

# CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DE FALHA DA CAMISA DO ROLO COMPACTADOR DE MINÉRIO \*

Isau de Souza Alves Junior<sup>1</sup>  
Felipe de Freitas Thompson<sup>2</sup>  
Renan Celestino Silva Santos<sup>3</sup>  
Priscylla Ferreira dos Santos<sup>4</sup>  
Matheus Mariano da Silva Reis<sup>5</sup>  
Sandro Griza<sup>6</sup>

## Resumo

A análise de falhas pode revelar-se como uma importante ferramenta para melhoria do projeto e operação de equipamentos. Este estudo visa determinar as causas que levaram à ruptura de uma camisa de rolo compactador de minério. A falha ocorreu durante a operação a partir da formação de uma trinca ao longo de plano longitudinal ao plano de simetria do rolo. O estudo seguiu a metodologia usual empregada em análise de falhas. Os ensaios realizados foram análises visuais, análise da morfologia da fratura através da microscopia óptica, metalografia, microdureza e análise química. Através da metodologia empregada foi estabelecido os fatores mais relevantes que provocaram a falha do componente. A trinca da camisa ocorreu por sobrecarga, sem deformação plástica evidente, partindo de região junto ao canto entre a face do lado externo e o diâmetro externo da camisa do rolo. Foi verificado também que a camisa apresenta defeitos de fundição - microrrechupes, porosidades, segregações - que incentivaram a formação da trinca.

**Palavras-chave:** Falha; Trinca; Rolo compactador

## CHARACTERIZATION AND FAILURE ANALYSIS OF THE ROLLER SHIRT OIL COMPACTOR

### Abstract

Failure analysis can prove to be an important tool for improving the design and operation of equipment. This study intend to determine the causes that led to the rupture of the roller shirt oil compactor. The failure occurred during the operation from the formation of a crack along the longitudinal plane to the plane of symmetry of the roller. The study followed the usual methodology used in fault analysis. The tests were visual analysis, analysis of fracture morphology through optical microscopy, metallography, microhardness and chemical analysis. Through the methodology used, the most relevant factors that caused the failure of the component were established. The cracking of the jacket occurred by overload, without evident plastic deformation, starting from region near the corner between the face of the outer side and the outer diameter of the roller liner. It was also verified that the jacket has found defects - microreflections, porosities, segregations - that encouraged the formation of the crack.

**Keywords:** Failure; Crack; Road roller.

<sup>1</sup> Engenharia Mecânica, graduando, discente, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Sergipe, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico, Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais, Engenheiro de Manutenção, Projetos, Mosaic Fertilizantes, Rosário do Catete, Sergipe, Brasil.

<sup>3</sup> Engenheiro de Materiais, Mestrando em Ciência e Engenharia de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>4</sup> Graduanda em Engenharia de Materiais, Graduando, Bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil.

<sup>5</sup> Graduando em Engenharia de Materiais, Graduando, Bolsista, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, Brasil

<sup>6</sup> Engenheiro Mecânico, Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação Em Ciência e Engenharia de Materiais (P2CEM), Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, Sergipe, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

A análise de falhas mecânicas e de materiais é uma ferramenta de otimização de projetos [1]. Casos de falhas são tratados como uma investigação na qual procura-se saber ao certo como surgiu e o que causou a falha. A metodologia de análise de falhas formula hipóteses, buscando evidências que esclareçam a sequência de causa e efeito nos eventos de falha. Assim, são selecionadas possíveis causas e mecanismos de falha em operação de componentes e sistemas, dos quais, os de maior incidência na indústria são:

- ✓ Falha de Projeto: o efeito de raios de concordância, mudança de seção, forma (concentradores de tensão, entalhes) e cargas aplicadas desconhecidas ao longo do componente submetido ao serviço e seleção inadequada de material;
- ✓ Material: as falhas podem ser originadas por imperfeições superficiais, internas (concentradores de tensão por falhas de processamento do material, desenvolvimento de mecanismos de corrosão, falhas por ocorrência de delaminação, porosidade, vazios, imperfeições, etc), ou seja, todas as falhas originadas de defeitos de material;
- ✓ Processo de fabricação: surgimento de tensões residuais, micro e macrotrincas de fabricação, alterações superficiais e modificações metalúrgicas. Podem também ser causadas por propriedades anisotrópicas, ou seja, diferentes orientações das tensões, tratamento térmico com o procedimento incorreto (temperaturas, velocidade de aquecimento ou de resfriamento incorretas de têmpera, recozimento, revenimento e formação de precipitados). Em fundição, por exemplo, podem ser associadas à ocorrência de gotas frias, porosidade, inclusões, rechupes, etc;
- ✓ Falhas por operações em condições inadequadas: carga, velocidade, temperaturas excessivas. A não ocorrência de inspeção periódica ou períodos muito longos fazem com que não ocorra a detecção de defeitos e a falha ocorra durante o serviço [2].

Os equipamentos ou estruturas mecânicas podem sofrer falhas durante o serviço. A falha é definida como sendo um evento que torna inoperante, insegura ou não satisfatória a utilização de um sistema, determinando a necessidade de troca ou reparo imediato ou adequadamente previsto [3]. Os componentes de engenharia são muitas vezes sujeitos a cargas estáticas (tração, compressão ou cisalhamento) ou cargas dinâmicas (ciclos de fadiga, impacto) que podem promover o surgimento de pequenas trincas. A ocorrência dessas trincas é mais sensível à tensão de tração e deformação plástica localizada que acelera o processo de falha [4].

Em serviço, é comum a ocorrência de trincas junto a regiões de altas tensões como filetes, rasgos de chaveta, reduções bruscas de seção e outras discontinuidades. Os defeitos tipo trinca mais comuns são: trincas de solidificação, trincas de hidrogênio em soldas, de coesão lamelar e trincas nucleadas em serviço por fadiga, corrosão sob tensão ou defeitos de fundição (microrrechupes, porosidades, segregações). Normalmente estes defeitos são detectados e avaliados quanto às suas dimensões [5].

O projeto convencional na engenharia é baseado em evitar falhas por colapso plástico, ou seja, uma carga limite que o componente pode deformar plasticamente

antes da ruptura. A propriedade normalmente especificada em códigos de engenharia é a tensão de escoamento convencional ou, em componentes mecânicos, a faixa de dureza. Desta forma a tensão de projeto será a tensão que levaria o componente ao colapso plástico multiplicado por um fator de segurança. Conforme este procedimento o fator de segurança não considera a possibilidade de fratura por um modo alternativo como a fratura frágil. Geralmente é aceito que o fator de segurança evita a ocorrência de fraturas frágeis. Entretanto, na prática, tem-se verificado que isto nem sempre é verdadeiro. Existem situações em que a falha de componentes ocorre a partir de trincas com tensões aplicadas abaixo da tensão de projeto [6]. Para tanto, as trincas são favorecidas por outros fatores como estado de tensões, velocidade de deformação e temperatura, além da susceptibilidade do material de reagir ao meio de operação.

Rolo compactador é um equipamento utilizada para compactar, comprimir ou diminuir as dimensões de algum material, inclusive porções de minérios extraídos de minas ou solos superficiais. Os compactadores estão intimamente ligados as necessidades e finalidades dos trabalhos. Desta forma, existem máquinas rolos compactadoras de solo, de resíduos, de minério e etc. Os Compactadores de solo são maquinários utilizados para adensar terra, areia e outros tipos de terreno, planejando a melhor condição para a construção de uma obra civil. Os de resíduos são destinados a reduzir o volume final dos lixos das cidades modernas com o fim de reduzir aterros sanitários. Já rolos compactadores de minério são utilizados para comprimir/ triturar os minérios para torná-los mais susceptíveis as operações unitárias de processamento posterior. Os rolos compactadores de minérios são componentes robustos, normalmente projetados com elevado fator de segurança, que devem durar por toda a vida útil sem apresentar trincas, visto que seu modo de falha esperado é o desgaste. O rolo compactador geralmente consiste de uma camisa em formato tubular que é sustentada por um grande rolo (eixo) que exerce pressão sobre o meio, visando o processamento de fragmentação e compactação do minério [7, 8].

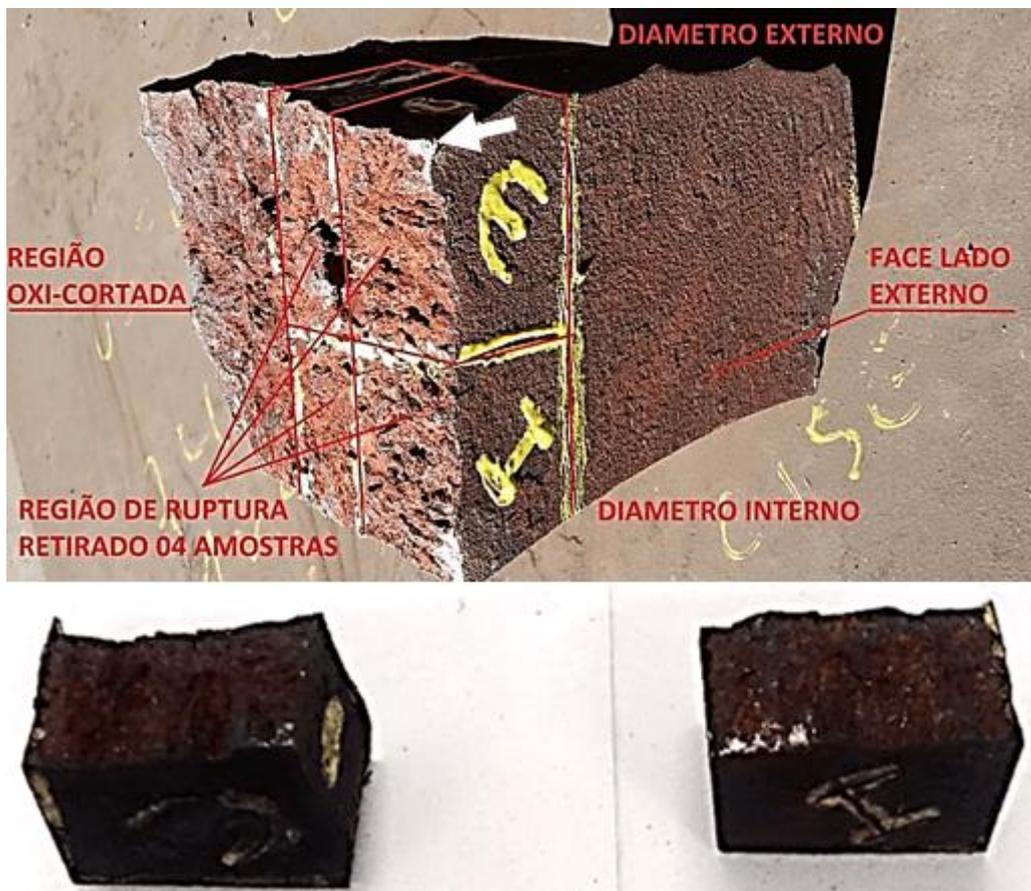
Tendo em vista que os equipamentos ou estruturas mecânicas podem sofrer falhas durante o serviço e que casos de falhas são tratados como uma investigação na qual procura-se saber ao certo como surgiu e o que causou a falha, o presente estudo visa descobrir as causas que levaram a falha da camisa de rolo compactador de minério que rompeu em serviço por meio da formação de trinca ao longo do plano longitudinal.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram feitas caracterizações metalúrgicas e análises de fratura de duas amostras da camisa de rolo compactador de minério, que rompeu em serviço através da formação de trinca ao longo de plano longitudinal, assim como visto na Figura 1. As amostras recebidas para análise bem como a região de corte das amostras estão na Figura 2.



**Figura 1.** Camisa de rolo compactador de minério apresentando trinca longitudinal.



**Figura 2.** Amostras como recebidas para as análises. A imagem superior identifica as regiões da camisa do rolo em relação as seções de corte para análise, que são mostradas nas imagens inferiores. Observa-se uma distância segura das trincas em relação ao plano de corte por oxicorte das amostras. Isto é importante para evitar transformações microestruturais pela alta temperatura de corte. A seta faz a correspondência com a região mostrada na Figura 1.

## 2.1. Análises da fratura

As superfícies dos componentes foram analisadas através de microscópio estereoscópico Zeiss Stemi 2000-C, para visualizar o aspecto da superfície das trincas.

## 2.2. Metalografia

Realizou-se a metalografia da seção transversal da liga como recebida para avaliação da microestrutura presente. No procedimento, as amostras foram cortadas e embutidas em baquelite. Em seguida, foram lixadas através de uma sequência de lixas abrasivas de carbeto de silício, partindo da granulometria mais grossa (120 Mesh) até a granulometria mais refinada (1200 Mesh). Posteriormente, as amostras foram polidas em pano de polimento metalográfico, com pasta de diamante de 1 micron, até adquirir uma superfície especular, livre de riscos de lixa, para então serem atacadas com reagente químico. O ataque foi feito com Nital 1% para aquisição de imagens a partir de microscópio óptico (Leica DM 2500 M).

## 2.3. Microdureza

Utilizou-se o equipamento Future Tech FM 800 para aferição da microdureza Vikers. Foram feitas avaliações do perfil de dureza no interior da amostra interna e na face do lado externo. Para análise foi empregada a carga de 200 gf durante 10 segundos.

## 2.4. Análise química

As análises químicas para identificar a liga de fabricação da camisa foram realizadas por espectrometria de emissão ótica (Oxford Foundry-Master Xpert), através de cinco queimas em cada amostra devidamente preparada.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1. Análise de fratura

A fratura apresenta linhas radiais (Figura 3) que indicam início junto à superfície de trabalho, diâmetro externo, e face do lado externo (ver Figura 2). As linhas radiais também indicam a formação das colunas dendríticas radiais na direção de solidificação da camisa. A morfologia de fratura revela presença de óxidos na superfície das fraturas. A fratura apresenta aspecto rugoso, típico de fratura precedida de pouca deformação, frágil, por sobrecarga (Figuras 3 e 4).



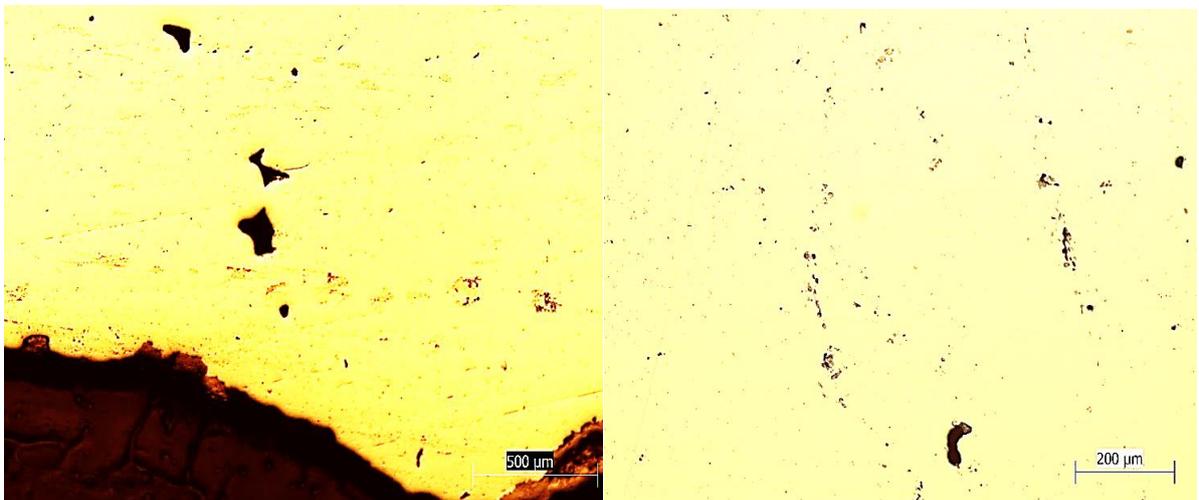
**Figura 3.** Superfícies das fraturas das amostras Interna (esquerda) e externa (direita). Linhas radiais apontam para o início de fratura junto à superfície de trabalho e face do lado externo.



**Figura 4.** Morfologia da superfície de fratura da amostra interna (a) e externa (b). Fratura rugosa, frágil, e camada de óxidos depositadas na superfície.

### 3.2. Metalografia

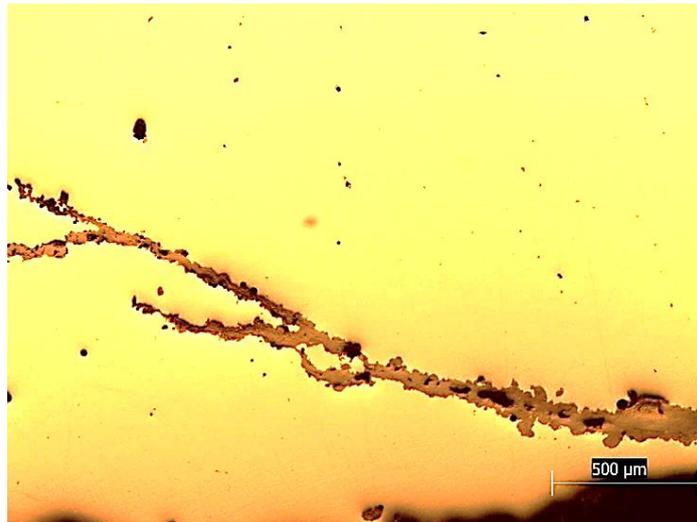
Ambas amostras apresentaram microrrechupes de fundição distribuídos, bem como segregações e porosidades (Figura 5). A amostra interna apresentou trinca secundária ramificada e preenchida por óxidos (Figura 6). A trinca parte da face do lado externo da camisa. A microestrutura da camisa é formada por martensita revenida e ferrita livre (Figura 7).



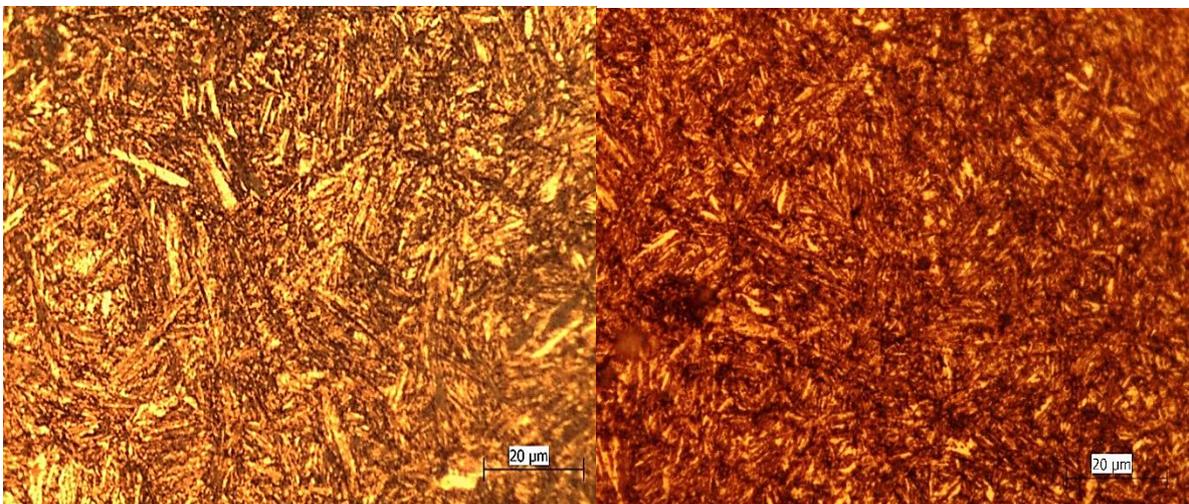
**Figura 5:** Amostra interna (esquerda) mostrando microrrechupes e porosidades; amostra externa (direita) mostrando microrrechupe e segregações de fases ricas em impurezas.

### 3.3. Microdureza

A microdureza da amostra interna é de 375 HV1 (desvio padrão de 12,1 HV1) e da externa, junto a face do lado externo, é de 420 HV1 (desvio padrão de 2,5 HV1). Este gradiente de dureza reflete gradiente de transformação de martensita durante a têmpera.



**Figura 6:** Trinca secundária preenchida por óxidos, partindo da face do lado externo da camisa.



**Figura 7:** Amostra interna (esquerda) e externa (direita). Microestrutura formada por martensita revenida e ferrita livre.

### 3.4. Análise química

O resultado da análise química pode ser visualizado pela Tabela 1. A camisa foi produzida por aço fundido, contendo 0,35% de carbono. A camisa apresenta ainda cromo como elemento de baixa liga majoritário, além de manganês e níquel em menor teor.

**Tabela 1.** Composição química média das amostras analisadas (% em peso).

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
0,35	0,57	1,01	0,030	0,019	2,08	0,25	0,92

## 4 CONCLUSÃO

A fratura da camisa ocorreu por sobrecarga, sem deformação plástica evidente, partindo de região junto ao canto entre a face do lado externo e o diâmetro externo da camisa. A camisa foi fabricada em aço baixo carbono de baixa liga (Cr, Ni, Mo)

fundido, temperado e revenido para dureza superficial de 420 HV. Esta liga é reconhecida por apresentar boa tenacidade a fratura. Porém, a associação de efeito de concentração de tensões da aresta da circunferência externa da camisa e os diversos defeitos de fundição observados (microrrechupes, porosidades, segregações), favoreceram o surgimento de uma trinca durante a operação da camisa.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq, CAPES e FAPITEC pelo apoio financeiro.

### **REFERÊNCIAS**

- 1 AZEVEDO, T. F. Aplicação da simulação numérica para resolução de problemas de análise de falhas e de mecânica da fratura. Dissertação M.Sc. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. 2014
- 2 CASSOU, C. A. Metodologia de Análise de Falhas. Escola de engenharia – PPGEM-UFRGS, Porto Alegre.1999
- 3 DONATO, G. V. P., Curso de Mecânica de Fratura e Análise de Falhas. Universidade Petrobras, Rio de Janeiro. 2006
- 4 XIA, Z., KUJAWSKI, D., ELLYIN, F. Effect of mean stress and ratcheting strain on fatigue life of steel, Int. J. Fatigue, 1996 Vol. 18, No. 5, pp. 335-341.
- 5 CALLISTER, W. D. Ciência e Engenharia de Materiais, Uma Abordagem Integrada; 2ª edição. 2006
- 6 DIETER, G. E., Mechanical Metallurgy, Fracture Mechanics, – SI Metric Ed. London. 1988
- 7 Noury, P. ; Eriksson, K. Failure analysis of martensitic stainless steel bridge roller bearings. Engineering Failure Analysis, 2017 pp. 1017–1030, Sweden.
- 8 KODIKARA, J.; ISLAM, T.; SOUNTHARARAJAH, A .Review of soil compaction: History and recent developments. Transportation Geotechnics, 2018 vol. 19, pp. 24–34