, mostrando a placa fraturada e indicando os lados externo e interno da placa. A placa tem dimensões aproximadas de 2 x 3m.

As Figuras 2a e 2b mostram a trinca vista dos lados externo e interno respectivamente. A Figura 2c mostra o fundo da placa após o corte, evidenciando o ponto de início da fratura.



**Figura 2.** Vistas e ponto de início da trinca do componente falhado.

É importante ressaltar que outra injetora, ainda em operação na mesma planta, operando em condições similares, apresentou trincas nucleadas,

aparentemente, nos cantos das aberturas presentes no fundo e no lado superior da placa, como pode ser observado na Figura 3.



(A) Fundo da placa.



(B) Lado superior.

**Figura 3.** Vista parcial da trinca observada em outra injetora ainda em operação na mesma planta.

### 3.1 Análise Fractográfica

A Figura 4 mostra com maior detalhe a região de início da fratura, que pode ser identificada pelas “marcas de sargento” (*chevron markings*). Houve um segundo ponto de iniciação da trinca, posicionado no canto oposto da abertura no fundo da placa, como mostra a Figura 5.

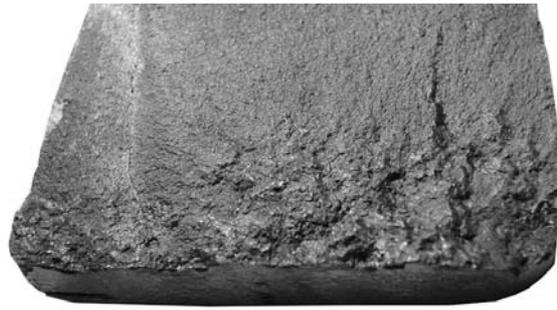


**Figura 4.** Detalhe da superfície de fratura, próximo a região de início. A região entre as linhas pontilhadas foi alterada pela operação de corte.

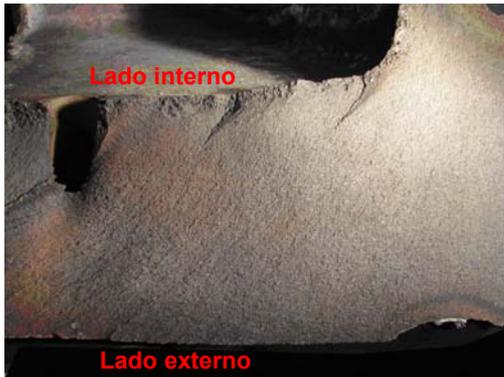


**Figura 5.** Trinca iniciada no canto oposto da abertura, no fundo da placa.

A observação macroscópica da superfície de fratura da região indicada pelo quadrado da Figura 2c indicou a presença de uma camada superficial alterada no ponto de início da fratura, ao longo da superfície da abertura, e ao longo da superfície do lado interno da placa. Essa camada alterada não foi observada na superfície do lado externo, provavelmente devido à usinagem do lado externo. Na Figura 6 é possível observar essa camada.



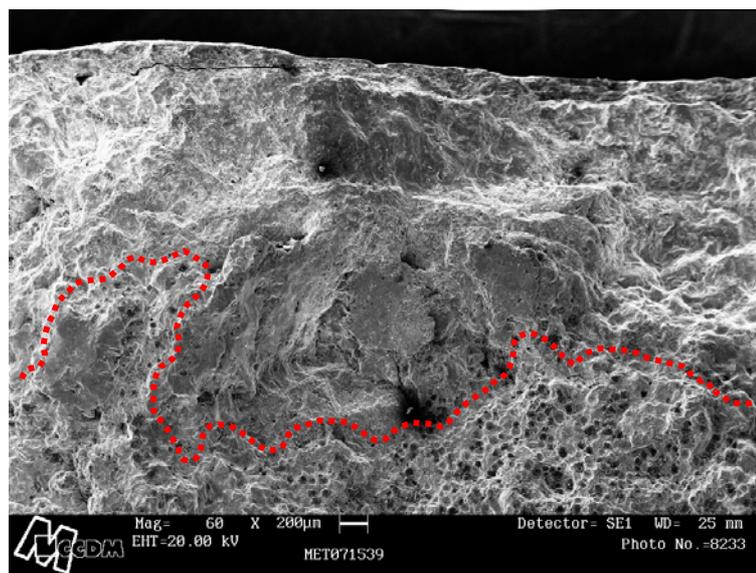
(A) Camada alterada na superfície da abertura localizada no fundo da placa.



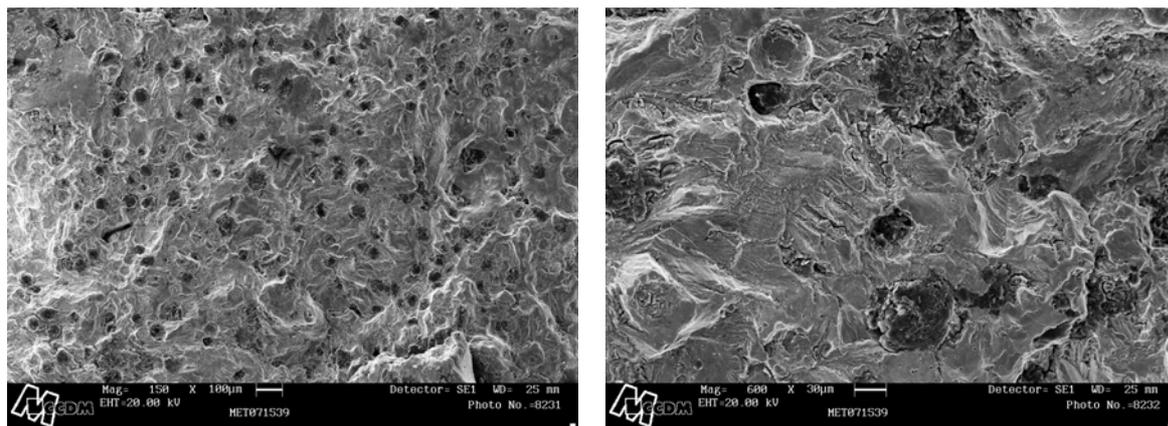
(B) Camada alterada ao longo da superfície do lado interno. Não se observa camada ao longo do lado externo.  
 (C) Detalhe da camada alterada da superfície interna.

**Figura 6.** Camada alterada, observada na superfície de fratura, localizada ao longo das superfícies da abertura e do lado interno da placa.

A análise por MEV da superfície de fratura no ponto de início, ou seja, sobre a camada alterada, apresentou um micromecanismo não identificável, porém, claramente sem sinais de esferoidização da grafita. Enquanto que, na região da fratura fora da camada alterada observa-se a presença de grafita esferoidal, típica de ferro fundido nodular, e estrias, que indicam fratura por fadiga. As Figuras 7 e 8 mostram os aspectos observados.



**Figura 7.** Ponto de início. Transição entre a região sem indicação de grafita esferoidal e região com fratura típica de ferro fundido nodular.



(A) Vista geral da superfície de fratura. Grafita nodular e matriz.

(B) Estrias de fadiga na matriz.

Figura 8. Micromecanismos da fratura.

### 3.2 Análise Metalográfica

A amostra metalográfica foi retirada da secção perpendicular à superfície de fratura, através da camada alterada, próximo à superfície da abertura no fundo da placa. A Figura 9 apresenta a amostra metalográfica.

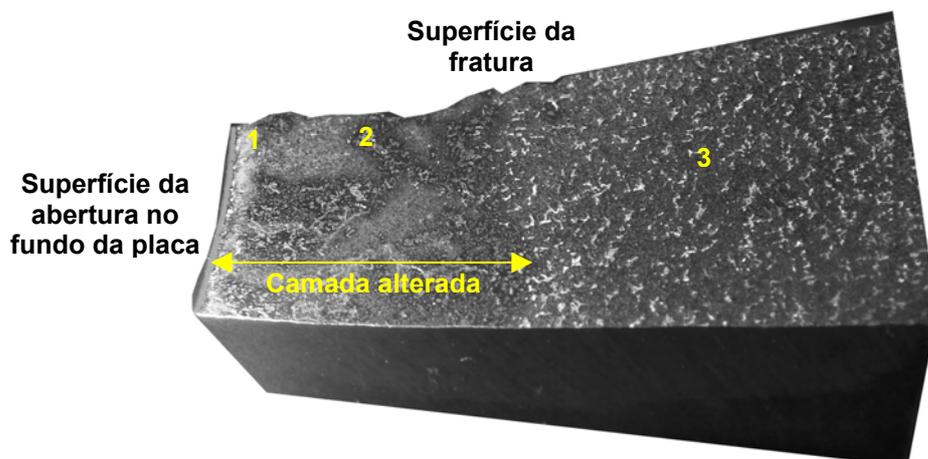
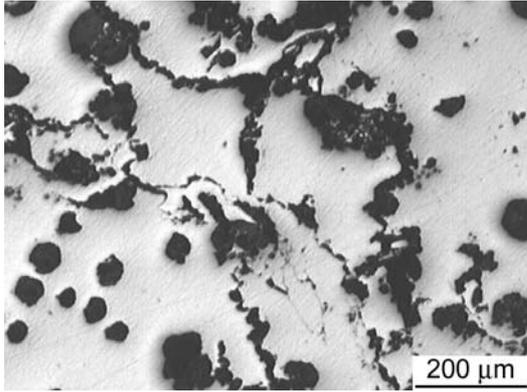
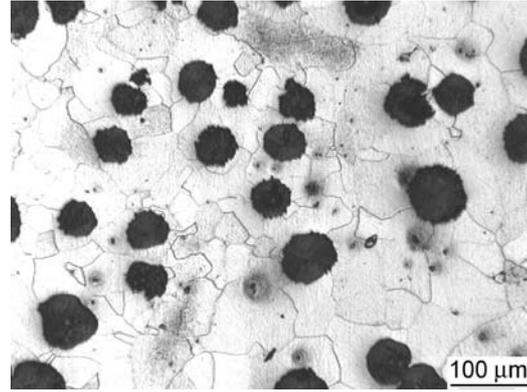


Figura 9. Amostra metalográfica. Os números 1, 2 e 3 indicam as regiões observadas por microscopia ótica (o aparente relevo é uma ilusão de ótica devido à iluminação sobre a superfície atacada).

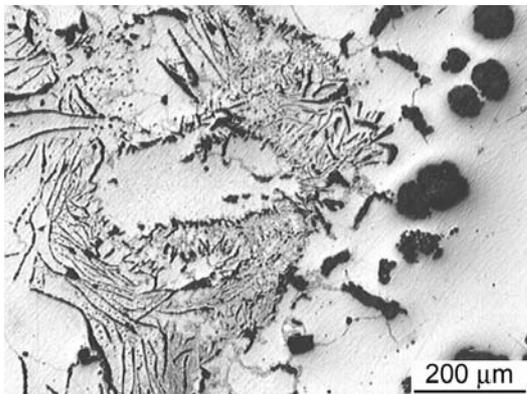
A região 3 corresponde ao núcleo da placa e apresenta microestrutura típica de um ferro fundido nodular perlítico, como mostra a Figura 11. As Figuras 10 e 12 mostram a microestrutura próxima à origem da fratura, são as regiões 2 e 1 respectivamente. Nota-se que essas regiões apresentam uma microestrutura severamente alterada, ao longo de, aproximadamente, 20 mm de profundidade, a partir da superfície da abertura, com a presença de inclusões grosseiras, vazios e nódulos de grafita degenerados. Esta microestrutura causa alterações localizadas de propriedades mecânicas, diminuindo a resistência mecânica e à fadiga do material. Dessa forma, a causa raiz da falha é, provavelmente, a presença dessa camada superficial com microestrutura alterada.



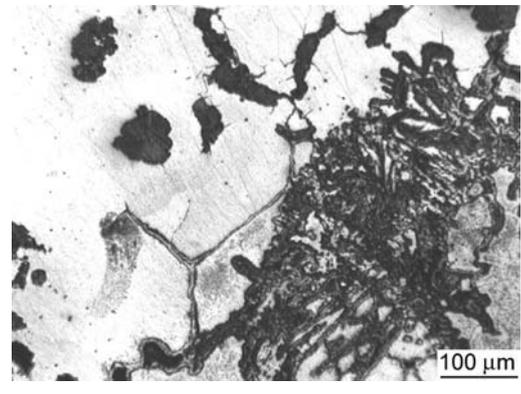
**Figura 10.** Região 2 da figura 9. Inclusões, ferrita, nódulos degenerados e vazios.



**Figura 11.** Região 3 da figura 9. Nódulos de grafita em uma matriz ferrítica, com pequenas quantidades de perlita.



**(A)** *Inclusões típicas de silicato de magnésio, ferrita e nódulos de grafita degenerados.*



**(B)** *Mesma região de (A). Inclusões, ferrita e perlita. Nota-se trincas iniciando nos nódulos de grafita degenerados.*

**Figura 12.** Região 1 da figura 9.

## 4 CONCLUSÕES

A fratura da placa de ferro fundido da injetora ocorreu por fadiga, com início ao longo da superfície interna de uma abertura localizada no fundo da placa. A causa raiz, mais provável da falha é a presença de uma microestrutura alterada, com inclusões, vazios e nódulos degenerados, característicos de um ferro fundido com baixa resistência mecânica e à fadiga, observada no local de nucleação da falha.

A ocorrência de trincas similares nas mesmas regiões de outra máquina ainda em operação é um forte indício de que o local de nucleação da placa analisada está submetido a tensões locais altas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao laboratório de preparação de amostras do CCDM.

## REFERÊNCIAS

- 1 JENKINS, L. R.; FOREST, R. D. In: ASM Handbook. Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. v.1, 10 ed., 1990.
- 2 SNYDER, J. J. In: ASM Handbook. Failure Analysis and Prevention. v.11, 9 ed, 1995.