



ANÁLISE DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS E MICROESTRUTURAIS DE HASTES DE SONDAS DE PERFURAÇÃO DE TESTEMUNHOS

Reis, M.M.S.;¹ Nascimento, B.L. ² ; Alves, R, S.;³ Silva, L.N. ⁴ ; Martins, K.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. *Programa de Pós-graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.*
3. *Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.*
4. *Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.*
5. *Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.*
Rua C, 142, CEP 49070-787, SE. kesiav@academico.ufs.br
6. *Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Sergipe (UFS), São Cristóvão, SE.*

RESUMO:

A exploração de recursos naturais é uma atividade vastamente realizada em território brasileiro e uma das técnicas realizadas durante esta exploração é a perfuração para extração de testemunhos. Essa técnica é frequentemente utilizada em atividades de exploração mineral, pesquisa geológica, estudos geotécnicos e na indústria de petróleo e gás para analisar as propriedades do subsolo e determinar a viabilidade econômica da exploração nessas áreas. A extração de testemunhos é essencial para os geólogos e engenheiros obterem dados sobre a subsuperfície, contribuindo para a tomada de decisões informadas durante o planejamento e execução de projetos relacionados à exploração e produção de recursos naturais. Dentro deste contexto, é de suma importância que o material que compõe as hastes de sonda sejam resistentes e possuam adequadas propriedades mecânicas para resistir ao ambiente de operação. Sendo assim, este estudo traz um comparativo entre duas hastes de sonda submetidas a caracterização microestrutural e mecânica (compressão, flexão e tração). As análises química e microestrutural indicaram que os aços são de médio carbono e baixa liga, respectivamente, AISI 1050 e AISI4145H, compostos por microestrutura perlítica, ferrítica e martensítica, cuja microdureza média é de 245 HV e 280 HV, respectivamente. Nos ensaios de compressão, flexão e tração o aço 4145H apresentou propriedades superiores. O conjunto de resultados indica que o AISI4145 é mais adequado para a aplicação.

Palavras-chave: Exploração de minérios, perfuração, propriedades mecânicas, aço baixa liga.

INTRODUÇÃO

O processo de perfuração de poços artesanais é uma das formas de exploração de recursos naturais utilizadas para exploração de minérios. Este processo pode ser controlado para trazer uma maior eficiência na exploração de determinado recurso, já que através do mesmo é possível determinar a capacidade de produção no campo em que está relacionado, como por exemplo na perfuração de poços, onde a profundidade de perfuração pode exercer direta influencia na vazão de determinado recurso, bem como na área de mineração onde estas sondas de perfuração muitas vezes são relacionadas ao evento de prospecção mineral em minas ⁽¹⁾.

As sondas de perfuração em sua maioria são compostas por ligas metálicas na sua porção colunar e eventualmente as brocas que o compõe são constituídas de materiais com alta dureza. Todo o conjunto de sonda de perfuração é submetido a diversos esforços, como tração, compressão, cisalhamento, trazendo assim a necessidade de materiais com boas propriedades mecânicas e de corrosão, para suportar às solicitações durante sua vida útil ⁽²⁾.

O processo de tratamento térmico é uma forma de otimizar as propriedades do material para atender as exigências requeridas ⁽³⁾. Tempera consiste na exposição do aço a altas temperaturas para austenitizá-lo, manter a temperatura até equalização e homogeneização da austenita e depois resfriar rapidamente o aço para formar martensita, o que acarreta em ganho de dureza relevante para o material ^(4,5). O revenimento é efetuado posteriormente a têmpera e tem o objetivo de aliviar tensões internas e controlar a dureza do aço, através de aquecimentos subcríticos em tempos que variam geralmente entre 1 e 2 h.

O presente estudo constitui-se em caracterizar dois tipos de sondas utilizadas no ramo de mineração, com o intuito de determinar as propriedades mecânicas das ligas presentes nas hastes das sondas e compará-las entre si, indicando qual liga é a mais adequada para este uso, levando em conta os esforços e mecanismos de desgaste e falha que podem afetar os componentes em serviço.

2. Materiais e métodos

2.1 Materiais

As hastes recebidas para análise estão apresentadas na Figura 1. Segmentos e amostras foram retirados para realização das demais análises.

Figura 1: Hastes de sonda de perfuração. Haste 1 (a). Haste 2 (b).



2.2 Caracterização microestrutural

As amostras foram submetidas ao procedimento padrão de lixamento, partindo da 80 Mesh até 1200 Mesh, com posterior polimento por processo mecânico em polítrix semiautomática, com utilização do agente polidor de pasta de diamante de $1\mu\text{m}$. Após o polimento, as amostras tiveram sua microestrutura revelada através o reativo Nital 2% (9,8 ml de álcool + 0,2 ml de ácido nítrico). As imagens foram obtidas através de microscópio óptico (Zeiss Axio Scope A1).

2.3 Análise de composição química

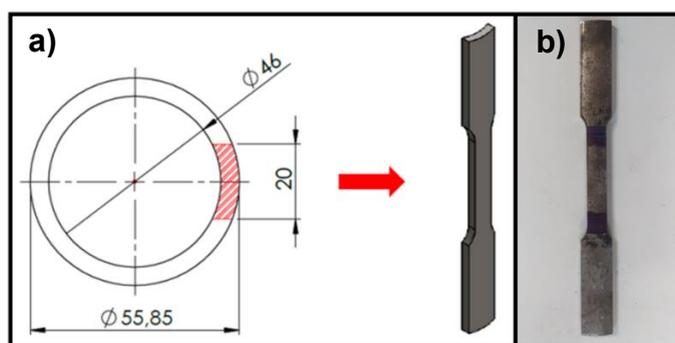
A determinação da composição química foi realizada através da técnica de espectrometria de emissão ótica, em um espectrômetro Oxford Foundry-Master Xpert Hitachi.

2.4 Ensaio de tração

As hastes possuíam diâmetro interno e externo respectivamente de 46 mm e 55,85 mm. Os testes de tração foram realizados em 3 corpos de prova extraídos de cada tipo de haste conforme recomendações da norma ASTM E8/E8M. Os corpos de prova possuíam comprimento total de 200 mm, comprimento entre garras de 60 mm, base de medida de 50 mm, largura de 12,7 mm e espessura igual à espessura da haste.

Os ensaios de tração foram realizados em máquina universal Instron 3385H com velocidade de teste de 1,0 mm/min. O modelo de corpo de prova de tração extraído das hastes pode ser visto na Figura 2.

Figura 2: a) Hachura na vista de topo da haste corresponde ao corpo de prova de tração extraído e indicado pela seta; b) Corpo de prova extraído de uma das hastes.



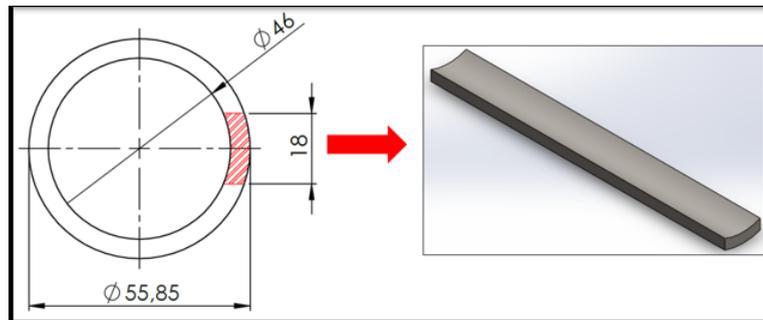
2.5 Ensaio de flexão

Os testes de flexão foram realizados em 3 corpos de prova extraídos de cada tipo de haste. Os corpos de prova de compressão possuíam comprimento de 10 mm, largura de 5 mm e espessura igual à espessura da haste.

Os corpos de prova de flexão possuíam comprimento de 200 mm, largura de 18 mm e espessura igual à espessura da haste (Figura 3). Os ensaios de flexão foram realizados em máquina universal Instron 3367, a velocidade de teste foi de 3 mm/min e o vão entre os apoios

inferiores foi de 150 mm. Os corpos de prova de flexão foram posicionados no dispositivo de flexão de 3 pontos de forma que a sua superfície convexa fosse submetida à tração durante o teste.

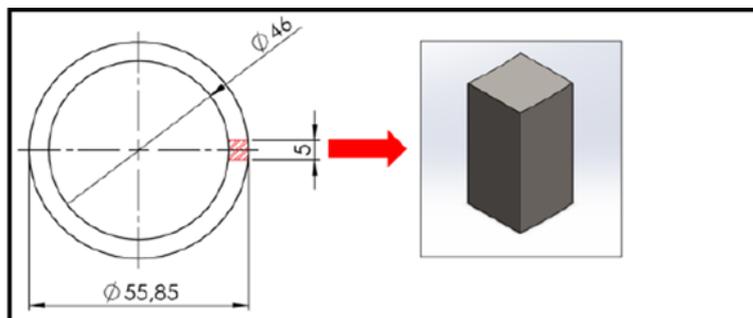
Figura 3: Hachura na vista de topo da haste corresponde ao corpo de prova de flexão extraído e indicado pela seta.



2.6 Ensaio de compressão

Os testes de compressão foram realizados em 3 corpos de prova extraídos de cada tipo de haste. Os corpos de prova de compressão possuíam comprimento de 10 mm, largura de 5 mm e espessura igual à espessura da haste (Figura 4). Os ensaios de compressão foram realizados em máquina universal Instron 3385H com velocidade de teste de 0,5 mm/min.

Figura 4: Hachura na vista de topo da haste corresponde ao corpo de prova de compressão extraído e indicado pela seta.

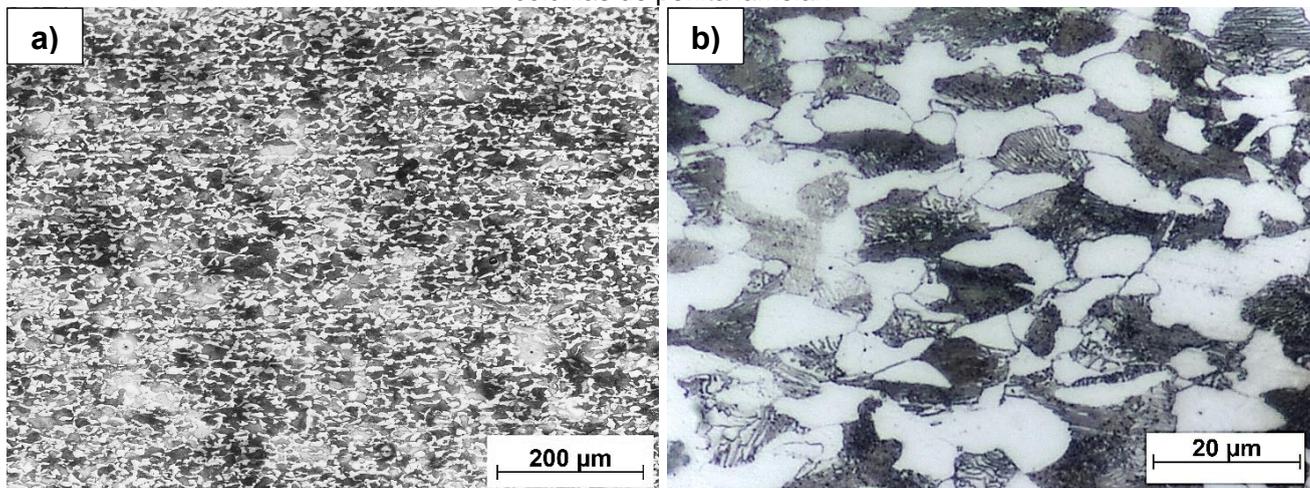


3. Resultados e discussão

3.1 Caracterização microestrutural e composição química

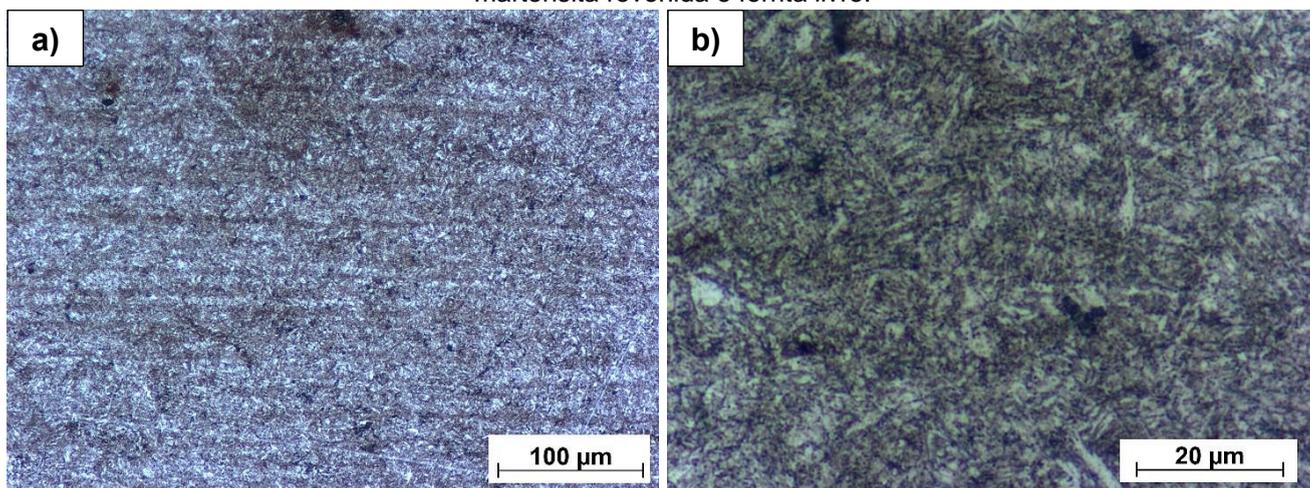
As hastes de sonda apresentaram diferentes microestruturas. A Figura 5 apresenta a microestrutura referente à amostra 1. É possível observar através da imagem de menor ampliação (Figura 5a) a presença do alinhamento do fluxo gerado durante o processo de laminação do tubo, durante a fabricação. Em maior detalhe, é possível observar através da Figura 5b, que a amostra é composta por grãos refinados de ferrita pró-eutetóide e colônias de perlita.

Figura 5: Microestrutura refinada da haste 01. Imagem à esquerda de baixo aumento apresentando as linhas de fluxo de laminação do tubo. Imagem à direita em maior aumento apresentando matriz ferrítica e colônias de perlita lamelar.



A microestrutura da amostra referente à haste 2 está apresentada na Figura 6. Assim como visto na haste 1, também é observado as linhas de fluxo proveniente do processo de conformação do tubo. A microestrutura é composta por martensita revenida e ferrita livre.

Figura 6: Microestrutura da haste 2. Imagem à esquerda em menor aumento evidenciando as linhas de fluxo de laminação, com microestrutura martensítica. Imagem em maior aumento apresentando microestrutura martensita revenida e ferrita livre.



A partir da microestrutura apresentada em ambas as hastes, espera-se que a haste 1, possua uma dureza menor do que a haste 2, uma vez que a martensita é uma fase que se forma fora do equilíbrio através do resfriamento brusco, o que causa distorções na estrutura cristalina interferindo no aumento da dureza. Diferente da perlita, que se forma através do

resfriamento lento formando uma estrutura mais estável. Dessa forma, a haste 1 apresentou dureza média de 240 HV1, desvio padrão de 6 HV, enquanto a haste 2 obteve 280 HV1 e desvio de 4 HV.

3.2 Análises de composição química

As composições químicas de ambas as amostras estão apresentadas na Tabela 1, indicando tratar-se de aço de médio carbono equivalente ao AISI 1050 para a haste 1, enquanto que a haste 2 apresentou elementos de liga Cr e Mo indicando composição semelhante ao AISI 4145H.

Tabela 1: Composição química média das hastes de sonda (% em peso).

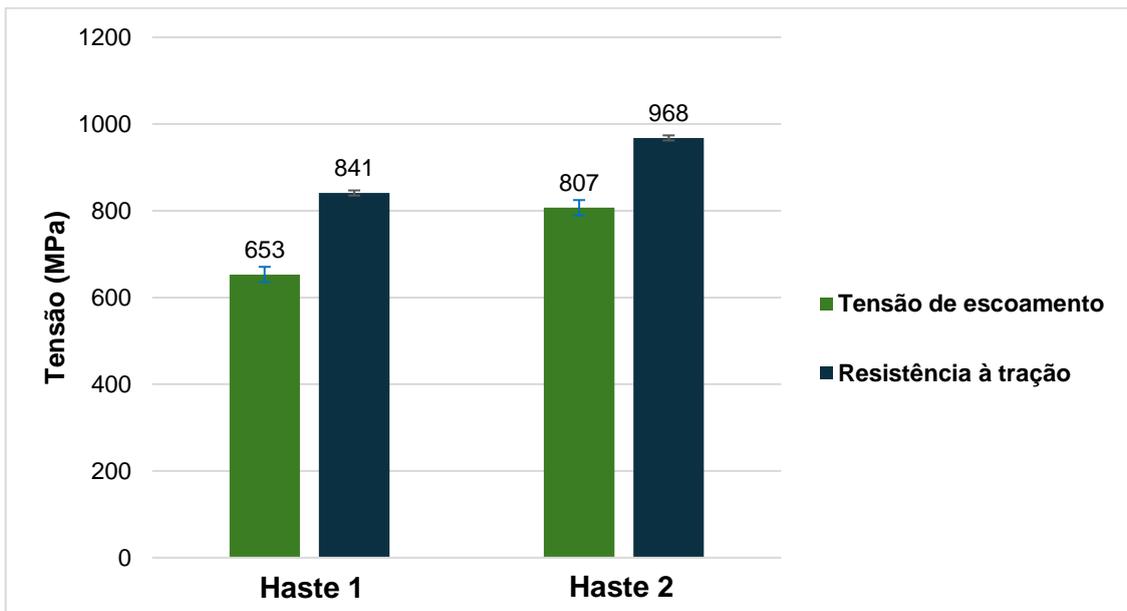
Elementos	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo
Haste 1	0,52	0,67	0,20	0,009	0,002	---	---
Haste 2	0,45	0,67	0,21	0,013	0,003	1,17	0,16

3.3 Comportamento mecânico

O comportamento mecânico dos tubos foi avaliado submetendo as amostras dos tubos a 3 tipos de solicitações distintas, tração, compressão e flexão. A depender da aplicação, os tubos podem ser submetidos a esses mecanismos de solicitação.

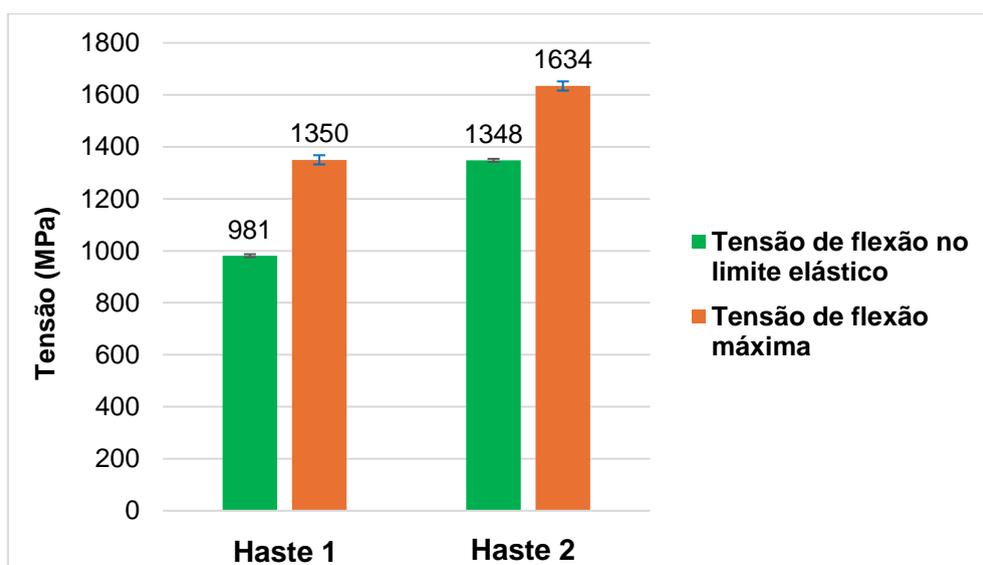
Ao analisar o ensaio de tração, pode-se observar através do gráfico comparativo (Figura 7) que a haste 1, apresentou média de 653 MPa na tensão de escoamento e 841 MPa de resistência máxima à tração. A haste 2, apresentou 807 MPa de tensão de escoamento e 968 MPa de resistência à tração. A partir da comparação, a haste 2 apresenta resistência mecânica maior, cerca de 24% a mais com relação a tensão de escoamento, e 15% maior em comparação à resistência à tração máxima da haste 1.

Figura 7: Gráfico comparativo entre as duas hastes após ensaio de tração.



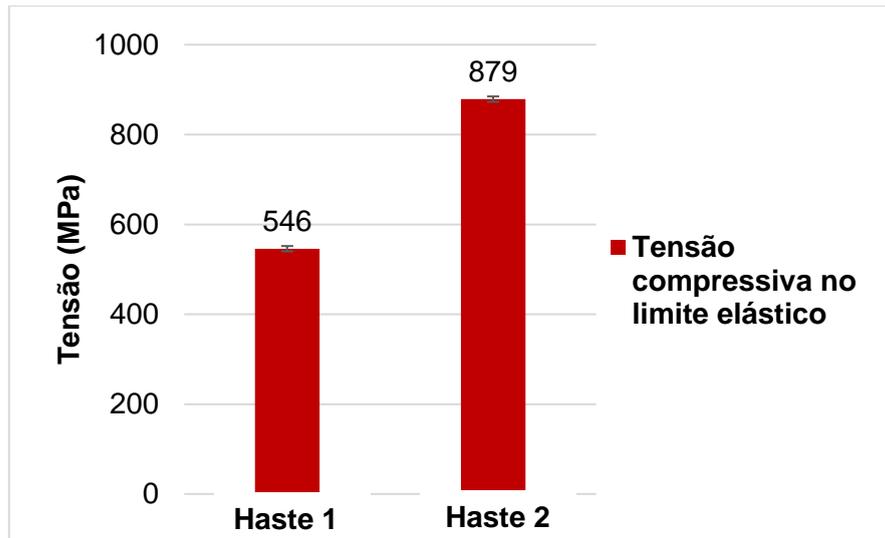
Ao analisar o ensaio de flexão, pode se observar através do gráfico comparativo (Figura 8) que a haste 1, apresentou média de 981 MPa de tensão de flexão no limite elástico e 1350 de tensão de flexão máxima. A haste 2, apresentou 1348 MPa de tensão de flexão no limite elástico e 1634 de tensão de flexão máxima. A partir da comparação, a haste 2 apresenta resistência mecânica superior, cerca de 37% a mais com relação a tensão de flexão no limite elástico, e cerca de 21% maior em relação a tensão de flexão máxima em relação a haste 1.

Figura 8: Gráfico comparativo entre as duas hastes após ensaio de flexão.



Ao analisar o ensaio de compressão, pode se observar através do gráfico comparativo (Figura 9) que a haste 1 apresentou média de 546 MPa de tensão compressiva no limite elástico. A haste 2, apresentou 879 MPa de tensão compressiva no limite elástico. A partir da comparação, a haste 2 apresenta tensão compressiva no limite elástico, cerca de 61% maior com relação a tensão compressiva no limite elástico em comparação a haste 1.

Figura 9: Gráfico comparativo entre as duas hastes após ensaio de compressão.



CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitiram concluir que a haste 2 se mostrou superior em todos os aspectos de comportamento mecânico avaliados neste estudo. Este desempenho mecânico superior da haste 2 em relação à haste 1, é consequência da presença dos elementos de liga e elevada dureza média proveniente da microestrutura martensítica adquirida através do processo de têmpera e revenido. A liga AISI 4145H possui melhores condições de controle de tempera em relação a liga ao carbono AISI 1050, o que permite maior confiabilidade no resultado de tempera e revenimento, sem expressivo aumento de custo de matéria prima. Além disso, a maior microdureza e demais propriedades mecânicas conferem a liga AISI 4145H a probabilidade de apresentar melhor desempenho em serviço das hastes de sonda, que operam em condições de desgaste, solicitações mecânicas cíclicas de diferentes naturezas, como compressão, flambagem, flexão, torção. Por fim, a microestrutura martensítica revenida refinada contendo ferrita livre deve manter bom desempenho em relação a corrosão, se comparado a microestrutura de perlita e ferrita pro-eutetóide.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as agências de fomento CAPES, CNPq.

Referencias

- (1) J. D. O. Alves and W. R. Faria, "Reserves, well drilling and production: Assessing the optimal trajectory of oil extraction for Brazil," *Resour. Policy*, vol. 88, no. November 2023, p. 104341, 2024.
- (2) A. Al Shekaili, Y. Liu, and E. Papatheou, "Drilling performance analysis of a polycrystalline diamond compact bit via finite element and experimental investigations," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, vol. 182, no. November 2023, p. 105862, 2024.
- (3) D. E. Mack, T. Wobst, M. O. D. Jarligo, D. Sebold, and R. Vaßen, "Lifetime and failure modes of plasma sprayed thermal barrier coatings in thermal gradient rig tests with simultaneous CMAS injection," *Surf. Coatings Technol.*, vol. 324, pp. 36–47, 2017.
- (4) Y. Su, J. X. Wang, X. F. Yu, S. J. Wang, Y. Z. Xia, L. Liu, and J. L. Liu, "Effect of deep tempering on microstructure and hardness of carburized M50NiL steel," *J. Mater. Res. Technol.*, vol. 14, pp. 1080–1088, 2021.
- (5) C. Han, Q. Liu, Z. Cai, Q. Sun, X. Huo, M. Fan, Y. He, K. Li, and J. Pan, "Effect of tempering heat treatment on the microstructure and impact toughness of a Ni–Cr–Mo–V steel weld metal," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 850, no. June, 2022.

ANALYSIS OF MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL PROPERTIES OF CORE DRILLING PROBE RODS

ABSTRACT

Exploration of natural resources is an activity widely carried out in Brazil, and one of the techniques used during this exploration is core drilling. This technique is frequently used in mineral exploration, geological research, geotechnical studies, and in the oil and gas industry to analyze subsurface properties and determine the economic viability of exploration in these areas. Core drilling is essential for geologists and engineers to obtain data on the subsurface, contributing to informed decision-making during the planning and execution of projects related to the exploration and production of natural resources. Within this context, it is of utmost importance that the material that makes up the drill rods is resistant and has adequate mechanical properties to withstand the operating environment. Therefore, this study presents a comparison between two drill rods subjected to microstructural and mechanical characterization (compression, bending, and traction). Chemical and microstructural analyses indicated that the steels are medium carbon and low alloy, respectively, AISI 1050 and AISI4145H, composed of pearlitic, ferritic and martensitic microstructures, whose average microhardness is 245 HV and 280 HV, respectively. In the compression, flexural and tensile tests, the 4145H steel presented superior properties. The set of results indicates that AISI4145 is more suitable for the application.

Keywords: *Mineral exploration, drilling, mechanical properties, low alloy steel.*