



ANÁLISE DE FALHA POR FRATURA DE UM EIXO¹

Débora Francielle Dias²

Viviane Santos Rocha²

Cleciانو Berlando Miranda de Oliveira²

Ângelo Frederick de Menezes Farace²

André Rocha Pimenta³

Marília Garcia Diniz⁴

Marco Antonio Santos Pinheiro⁵

Resumo

Este trabalho objetivou analisar a falha por fratura do um eixo de uma caixa redutora de uma máquina para compactação de sucata e sugerir métodos de prevenção do problema. O eixo era de um suposto aço SAE 1045 (ABNT 1045) temperado e revenido. Foram utilizadas técnicas de microscopia eletrônica de varredura (MEV), análise química semi-quantitativa por EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) e microscopia ótica (MO). O mecanismo de fratura encontrado foi o de fratura frágil por clivagem e os resultados da análise química por EDS permitiram concluir que se tratava de um aço com presença significativa de ferro e manganês. A análise micrográfica revelou ser a de um aço temperado e revenido com microestrutura típica oriunda deste tratamento térmico e que se apresentou bastante homogênea para toda a extensão do eixo. A conclusão foi de que a falha ocorreu por têmpera inadequada associada à existência de sobrecarga na operação

Palavras-chave: Análise de falhas; Fractografias; Prevenção de fraturas; Fratura frágil.

FAILURE ANALYSIS BY FRACTURE OF A SHAFT

Abstract

The aim of this study was to analyze the fracture in a gearbox shaft of a machine compressing scrap failure and to suggest methods to prevent the problem. The shaft was a SAE 1045 (ABNT 1045) quenched and tempered. We used scanning electron microscopy (SEM), chemical analysis by semi-quantitative EDS (Energy Dispersive Spectroscopy) and optical microscopy (OM). The mechanism of fracture was found to be brittle fracture by cleavage and the chemical analysis results by EDS showed that it was a steel with a significant presence of iron and manganese. Micrographic analysis revealed a typical microstructure of tempered martensite. The microstructure was very homogeneous for the entire length of the bar. The conclusion was that the failure occurred by quenching and tempering improperly associated with an overload in the operation.

Key words: Failure analysis; Fractographies; Prevention of fractures; Brittle fracture.

¹ Contribuição técnica ao 65º Congresso Anual da ABM, 26 a 30 de julho de 2010, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Mestrando, PPG-EM, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.

³ Doutorando, PPG-EM, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.

⁴ DSc, PPG-EM, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.

⁵ DSc, IPRJ, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, UERJ.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais mais resistentes e de técnicas para adequação de algumas das propriedades dos materiais vem sendo crescente à medida que a evolução tecnológica está exigindo cada vez mais materiais específicos para diversas aplicações. A análise de falhas tem como objetivo principal evitar que se repitam erros de projeto, diminuir prejuízos e custos com paradas repentinas de linhas de produção. Existem diversas formas de um material falhar, por exemplo, a má especificação para o uso, má utilização (sobrecarga), erros no tratamento térmico, a pré-existência de trincas ou falhas que se propagam ou até mesmo a presença de inclusões / impurezas que tornem o material mais frágil.^(1,2) O presente estudo visa evitar futuras falhas em uma máquina de compactação de sucata da qual uma peça fraturada foi retirada e analisada (eixo redutor) ou em outras situações semelhantes em outro material e / ou equipamento.

Atualmente, apesar da existência de um rígido controle de qualidade para equipamentos metálicos e de análises mais específicas e eficientes, não se pode garantir que um material não irá falhar.

Como existem vários casos de falhas em diversos tipos de materiais, a investigação do motivo dessas falhas, bem como a prevenção, torna-se cada vez mais importante. Para investigar a falha podem ser utilizados alguns métodos e etapas:^(3,4)

- análise do histórico e contexto da peça que falhou;
- seleção e limpeza das partes a serem analisadas;
- ensaios não destrutivos;
- ensaios destrutivos;
- observações com técnicas de microscopia; e
- análise de resultados, conclusões e recomendações.

Neste trabalho foram utilizadas algumas técnicas de caracterização mecânica e metalúrgica de materiais na busca dos mecanismos causadores da falha por fratura, uma vez que se sabe que a prevenção de mais falhas sempre será auxiliada pela investigação daquela já ocorrida. A Figura 1 apresenta a superfície fraturada do eixo em uma imagem obtida através da utilização de uma lupa acoplada a uma câmera digital. A Figura 2 mostra uma imagem da montagem da caixa redutora (onde estava localizado o eixo que falhou) na máquina de corte de pastilhas de aço (sucata).

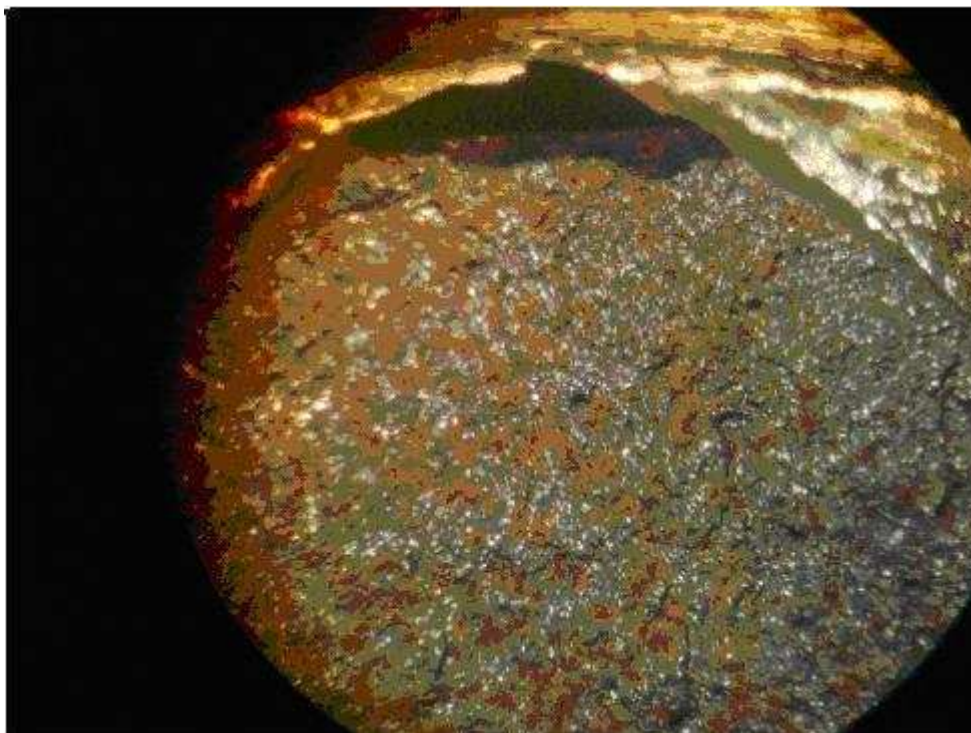


Figura 1 - Imagem da superfície de fratura obtida através do auxílio de uma lupa. A escala de aumento não foi medida.



Figura 2 - Montagem da caixa redutora na máquina de corte de pastilhas de aço (sucata).

A máquina é utilizada para picar pastilhas de aço em tamanhos padrões (bordas de chapa de aço SAE 1020 com espessura variando entre 2 mm e 6,35 mm, e largura entre 10 mm e 30 mm). A alimentação do material a ser picado é manual, e após ser depositado na calha de abastecimento, ele é tracionado por rolos que o

direcionam para a entrada das lâminas (chamadas de faca e contra faca) que são montadas em um eixo com espaçamento radial de 90°. O material passa entre as facas, que giram e passam pela contra faca em um intervalo de tempo pré-determinado para garantir o comprimento das pastilhas de sucata em 50 mm de comprimento padrão. Nesse momento é solicitado o torque do conjunto de acionamento, onde ocorreu a fratura do eixo. A Figura 3 mostra o eixo montado antes de falhar.

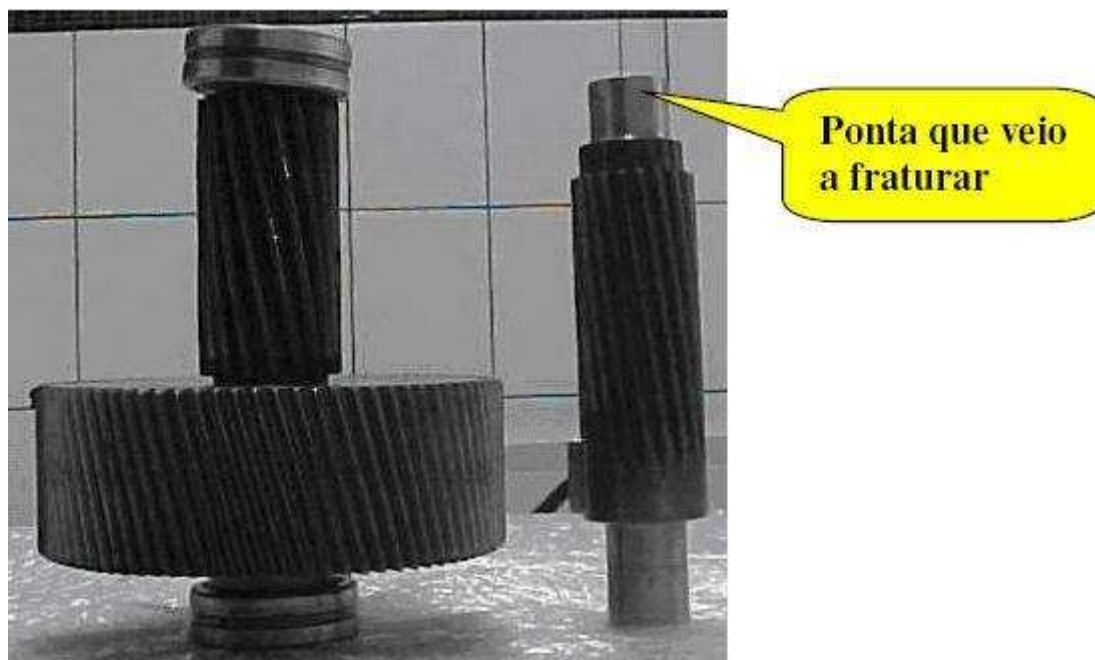


Figura 3 - Eixo antes da falha. Montado em rolamentos e engrenagem e desmontado, respectivamente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados da máquina de sucata foram fornecidos pelo fabricante conforme os seguintes itens:

Redutor Helicoidal de Eixos Paralelos (2 Estágios)

Momento de torção na saída: 168 [kgf.m]

Redução nominal: 22

Modelo REDUTORK: MOD. TRH04

Rotação de Entrada: 1750 [RPM];

Capacidade (Potência): 19,0 [cv]

Material do eixo: Aço SAE 1045 temperado e revenido;

Especificação do motor:

Siemens Trifásico de Indução de Gaiola;

Rotação: 1755 RPM;

Potência: 7,5 kW/ 10 cv;

Frequência: 60 Hz

A construção da máquina de cortar sucata (Figura 2) foi empírica. Por esta razão foram feitos ajustes de acordo com as necessidades de operação.

Após a falha, as partes contendo as superfícies de fratura foram isoladas com plástico bolha para evitar a contaminação da superfície. A primeira etapa foi de análise do histórico da peça e funcionamento da máquina redutora. A segunda etapa foi composta pelas fases de observação da peça fraturada (superfície de fratura),

cutte de amostra para a análise em microscopia eletrônica de varredura (MEV marca ZEISS operando a 20kV e 80 μ A), e análise química por EDS (sistema acoplado ao MEV). Foram retiradas amostras para metalografia, de regiões próximas à de fratura e de regiões significativamente longe da fratura. Elas sofreram preparação metalográfica e ataque químico com solução de Nital 5% durante 5 segundos. As micrografias foram obtidas em um microscópio Zeiss Axiolmager M1m (todas com aumentos de 500X).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O material do eixo era supostamente o de um aço SAE 1045 submetido a têmpera e revenido, comumente utilizado na fabricação de eixos. Sua escolha foi baseada no fato de possuir boa resistência mecânica, boa temperabilidade, boa usinabilidade, alta forjabilidade e média soldabilidade.^(5,6) Não foram fornecidos dados sobre os detalhes dos tratamentos térmicos realizados no material, mas sabe-se que aços ao carbono temperados e revenidos combinam alta resistência mecânica e dureza e por isso são indicados para eixos.^(7,8) A dureza comercial para o SAE 1045 temperado por indução pode alcançar entre 50 e 55 HRc.⁽⁹⁾

A análise química por EDS (Figura 4) constatou que existiam altos teores de ferro e a presença de algum manganês, além de baixos teores de silício, o que é esperado na composição química do SAE 1045.

A composição química para o aço SAE 1045 é apresentada na Tabela 1, (fonte: www.acositapema.com.br, consulta realizada em 14 de Setembro de 2009).

Tabela 1 – Composição química do aço SAE 1045 (ABNT 1045)

Composição Química							
C	Mn	P	S	Si	Ni	Cr	Mo
0,43 / 0,50	0,60 / 0,90	0,0040	0,050	-	-	-	-

A presença do silício detectada no material é uma provável impureza, o que pode ser concluído devido a sua baixa incidência, conforme revelado pelo espectro de picos característicos de energia do EDS obtidos para o material analisado. O mesmo pôde ser verificado para o cromo. A Figura 6 exemplifica um dos diversos espectros obtidos para o material do eixo fraturado.

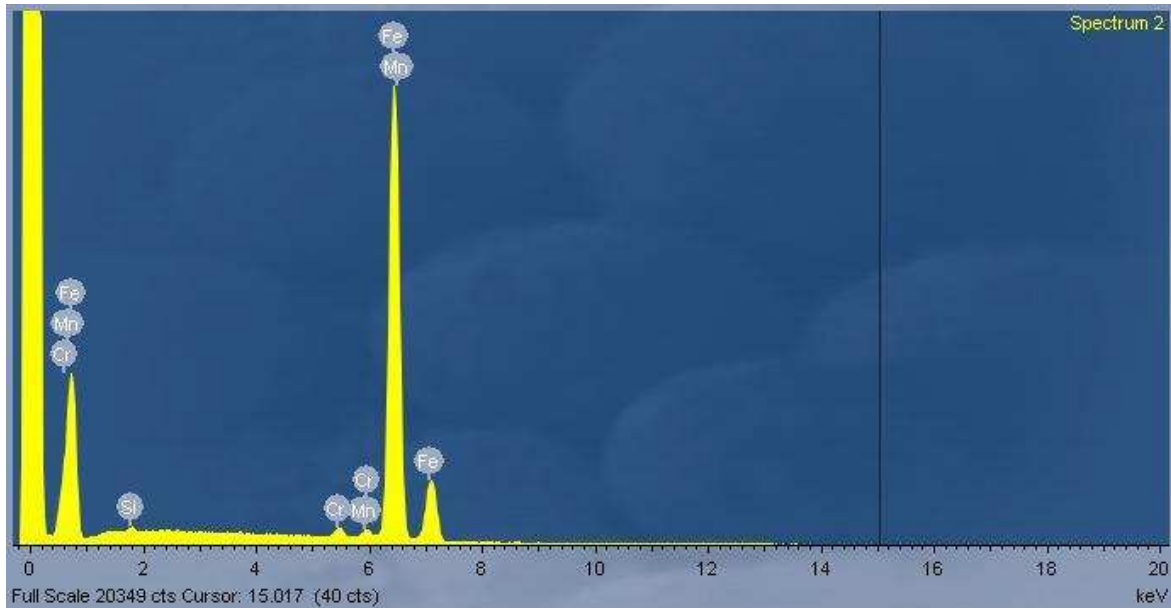
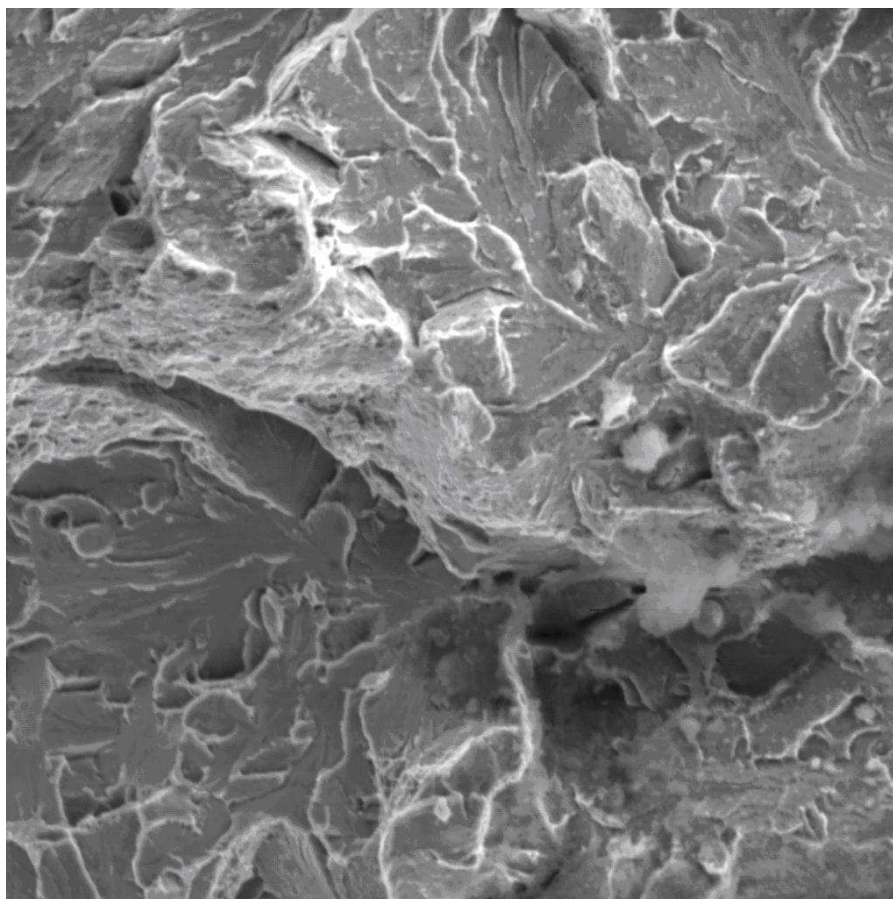


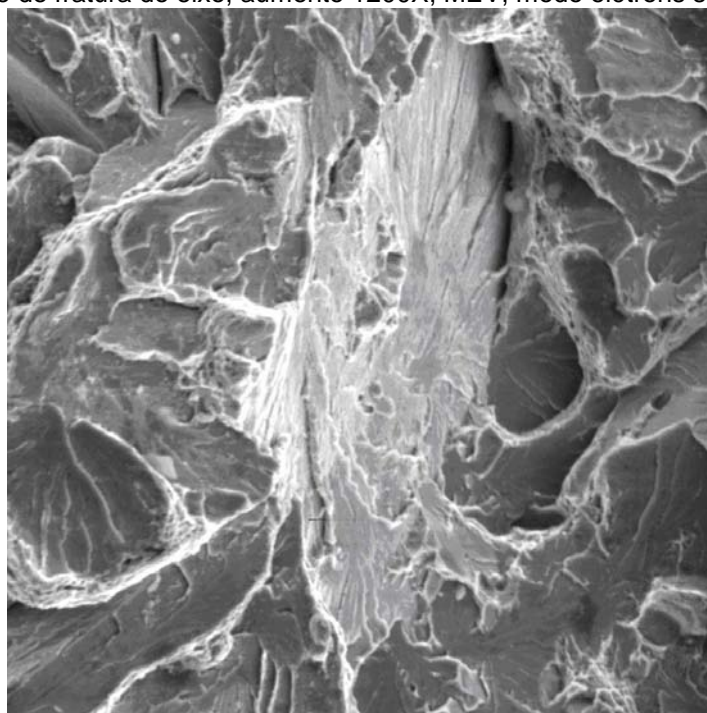
Figura 4 – Resultado do EDS, presença de picos significativos de Fe e Mn.

Nas imagens das Figuras 5, 6, 7 e 8 observa-se a superfície de fratura do material (fractografias). Foram obtidas imagens das extremidades direita, esquerda, superior e inferior da superfície de fratura do eixo, além de imagens da região central da superfície fraturada. As fractografias apresentaram-se muito semelhantes ao longo de toda a área de superfície de ruptura. Os aspectos revelaram ser uma fratura frágil por clivagem, ou seja, tipificam as falhas que ocorrem através de planos de baixo índice cristalográfico. A superfície de fratura por clivagem é tipicamente encontrada em materiais frágeis (ou fraturas por impacto) com baixa capacidade de absorção de energia. Sua região é formada por regiões planas e lisas. A fratura frágil por clivagem ocorre também quando a deformação plástica é dificultada (por exemplo, em temperaturas abaixo da TTDF – temperatura de transição dúctil-frágil). Ela acontece transgranularmente, isto é, através dos planos de menor densidade atômica, já que estes apresentam menor número de ligações a romper e maior espaço interplanar.^(10,5)



80µm

Figura 5 – Superfície de fratura do eixo, aumento 1200X, MEV, modo elétrons secundários (SE).



80µm

Figura 6 - Superfície de fratura do eixo, aumento 1.200X, MEV, modo SE.

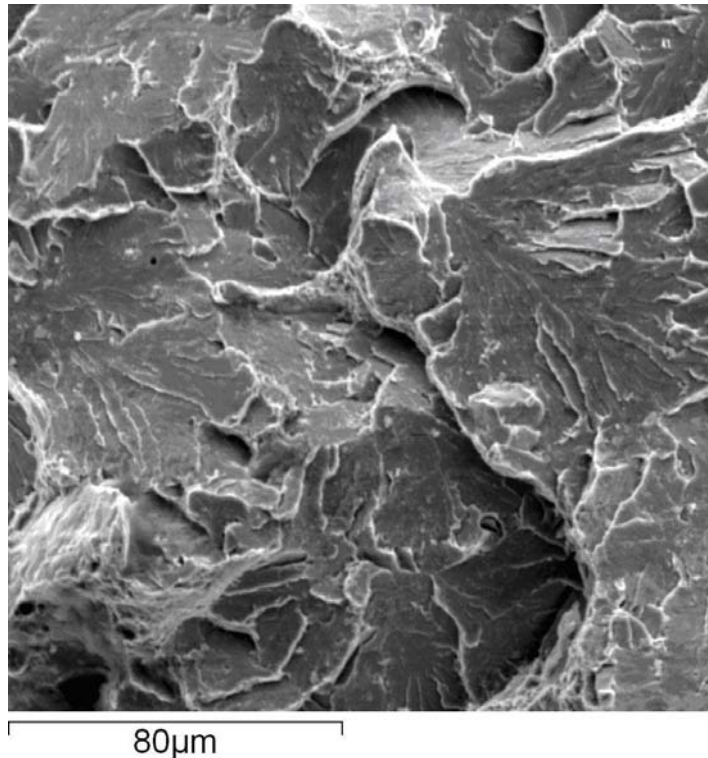


Figura 7 – Superfície de fratura do eixo, aumento de 1200X, MEV, modo SE.

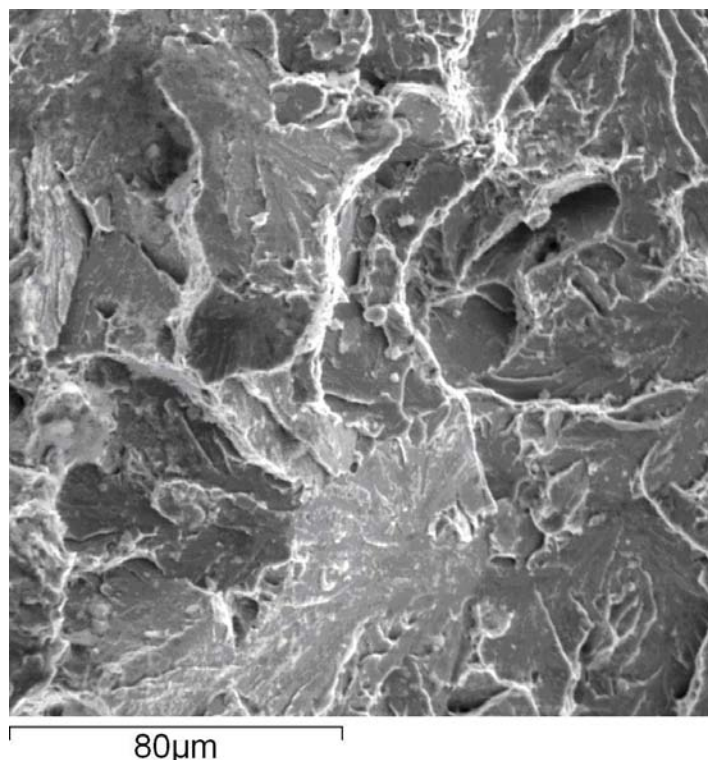


Figura 8 – Superfície de fratura do eixo, aumento de 1.200X, MEV, modo SE.

A imagem da Figura 9 exemplifica uma das diversas imagens obtidas da microestrutura do material do eixo, tipicamente de aço temperado e revenido, isto é, com aspecto microestrutural de martensita revenida. Todas as amostras analisadas encontravam-se com os mesmos aspectos.

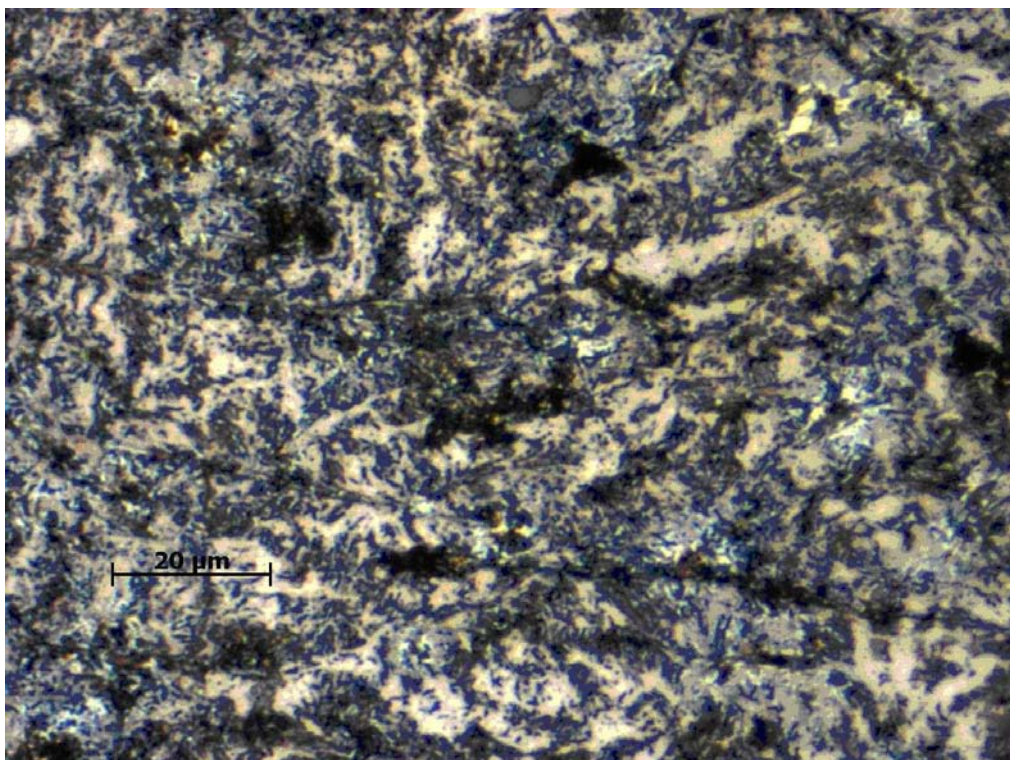


Figura 9 – Microestrutura do eixo fraturado – Aumento de 500X. Todas as regiões analisadas encontravam-se com o mesmo aspecto microestrutural exemplificado por esta imagem. Ataque Nital 5%.

5 CONCLUSÃO

A análise de microestrutura revelou se tratar de um aço temperado e revenido com fases ferrita e cementita homogeneamente distribuídas, o que está de acordo com a especificação do material para o eixo da máquina de triturar sucata. Sugere-se a utilização de peça com têmpera e revenido apenas superficial ao invés da têmpera e revenido na peça toda, uma vez que um material temperado e revenido de modo inadequado pode ser mais frágil e não deve ser usado numa caixa de transmissão. Numa aplicação como essa, isto é, de um eixo redutor, o ideal é ter-se a superfície em martensita revenida, dura, e o núcleo mantendo sua capacidade de trabalhar na transmissão do torque, quando terá que se deformar, funcionar como uma mola de torção. A provável situação da sobrecarga existente devido à alimentação manual da máquina e o tratamento térmico para têmpera que deveria ser apenas superficial e que não foi corretamente especificado muito provavelmente levaram o material a não possuir área transversal para realizar o trabalho.

Não foram encontrados indícios de corrosão, o que descarta, em princípio, a possibilidade de ter sido uma falha por fragilização. Entretanto, a característica frágil da fratura pode sim, estar associada a uma têmpera sem controle e empírica, uma vez que geralmente as têmperas são apenas superficiais nestas peças, o que não foi o identificado, conforme já mencionado.

Como se tratava de um suposto aço SAE 1045, a análise química confirmou que os elementos químicos existentes equivalem aos valores comerciais estabelecidos para este aço, e que o material não possuía nenhum elemento químico que pudesse ter causado fragilidade, já que a quantidade de silício e cromo encontrada se mostrou pouco significativa.



Todos os fatores observados, juntamente com um provável funcionamento em sobrecarga devido à alimentação manual da máquina com a sucata, levam a conclusão da falha por utilização incorreta (sobrecarga) associada à uma microestrutura que deveria ser apenas superficial e não ao longo de todo o eixo. A análise mostrou que o material dimensionado foi considerado apenas para operar em condições normais e não para o excesso de carga. Como sugestão para que seja evitado o excesso de carga, a limitação de alimentação da máquina poderia ser automatizada.

Agradecimentos

Os autores agradecem a FAPERJ pelo suporte financeiro através do edital E-26/110.157/2007.

REFERÊNCIAS

- 1 CHEN, Y.J., MEYERS, M.A., NESTERENKO, V.F., Spontaneous and forced shear localization in high – strain rate deformation of tantalum, *Materials Science and Engineering A*, v. 268, p. 70-82, 1999.
- 2 GANDHI, C., ASHBY, M. F., Overview n^o3: Fracture-mechanism maps and their construction for f.c.c. metals and alloys. *Acta Metallurgica*, v.27, n.5, p.699-729, 1979.
- 3 MANNHEIMER, W. A., *Microscopia dos materiais uma introdução*, Rio de Janeiro: E-papers, 2002.
- 4 METALS HANDBOOK, Volume 09, Metallography and Microstructure. USA: ASM (*American Society for Metals*), 1989.
- 5 ASKELAND, DONALD R., *The Science and Engineering of Materials*, third edition, PWS Publishing Company, 1994.
- 6 SOUZA, S.A., *Composição química dos aços*, São Paulo: Edgard Blücher, 1989.
- 7 ASKELAND, DONALD R., PHULÉ, PRADEEP P., *Ciência e Engenharia dos Materiais*, Cengage Learning, 2008.
- 8 CALLISTER Jr, W. D., *Ciência e engenharia dos materiais: uma introdução*. Rio de Janeiro: Livros Técnicos S.A., 2002.
- 9 CHIAVERINI, V., *Tratamento térmico das ligas metálicas*, São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2003.
- 10 METALS HANDBOOK, Volume 12, Fractography. USA: ASM (*American Society for Metals*), 1987.