



ESTUDO EM HISTÓRICO DE FALHAS EM EIXO DE MOTOR UTILIZADO EM EQUIPAMENTOS DE MINERAÇÃO

Lima, E, V.;⁽¹⁾ Nascimento, B. L.;⁽²⁾ de Jesus I. G.;⁽³⁾ Santos, I S.;⁽⁴⁾ Andrade, P.V.;⁽⁵⁾ Griza, S⁽⁶⁾.

- 1 – Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS). São Cristóvão, SE
- 2 - Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, CEP 49100-000, SE.
eduardalima98@academico.ufs.br
- 3 – Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS). São Cristóvão, SE
- 4 – Departamento de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.
- 5 - Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.

RESUMO:

A análise de falha é um processo que tem o intuito de investigar e analisar a causa de incidentes, averiguando o nível de gravidade, levantando as hipóteses e encontrando a causa raiz. Este processo de análise dentro da engenharia é de suma importância e segue uma metodologia voltada à inspeção visual e caracterização do material que compõe a peça ou componente mecânico. Dentro deste contexto, a indústria de exploração de minérios é um setor que sofre muitas perdas de componentes mecânicos por conta do alto desgaste e fenômenos ligados à corrosão, provocados durante a exploração no interior das minas, na região do subsolo. Para minimizar os efeitos e não interromper ainda mais a produção, é comum a realização de reparos momentâneos nas peças e componentes. No entanto, tal ação ocorre de forma não programada e sem planejamento, fazendo com que as peças fraturem sem a reposição devida no momento adequado. Diante disso, este estudo trata de um levantamento de estudo de casos em eixos que foram submetidos aos mesmos reparos e romperam pelo mesmo mecanismo, reforçando o histórico de falhas em componentes utilizados na área de exploração de minérios, submetidos a reparos de solda. Os eixos de motor sofreram o processo de falha por fadiga devido à flexão rotativa. Através da caracterização metalográfica foi possível observar a presença de microestrutura contendo ferrita acicular e carbonetos, características de deposição de solda que acarretou na diminuição da resistência à fadiga dos eixos. Os eixos apresentaram heterogeneidade microestrutural e, por consequência, alteração da microdureza.

Palavras-chave: Eixo de motor, solda, fadiga, aço carbono.

INTRODUÇÃO

A manutenção industrial é uma prática essencial para garantir a continuidade e eficiência das operações em plantas industriais, com o objetivo primordial de evitar o lucro cessante. No entanto, muitas estratégias de manutenção eficientes, como os planos de manutenção preventiva e preditiva, falham frequentemente em contemplar a necessidade de manter peças de reposição em estoque para uma substituição rápida ⁽¹⁾. Esse aspecto é crucial, pois a ausência de peças de reposição pode levar a períodos prolongados de inatividade, impactando diretamente a produtividade e a lucratividade das operações industriais.

Além disso, em muitas regiões, a indústria de fabricação de peças para máquinas enfrenta limitações específicas em termos de autonomia e controle sobre o processo de produção. A fabricação dessas peças geralmente envolve uma cadeia complexa que inclui uma seleção de ligas adequadas, usinagem de precisão, tratamento térmico e retífica, processos que não podem ser totalmente disponibilizados por fabricantes locais ⁽²⁾. Essa falta de controle sobre todos os aspectos do processo produtivo leva a uma dependência de fornecedores distantes, resultando em custos elevados de logística e tempos de espera prolongados para a entrega das peças facilmente.

Diante desse cenário, a prática de reparar peças em vez de substituí-las tornou-se uma solução comum. Muitas vezes, essas peças são reparadas por métodos como soldagem, usinagem adicional e retorno ao serviço. No entanto, defeitos na fabricação podem comprometer a durabilidade e a eficácia desses reparos, resultando em falhas prematuras que podem interromper novamente o funcionamento dos equipamentos ⁽⁴⁾.

Essas falhas não só aumentam os custos operacionais, mas também desafiam a eficiência dos planos de manutenção existentes, sublinhando a importância de uma abordagem mais técnica. Dessa forma, o presente trabalho aborda estudos de casos em eixos que foram submetidos ao mesmo procedimento de reparo e romperam prematuramente após os reparos, e por mecanismos semelhantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

No presente estudo, amostragem com 4 peças foi estudada para identificar as causas de falha prematura. As peças se tratam de eixos que fazem parte de motores de equipamentos usados na exploração de minérios. A peça 1 foi usada em motor de moinho, a peça 2 é o eixo usado em motor de rotor, a peça 3 foi utilizada em motor de bomba e pôr fim a peça 4, foi usada em um tambor de correia transportadora. A Figura 1, apresenta o segmento de eixo rompido representante da amostragem.

Figure 1: Eixos de motores de minerador rompidos.



METODOLOGIA

A análise microestrutural foi realizada a partir de seção metalográfica de corte longitudinal passando por um local de início da falha. As amostras foram polidas em pasta de diamante de 1 μm e atacada através de reativo nital 2% (2 ml de ácido nítrico + 98 ml de álcool). As análises metalográficas foram feitas em microscópio ótico (Zeiss Axioscope A1). A análise de composição química foi realizada através de cinco queimas no núcleo das peças, utilizando espectrômetro de emissão ótica (Oxford Foundry Master Xpert). Foram realizadas as medições de microdureza Vickers sobre a própria amostra metalográfica, partindo de local próximo a superfície dos eixos e deslocando-se as endentações a cada 0,4 mm até o núcleo, promovendo-se assim um perfil de microdurezas. A análise foi feita através do microdurômetro (HVS-1000A).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

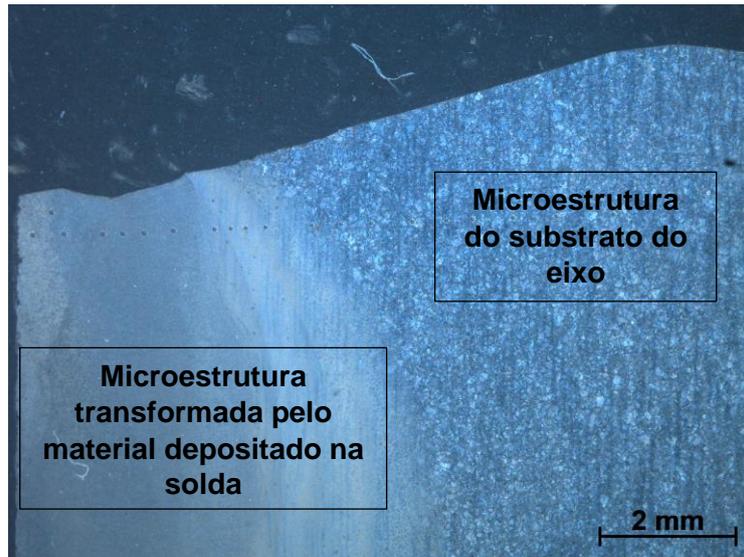
Os casos estudados indicaram que os eixos falharam por fadiga proveniente do mecanismo de flexão rotativa. Para apresentação de resultados de inspeção visual da superfície de fratura, foi selecionado dois eixos (Figura 2). As fraturas indicam marcas de catraca (pequenas marcas radiais partindo da superfície), que indicam diversos sítios de nucleação de trincas. Ao menos dois planos distintos de propagação de fadiga foram identificados nos eixos (setas pretas). A fratura em todos os casos propagou por fadiga abrangendo grande superfície lisa, até atingir a pequena zona de fratura final mais rugosa diametralmente oposta as regiões de início. Esta morfologia indica que o eixo rompeu por fadiga devido a flexão rotativa, cuja tensão era baixa (alto coeficiente de segurança para carga monotônica), mas suficiente para permitir a nucleação da fadiga (carga cíclica).

Figura 2. Macrografia da fratura dos eixos, indicando alguns locais de nucleação (setas), superfície lisa de propagação de fadiga e ruptura final mais rugosa um pouco deslocada do centro.



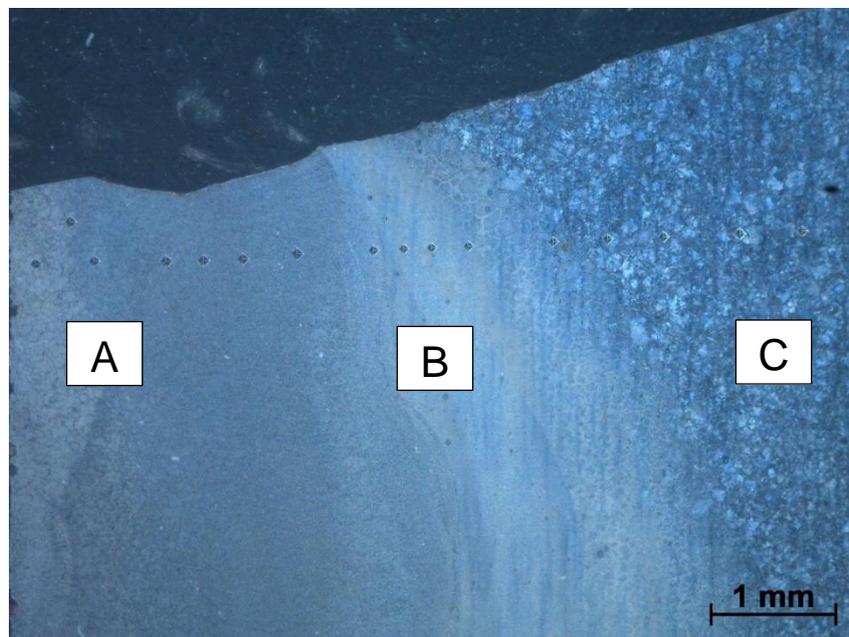
A análise microestrutural em plano perpendicular passando por um dos sítios de origem de falha, detalha as diferentes zonas de alteração microestrutural. A Figura 3, apresenta a secção longitudinal após ataque químico destacando cada região, encontrada no eixo 4 e representativa dos grupos.

Figura 3 – Macrografia evidenciando as diferentes microestruturas encontradas devido a deposição por solda.



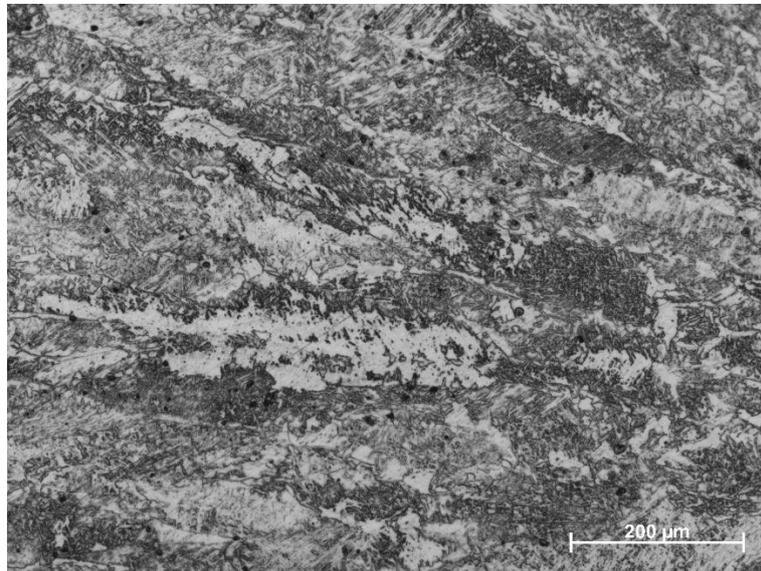
A peça foi submetida a processo de soldagem para deposição superficial. A Figura 4 apresenta as microestruturas transformadas pelo processo de deposição, que são identificadas como A e B, e a microestrutura do núcleo do eixo é identificada como C.

Figura 4 – Regiões identificadas das alterações microestruturais.



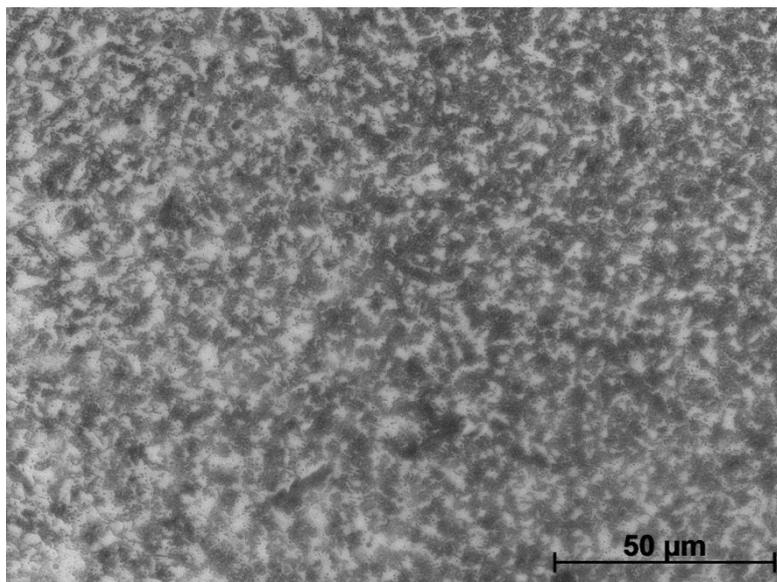
A Figura 5 mostra a microestrutura da região “A”, que mostra grãos colunares de ferrita acicular e carbonetos, que é típica de zona de fusão de solda. Esta microestrutura é representativa dos casos estudados.

Figura 5 – Região A da Figura 4. Ferrita acicular e carbonetos dispersos do metal depositado.



A Figura 6 apresenta microestrutura constituída por perlita fina, devido ao aporte térmico e ferrita pró-eutetóide, provenientes de diferentes passes de deposição.

Figura 6 - Região B da Figura 5. Microestrutura transformada a baixa temperatura devido ao aporte térmico (perlita fina) além de ferrita pró-eutetóide.



O núcleo do eixo possui microestrutura com tamanhos de grão diversos, distribuídos de forma heterogênea e composta de ferrita pró-eutetóide (Figura 7), e colônias de perlita grossa (Figura 8).

Figura 7 – Região C da Figura 4. Microestrutura do núcleo do eixo composta por grãos de tamanhos heterogêneos de ferrita pró-eutetóide e colônias de perlita.

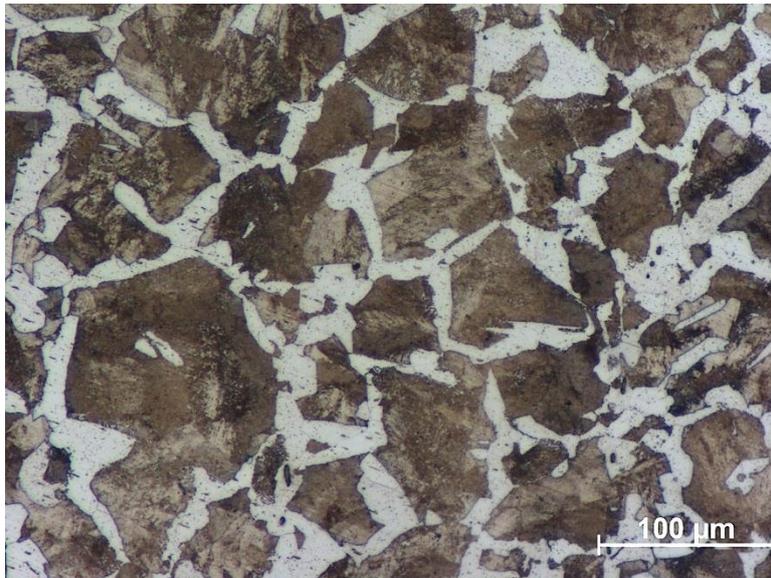
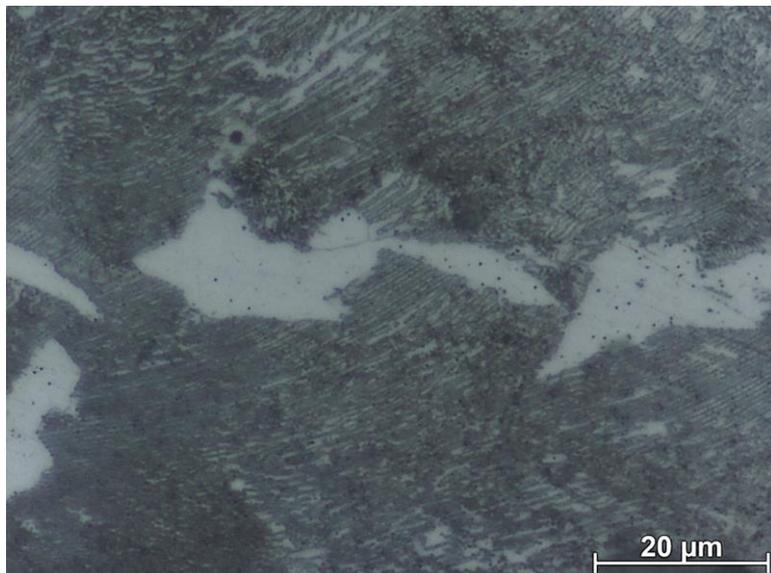


Figura 8 – Região C da Figura 4 em maior ampliação. Microestrutura do núcleo do eixo composta de ferrita pró-eutetóide e lamelas de perlita.



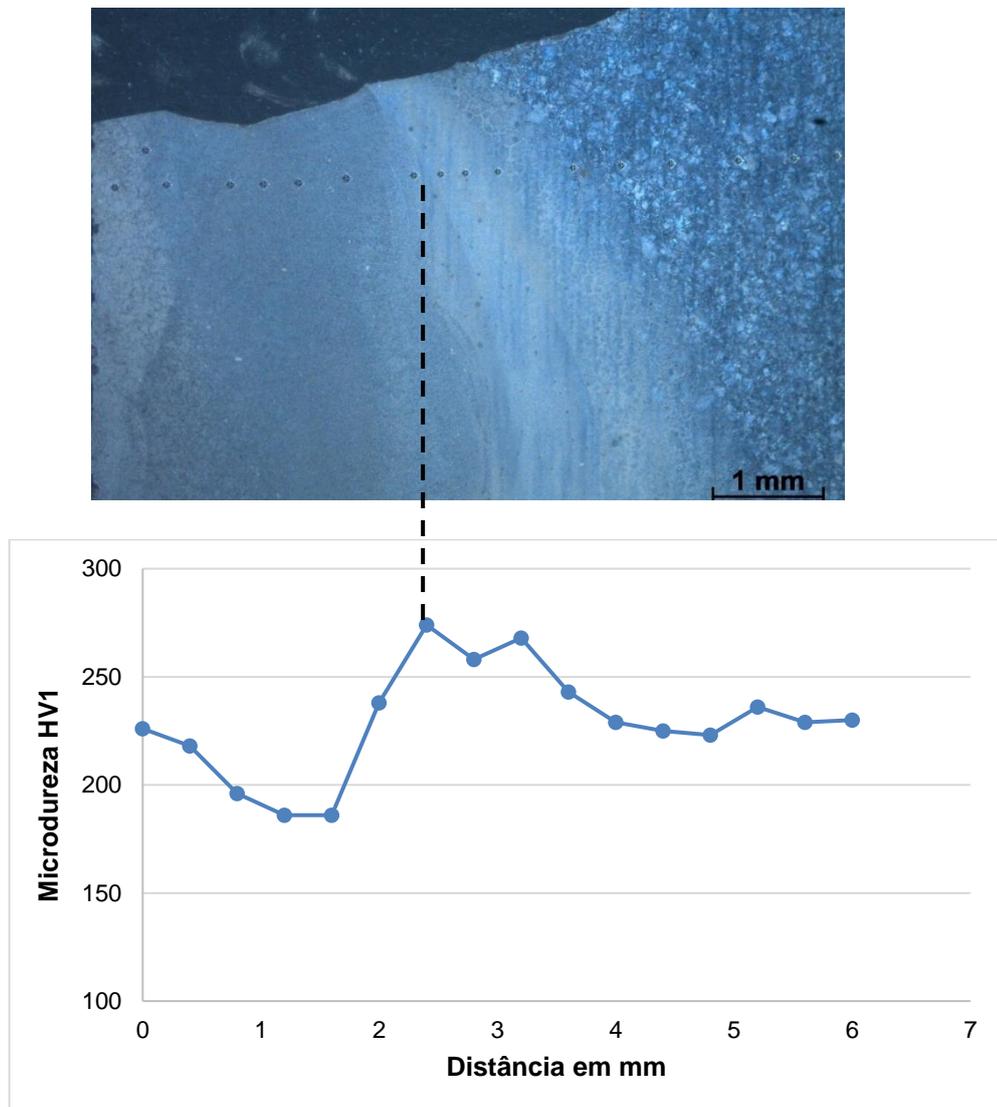
O perfil de microdureza Vickers que percorreu desde a superfície até o núcleo do eixo está apresentado na Figura 9, e os valores unitários das medições estão

expostos na Tabela 1. A microdureza partiu de 226 HV no metal depositado, apresentou pico de 274 HV na região transformada logo abaixo da zona de deposição e atingiu 230 HV no núcleo do eixo.

Tabela 1 – Valores de microdureza Vickers partindo da extremidade da camada até o núcleo do eixo

Distância (mm)	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0
Dureza (HV)	226	218	196	190	186	238	274	258	268	243	229	225	223	236	229	230

Figura 9 – Perfil de microdureza Vickers, partindo da superfície do material depositado e seguindo em direção ao núcleo. A linha tracejada indica a região que apresentou o pico de microdureza.



A composição química dos eixos analisados está exposta na Tabela 2. Os elementos apresentados se tratam da composição química do material que compõe o a matéria prima principal do metal base do eixo. Sendo assim, pode-se observar que a composição química não interferiu no mecanismo de falha do eixo, pois o agente a causa está associada ao reparo de solda realizado sobre a peça.

Tabela 2 – Teor dos elementos detectados na liga (% em peso).

Elementos	C	Mn	Cr	Mo	Si	P	S
Eixo 1	0,51	0,85	-	-	0,24	0,01	0,02
Eixo 2	0,44	0,88	0,98	0,13	0,34	0,01	0,02
Eixo 3	0,49	0,70	-	-	0,30	0,008	0,02
Eixo 4	0,43	0,75	0,85	0,18	0,30	0,005	0,005

CONCLUSÃO

Os eixos romperam pelo processo de fadiga devido a solicitação de flexão rotativa. A fadiga foi incentivada por causa das alterações microestruturais decorrentes da deposição de solda na superfície dos eixos. O processo de solda empregado reduziu a resistência a nucleação de fadiga dos eixos, o que levou a falha. O procedimento mais adequado seria a substituição dos eixos em vez do reparo de solda. Para aumentar a resistência a fadiga dos eixos, a fabricação deveria contemplar seleção adequada de matéria prima para posterior usinagem, adequado tratamento térmico, eventualmente algum processo mecânico de superfície para elevar resistência a fadiga e retifica final para o ajuste de montagem.

AGRADECIMENTOS

CNPq, CAPES

REFERÊNCIAS

- (1) MOLEDA, Marek et al. From corrective to predictive maintenance — A review of maintenance approaches for the power industry. **Sensors**, v. 23, n. 13, p. 5970, 2023.
- (2) J. P. Womack, D. T. Jones, & D. Roos (1990). "The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production." *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 112(1), 105-113. doi:10.1115/1.2905584
- (3) Alavi, H., & Javadian, N. (2017). "Manufacturing and Supply Chain Management: A Review of Trends and Developments." *Journal of Manufacturing Processes*, 29, 235-245. doi:10.1016/j.jmapro.2017.05.001
- (4) SHRAVAN, C. et al. A review on welding techniques: properties, characterisations and engineering applications. *Advances in Materials and Processing Technologies*, v. 10, p. 80, 2023.

STUDY ON THE HISTORY OF FAILURES IN MOTOR SHAFT USED IN MINING EQUIPMENT

ABSTRACT:

Failure analysis is a process that aims to investigate and analyze the cause of incidents, determining the severity level, raising hypotheses and finding the root cause. This analysis process within engineering is of utmost importance and follows a methodology focused on the visual inspection of the characterization of the material that makes up a mechanical part or component. In this context, the mining industry is a sector that suffers many losses of mechanical components due to high wear and tear and deficiencies related to corrosion of the environment, caused during exploration inside mines, in the subsoil region. To minimize the effects and not interrupt production even further, it is common to carry out temporary repairs on parts and components. However, such action occurs in an unscheduled and unplanned manner, causing the parts to fracture without the proper order at the appropriate time. In view of this, this study deals with a survey of cases in which shafts were subjected to the same repairs and broke by the same mechanism, reinforcing the history of failures in components used in the mineral exploration area, subjected to welding repairs. The motor shafts underwent the fatigue failure process due to rotary bending. Through metallographic characterization, it was possible to observe the presence of a microstructure containing acicular ferrite and carbides, characteristics of weld deposition that resulted in a reduction in the fatigue resistance of the shaft. The shafts presented microstructural heterogeneity and, consequently, changes in microhardness.

Keywords: Motor shaft, welding, fatigue, carbon steel.