

Análise de falha em hastes de unidade bombeio mecânico, de campo produtor do Estado do RN

Paulo Ricardo Lima Almeida ^[1], Jardel Dantas da Cunha ^[2]

^[1] UFERSA, Engenharia Mecânica; Paulo Ricardo Lima Almeida; pauloricardo021@hotmail.com

^[2] UFERSA, Engenharia de Petróleo; Jardel Dantas da Cunha; Jardel.dantas@ufersa.edu.br

Data da defesa: 31/06/2021

Resumo: O bombeio mecânico ainda é até hoje o método de elevação artificial terrestre mais utilizado no mundo. Tal método utiliza diversos componentes mecânicos, como bombas, caixas redutoras, hastes e válvulas, que irão trazer o óleo dos reservatórios naturais até a superfície e, como todo equipamento mecânico, existem manutenções a serem feitas. Todos esses componentes estão sujeitos a falhas durante sua operação sendo importante manutenção preventiva bem como detectar suas principais falhas quando as mesmas vierem a ocorrer. O componente analisado nesse projeto é a haste polida que fica localizada na superfície do poço e tem, dentre outras funções, a missão de sustentar todo o peso da coluna e vedar a cabeça do poço evitando prejuízos financeiros e danos ambientais. Essa haste falha de forma abrupta causando prejuízo de tempo, financeiro, como também, danos ambientais. O presente trabalho tem como objetivo, analisar e determinar as causas de falha em hastes de unidade de bombeio oriundas de campos produtos do estado do RN. Foram utilizadas análises macrográficas e ensaios de tração. Ficou constatado que as hastes analisadas ambas apresentaram o mesmo mecanismo de falha oriundas de fadiga.

Palavras-chave: haste polida; ensaio de tração; macrografia; falha.

1. INTRODUÇÃO

Hoje o mundo está passando pela era do petróleo, como implicações diretas disso a grande maioria dos produtos ou dos bens contém algum composto derivado do petróleo ou são produzidos de forma direta ou indireta utilizando petróleo [1].

No processo de formação do petróleo são identificadas etapas, sendo as principais: a formação (ocorrida na rocha geradora), a migração e a acumulação (ocorrida na rocha reservatório). Quando a pressão existente no reservatório é capaz de vencer a coluna de fluido permitindo que o óleo escoe espontaneamente para a superfície, diz-se que o poço é surgente. Quando o poço atinge o fim de sua vida produtiva por surgência, ou seja, quando há redução de pressão interna do reservatório ou quando, a pressão originalmente encontrada no reservatório não é suficiente para vencer as perdas de carga do sistema, torna-se necessário a utilização de um método de elevação artificial de petróleo [2].

A haste polida faz parte da coluna de hastes e pode ser fabricada em diversos materiais metálicos, sendo o mais recorrente o aço inoxidável AISI 316. Sua superfície passa por um processo de tratamento rigoroso, com o propósito de reduzir o atrito e com isso o desgaste do sistema de vedação instalado na cabeça do poço e proteger o corpo da haste polida contra corrosão atmosférica.

2. CONTEXTO HISTÓRICO

O registro de participação do petróleo na vida do homem remonta a tempos bíblicos. Na antiga Babilônia, os tijolos eram assentados com asfalto e o betume era largamente utilizado pelos fenícios na calafetagem de embarcações. Os egípcios o usaram na pavimentação de estradas, para embalsamar os mortos e na construção de pirâmides, enquanto os gregos e romanos dele lançaram mão para fins bélicos [1].

No Brasil, o primeiro registro de perfuração de um poço de petróleo foi no município de Bofete, estado de São Paulo. Infelizmente não foi bem-sucedida pois o proprietário da sonda exportada dos Estados Unidos só conseguiu extrair do poço 0,5m³ de óleo.

3. ELEVAÇÃO DO PETRÓLEO

3.1 FUNCIONAMENTO

Com a descoberta de novas jazidas de petróleo, faz-se necessária a elevação desses hidrocarbonetos, que podem ser leves, pesados e ultra pesados (classificação atribuída pela densidade), para a superfície para que possam ser refinados e comercializados. A pressão do poço é um fator importante para a elevação dos hidrocarbonetos.

Quando a pressão no poço é elevada, provocada pelo peso das camadas de solo e rocha sobrepostas, existe uma tendência natural que o óleo saia do local mais pressurizado para o menos pressurizado, neste caso o poço. Se essa pressão for suficiente para vencer a pressão hidrostática do poço então o petróleo irá surgir na superfície. Esse poço será conhecido como surgente ou de elevação natural.

Assim como em casos de pressão relativamente baixas ou poços surgentes com final de vida produtiva, faz-se necessária a utilização de meios artificiais para trazer esses hidrocarbonetos à superfície.

3.2 TIPOS

Dentre os métodos de elevação artificial de petróleo mais comuns temos:

- Gás-lift Contínuo e Intermitente (GLC e GLI);
- Bombeio Centrífugo Submerso (BCS);
- Bombeio por Cavidades Progressivas (BCP);
- Bombeio Mecânico com Hastes (BM).

No Brasil o bombeio mecânico responde por 87% da produção diária de petróleo e equipa cerca de 80% dos poços produtores terrestres [3]. O Gráfico 01 abaixo mostra a distribuição desse percentual em relação aos demais tipos.

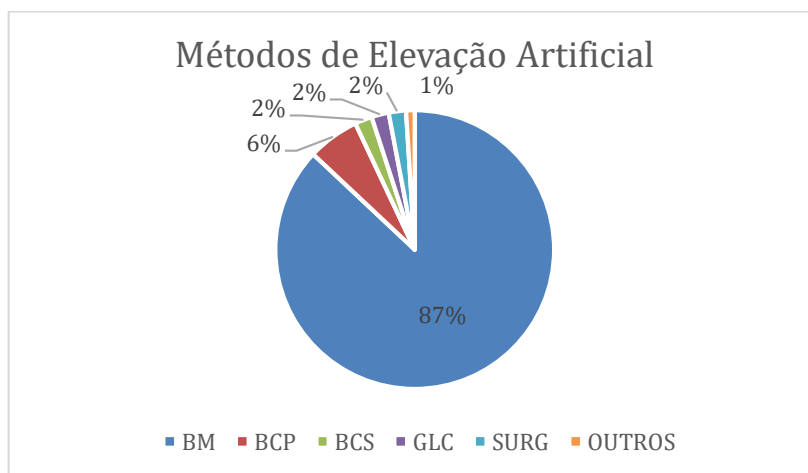


Gráfico 01. Métodos de elevação artificial. [3]

No *gás-lift* a elevação do petróleo acontece pela diminuição da densidade do fluido que está sendo produzido mediante a injeção de gás na coluna do poço onde essa injeção pode ser contínua ou intermitente. No *gás-lift* contínuo o gás é injetado na coluna de produção gaseificando a coluna de fluido reduzindo as perdas de pressão ao longo da coluna. Já o *gás-lift* intermitente o gás é injetado periodicamente a alta pressão sempre que uma coluna de fluido acima do ponto de injeção esteja em um nível razoável. O gás é injetado abaixo da coluna de fluido elevando-o como uma grande golfada. Logo após, a injeção é interrompida até que uma nova coluna de fluido seja formada novamente.

No bombeio centrífugo submerso uma bomba centrífuga de múltiplos estágios é acionada no fundo do poço por meio de um cabo elétrico que desce da superfície. Esse cabo é projetado para suportar as condições extremas de trabalho.

O bombeio por cavidades progressivas é uma bomba de deslocamento positivo que trabalha imersa em poço de petróleo, constituída de rotor e estator. O rotor ao girar no interior do estator origina um movimento axial das cavidades, progressivamente, no sentido da sucção da descarga, realizando a ação de bombeio. O acionamento da bomba pode ser originado da superfície, por meio de coluna de hastes e um cabeçote de acionamento. Um sistema BCP consta de uma bomba de subsuperfície composta de uma camisa estacionária e um rotor com forma helicoidal acionada por uma coluna de hastes. Um motor elétrico instalado na superfície aciona a coluna de hastes [8].

O bombeio mecânico com hastes é o método de elevação artificial mais utilizado em todo o mundo. Pode ser utilizado para elevar vazões médias de poços rasos. Para grandes profundidades, só consegue elevar baixas vazões. É razoavelmente problemático em poços que produzem areia, em poços desviados e em poços onde

parte do gás produzido passa pela bomba. A areia desgasta mais rapidamente as partes móveis e a camisa da bomba devido à sua abrasividade. O gás passando pela bomba reduz sua eficiência volumétrica, podendo até provocar bloqueio de gás. Contudo o efeito do gás no bombeio mecânico é menos problemático que no bombeio centrífugo submerso ou no bombeio por cavidades progressivas [1].

Dentre os componentes do sistema por bombeio mecânico a coluna de hastes está entre as principais. A primeira haste da coluna de hastes é conhecida como haste polida. Tem essa denominação por ter sua superfície externa polida e tem como função vedar a coluna de produção evitando contato com o meio externo. Ela suporta as maiores cargas do poço pois no movimento alternativo de subida ela precisa sustentar o peso de todas as demais hastes abaixo dela, a força de empuxo que equivale ao peso da coluna de fluido trazido pelas hastes, a força da aceleração da unidade de bombeio, a força de atrito entre as hastes e o fluido. As demais hastes são de aço carbono e possuem roscas nas extremidades para que trabalhem em série da superfície até o fundo do poço. Essas hastes medem 7,62m de comprimento padrão, porém existem as de menor comprimento que são utilizadas apenas para ajustar o comprimento final adequando ao funcionamento do sistema.

As hastes de bombeio possuem uma composição de mais de 90% de ferro. A adição de outros elementos permite a formação de diversos tipos de aço, os quais são designados pela norma API SPEC 11B [11] em função de sua resistência mecânica. A classificação utilizada é apresentada na Tabela 01 abaixo [3].

Grau API	Tensão Mínima de Ruptura psi (Mpa)	Tensão Máxima de Ruptura psi (Mpa)
K	90.000 (620)	115.000 (793)
C	90.000 (620)	115.000 (793)
D	115.000 (793)	140.000 (965)

Tabela 01. Propriedades mecânicas das hastes. [3]

3.3 FALHAS

A análise da integridade estrutural dos componentes mecânicos é necessária para evitar futuras falhas e tornar o sistema seguro e eficiente [10]. Geralmente as falhas mecânicas provêm de utilização inadequada de material, falta ou inadequada manutenção ou dimensionamento equivocado. A falha em hastes de bombeio deve ser analisada pois geram prejuízos e danos ao meio ambiente.

3.3.1 FALHAS EM HASTES DE BOMBEIO

As hastes operam em ambientes que podem ser ou não abrasivos, ou corrosivos, ou ambos. Estão sujeiras a cargas cíclicas, uma vez que o peso do fluido que está acima da bomba é sustentado pela coluna de hastes no curso ascendente e pela coluna de produção no curso descendente. Devido a esta alternância de esforços a coluna de hastes se torna o ponto crítico do sistema [1].

Usualmente a carga da haste polida é medida através de um dinamômetro ou através de células de carga. A carga na haste polida varia durante todo o ciclo de bombeio e sempre é positiva [1].

Em agosto de 1996 foi feito um estudo na Petrobrás – UN-SEAL, com o objetivo de analisar, visualmente, com utilização de microscopia óptica, a fratura de 44 hastes rompidas. O resultado encontrado, de acordo com o relatório de inspeção 087/96, foi que 43 hastes tiveram fraturas apresentando mecanismos e características de corrosão sob fadiga mecânica [9].

4. MODOS DE FALHA MECÂNICA

A falha de materiais de engenharia é quase sempre um evento indesejável por várias razões: as quais vidas humanas que são colocadas em risco, perdas econômicas e a interferência com a disponibilidade de produtos e serviços. Embora as causas das falhas e o comportamento dos materiais possam ser conhecidos, a prevenção de falhas é difícil de ser garantida. As causas comuns falhas são a seleção e o processamento inadequados de materiais, além do projeto inadequado ou da má utilização de um componente. Também, podem ocorrer danos as partes estruturais durante o serviço, e a inspeção regular e o reparo ou a substituição são críticos para um projeto seguro. O órgão regulamentador diz que é responsabilidade do engenheiro antecipar e planejar levando em consideração possíveis falhas e, no caso de uma falha de fato ocorrer, avaliar a sua causa e então tomar as medidas de prevenção apropriadas contra futuros incidentes [4]. Como principais modos de falha mecânica temos a fadiga, fluência, corrosão e flambagem.

4.1 FADIGA

A fadiga é uma falha que ocorre em estruturas submetidas a tensões dinâmicas e variáveis (por exemplo, pontes aeronaves e componentes de máquinas). Sob tais circunstâncias, é possível ocorrer uma falha sob um nível de tensão consideravelmente inferior ao limite de resistência a tração ou ao limite de escoamento

para uma carga estática. Mesmo em metais normalmente dúcteis, a falha por fadiga é de natureza frágil, existindo muito pouca, se alguma, deformação plástica generalizada associada a falha [4].

A fratura por fadiga resulta do desenvolvimento progressivo de uma trinca sob a influência de aplicações repetidas de tensões, que são consideravelmente inferiores a tensão capaz de provocar fratura sob carga monotonamente crescente ou mesmo com valores nominais inferiores ao limite de escoamento do material [5].

Fica evidente a importância do estudo da fadiga se considerarmos que todo elemento móvel e partes estruturais estáticos são submetidos a ciclos de tensões. O processo de fadiga dos elementos pode ser dividido em 3 etapas, sendo elas:

1. Etapa inicial da falha que consiste na nucleação da trinca originada por deformação plástica localizada. Sua propagação se dá ao longo dos planos preferenciais de escorregamento influenciado pelas tensões de cisalhamento. Essa primeira etapa não pode ser vista a olho nu devido a seu tamanho bastante reduzido.
2. Etapa intermediária que corresponde ao crescimento e propagação da trinca num plano perpendicular à direção da tensão principal. Nessa etapa a fratura é característica do processo de fadiga, pois a cada ciclo ela deixa uma marca no material que é possível ver a olho nu, conhecida como “marcas de praia” devido à aparência das marcas que as ondas do mar deixam na praia, conforme mostra a Figura 01a, e geralmente corresponde a maior área da superfície da fratura. Na Figura 01b vemos um exemplo de uma fratura onde as marcas de praia ocuparam uma pequena parte da seção.
3. Etapa final onde ocorre a fratura brusca do elemento devido à redução substancial do diâmetro da peça. É possível que o material se deforme antes da ruptura final, porém normalmente esse tipo de fratura é de natureza macroscópica frágil.

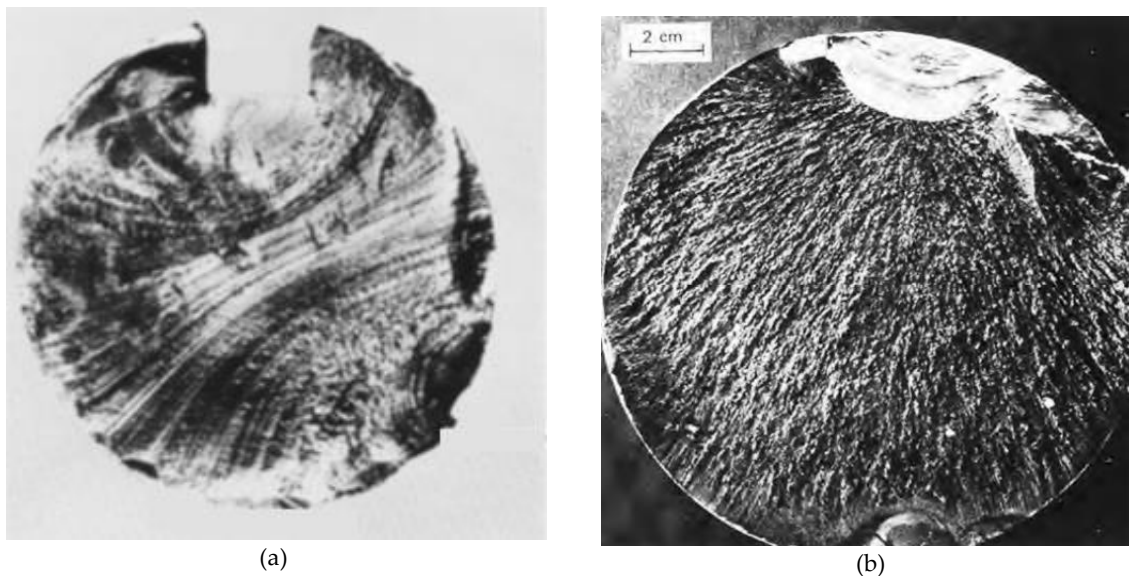


FIGURA 01. Fraturas: (a) com várias “marcas de praia”. (b) com poucas “marcas de praia”¹. (Callister, 2013)

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 MATERIAIS

Para a elaboração do projeto foram cedidas pela JPatrício Metais, empresa localizada na cidade de Mossoró fundada em 2001 especializada na comercialização e processamento de materiais metálicos afiliada a Petrobrás, as amostras de haste polida. Um total de sete amostras de 30mm de diâmetro sem quaisquer identificações de origem, tipo de material nem causa da falha pois a empresa recebe esses e outros materiais como descarte vindo da Petrobrás. Não foi possível obter as duas partes da mesma haste rompida nem averiguar as reais condições externas da mesma pois, devido ao seu comprimento, eram cortadas por questão de espaço físico. No pátio da empresa as hastes recebidas ficam sem nenhuma proteção das intempéries o que ocasionou em amostras com oxidação no local da ruptura.

5.2 SECIONAMENTO DAS AMOSTRAS

¹ O termo “marcas de praia” é originada da aparência de ondas que ocorre devido a alteração de variáveis do ciclo de tensões.

Foram selecionadas duas amostras, as quais apresentaram menor agressividade no aspecto relacionado à corrosão. Nas Figuras 02a e 02b tem-se a primeira e a segunda amostras selecionadas, respectivamente, onde se pode notar a oxidação presente nas mesmas.



FIGURA 02. Amostras com 30mm de diâmetro: (a) amostra um. (b) amostra dois. (Autoria Própria, 2021)

5.3 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ANÁLISE MACROSCÓPICA

As amostras selecionadas foram cortadas, utilizando torno mecânico convencional, “pastilhas” de aproximadamente 10mm do local da ruptura para tratamento da oxidação em ácido clorídrico e, subsequentemente, análise macroscópica.

5.4 CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS PARA ENSAIO DE TRAÇÃO

Do restante do material, foram usinados em torno mecânico convencional um corpo de prova para ensaio de tração de cada amostra, onde as mesmas tinham área livre de 50mm, diâmetro livre de 10mm e diâmetro das extremidades para fixação de 20mm mostradas nas Figura 03a e 03b.



(a)

(b)

FIGURA 03. Dimensões: (a) comprimento. (b) largura. (Autoria Própria, 2021)

5.5 MÉTODOS

5.5.1 MATERIAL PARA ANÁLISE MACROSCÓPICA

As amostras apresentavam oxidação no ponto a ser analisado, portanto foi necessária uma ação inicial para limpar a superfície. Inicialmente foi testado, no laboratório de química da UFRSA, uma limpeza em uma cuba de ultrassom com a amostra imersa em acetona por 1 hora seguida de escovação em água corrente e produtos de limpeza não abrasivos, porém não se obteve sucesso devido ao grau de incrustação da oxidação. Em seguida, ainda no laboratório de química, as amostras foram submetidas a mergulho em ácido clorídrico a 1 molar, componente químico adotado utilizando a experiência do professor Dr. Jardel Dantas, por dois minutos, seguido de lavagem em água corrente com escovação utilizando produtos não abrasivos. Esse procedimento repetiu-se por quatro vezes na amostra 1 e duas vezes na amostra 2 onde já foi possível verificar a superfície das amostras com aproximadamente 90% de limpeza. Repetir o procedimento por mais vezes poderia eliminar algumas características que seriam essenciais para a análise. A Tabela 02 abaixo detalha a eficiência dos procedimentos.

Limpeza	Tempo (min)	Eficiência Visual	
		Amostra um	Amostra dois
Ultrassom	60	Ineficiente	Ineficiente
Ácido Clorídrico 1 molar	01	Pouco eficiente	Pouco eficiente
Ácido Clorídrico 1 molar	02	Eficiente	Eficiente

Tabela 02. Eficiência dos procedimentos de limpeza. (Autoria Própria, 2021)

5.5.2. AMOSTRAS PARA ENSAIO DE TRAÇÃO

Os corpos de prova para ensaio de tração produzidos a partir do restante do material das amostras selecionadas foram rompidos numa máquina EMIC com capacidade máxima de 100kN a uma velocidade de 5mm/min, informado pela norma ABNT NBR ISO 6892-2 [12], no laboratório de ensaios mecânicos da UFRSA. As Figuras 04a e 04b mostram o corpo de prova fixado no equipamento.



(a)



(b)

FIGURA 04. Ensaio de tração das amostras. (Autoria Própria, 2021)

6. RESULTADOS

6.1 ANÁLISE MACROSCÓPICA

Apesar de ter sido necessário o ataque químico para remoção da camada de corrosão, a análise macroscópica revelou uma superfície com um bom grau de qualidade. Na amostra um temos aproximadamente 50% de superfície com menor rugosidade e 50% de superfície com maior rugosidade. Ficou evidenciado um leve ressalto onde na borda da amostra. Temos também a presença de um revestimento metálico cuja função inicial é diminuir a rugosidade superficial e proteção contra abrasão. Na amostra dois temos basicamente as mesmas características da amostra um, contudo mostrou uma superfície mais plana. Apresentou também, a amostra dois, alguns riscos paralelos provavelmente oriundos do transporte da haste até o local de armazenamento. Diante de características presentes na superfície da fratura ficou-se evidenciado que ambas as amostras sofreram de falha por fadiga, indicada principalmente pela transição de rugosidade. Nas Figuras 05a e 05b temos as amostras um e dois, respectivamente, onde podemos ver claramente as zonas de transição das rugosidades, portanto as características de falha por fadiga.



(a)

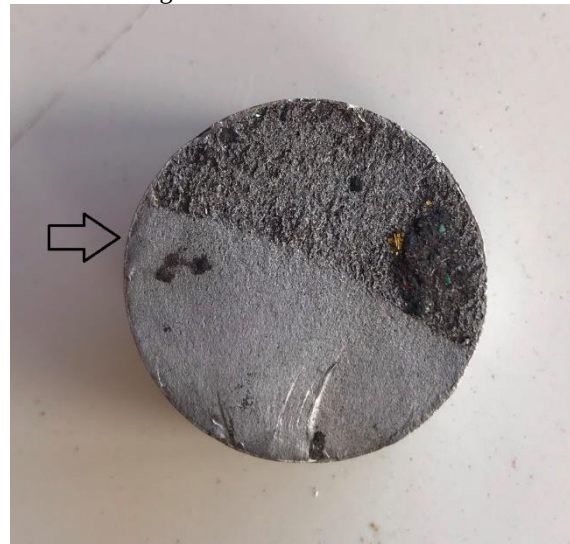


(b)

Foi possível perceber nitidamente a curva onde ocorreu a transição da etapa dois, onde foram formadas as marcas de praia, para a etapa três, onde ocorreu a ruptura brusca de forma frágil. O local da amostra com menor rugosidade, indicada nas Figuras 06a e 06b, é um indicativo de onde originou-se a trinca.



(a)



(b)

Figura 06. Indicativo de origem da trinca: (a) amostra um. (b) amostra dois. (Autoria Própria, 2021)

A camada externa de proteção da haste também ficou evidenciada em ambas as amostras como destaca as Figuras 07a e 07b.

O revestimento tem aproximadamente 0,5mm e tem a funcionalidade de vedar a boca do poço, resistir ao ambiente abrasivo de trabalho, reduzir a rugosidade e aumentar a resistência da haste.

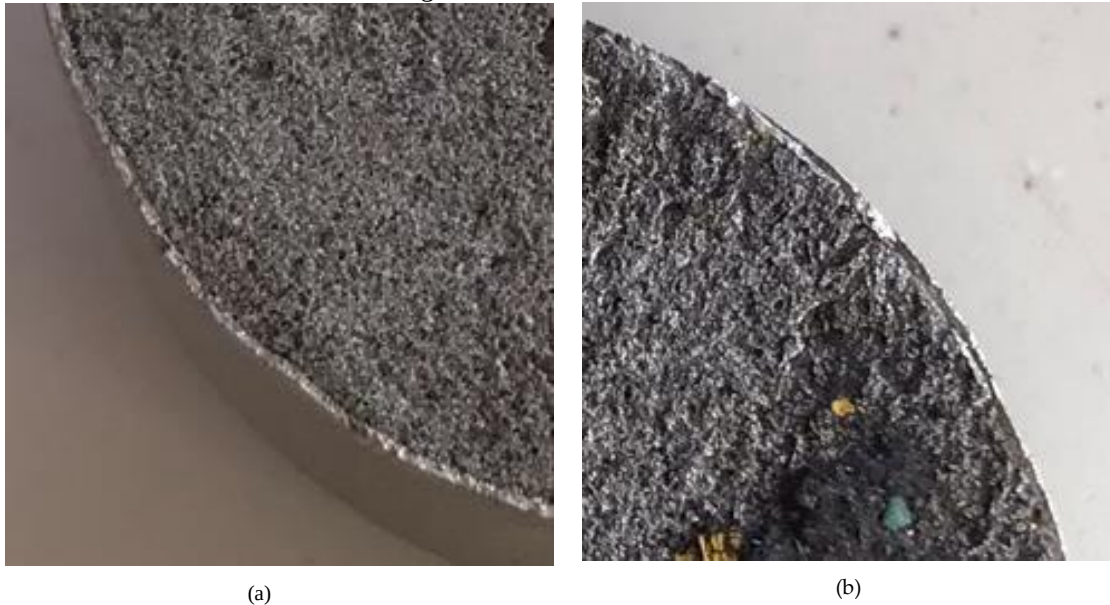


Figura 07. Revestimento exterior de aproximadamente 0,5mm de espessura evidenciada: (a) amostra um. (b) amostra dois. (Autoria Própria, 2021)

6.2 ENSAIO DE TRAÇÃO

No ensaio de tração as amostras apresentaram características distintas na superfície da ruptura indicando que podem se tratar de aços liga de composições distintas. A amostra um exibiu uma superfície do tipo taça-cone enquanto a amostra dois exibiu uma superfície mais plana indicando que a amostra um apresenta maior ductilidade em relação a amostra dois. As Figuras 08a e 08b mostram as amostras rompidas.

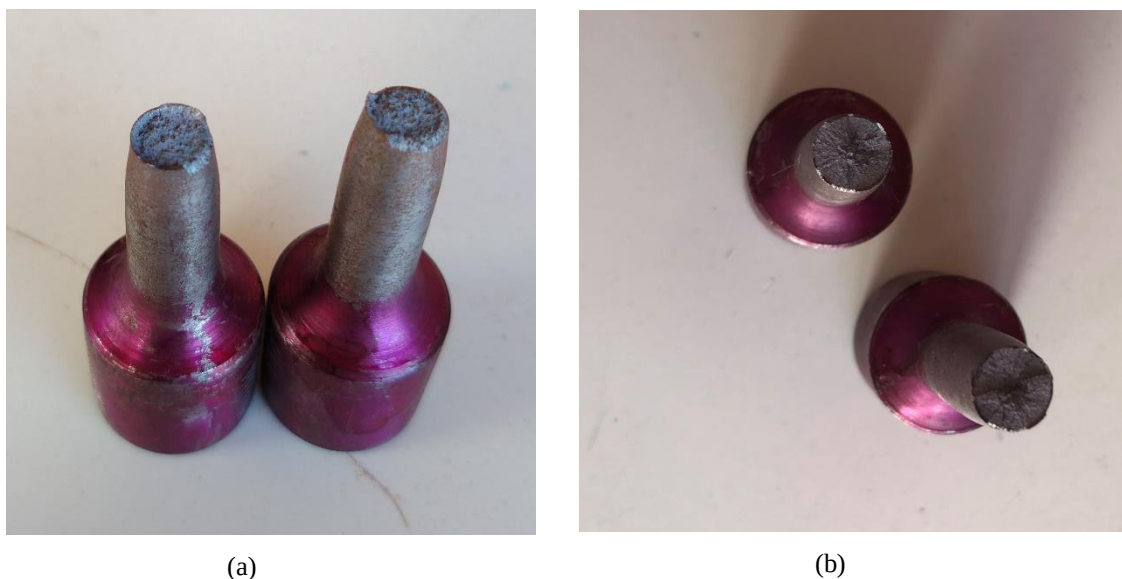


Figura 08. Ensaio de tração: (a) amostra um. (b) amostra dois. (Autoria Própria, 2021)

As curvas tensão-deformação também apresentaram diferenças indicando que se tratam de aços com núcleo de composições diferentes. Além dos LRTs serem diferentes, as deformações também foram distintas,

confirmando a hipótese da análise macrográfica visual das amostras rompidas. O Gráfico 02a e 02b mostram os resultados da amostra um e amostra dois, respectivamente.

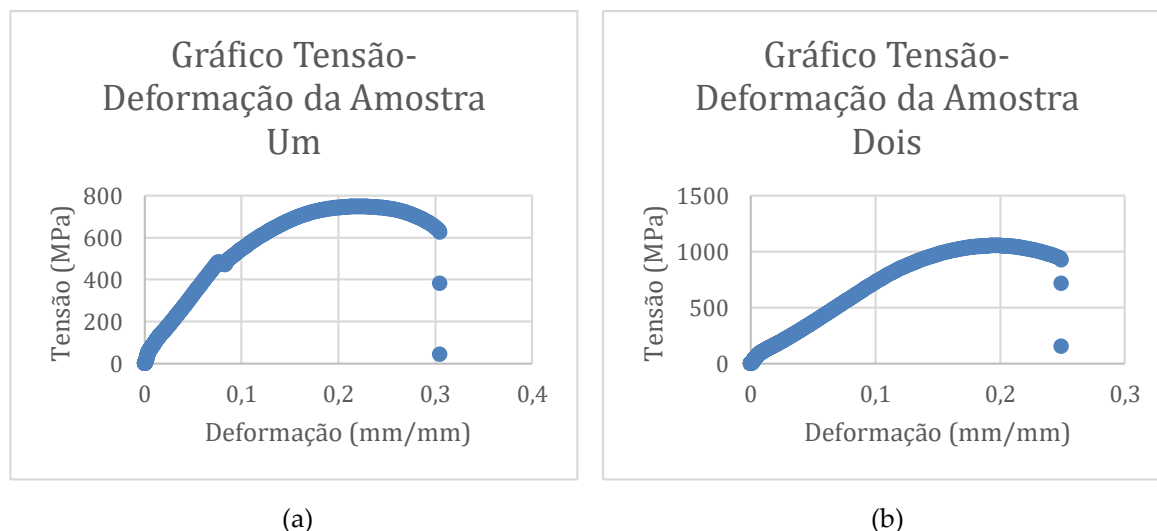


Gráfico 2. Ensaios de tração: (a) amostra um. (b) amostra dois. (Autoria Própria, 2021)

A amostra um teve um $\delta_{\max}=746,20\text{Mpa}$ e a amostra dois teve um $\delta_{\max}=1050,74\text{Mpa}$ que são valores próximos para grau API K ou C para a amostra um e grau API D para a amostra dois o que mostra coerência com entre o exigido pela norma API SPEC 11B [11] com o analisado.

7. CONCLUSÃO

O material coletado para análise, apesar de apresentar oxidação proveniente do armazenamento inadequado, mostrou que ambas as amostras falharam por fadiga. Os materiais foram classificados como aços liga de diferentes composições, devido apresentarem características distintas tanto na superfície de rompimento das amostras dos ensaios de tração como no próprio resultado dos ensaios indicando que a amostra um é mais dúctil que a amostra dois, porém dentro do exigido pela norma vigente API SPEC 11B. A pouca variação nos resultados dos ensaios de tração ao apresentado em norma podem ser atribuídos falta de histórico de uso da peça bem como variações da máquina utilizada para o ensaio. Não foi possível verificar se haviam desgastes ou ranhuras na parte externa do revestimento das amostras devido as amostras serem seccionadas na empresa onde foram obtidas as amostras. Foi possível estimar também o ponto inicial da trinca que originou o problema, região propagação e zona de ruptura em ambas as amostras.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente a Deus por mais essa etapa concluída em minha vida acadêmica, a minha família em especial à minha mãe Rosangela Maria Barbosa de Lima e à minha esposa Nizia Cristina da Silveira Araújo que sempre me apoiaram, ao meu orientador professor Dr. Jardel Dantas da Cunha pela paciência e dedicação e a JPatrício por fornecer de forma generosa todas as amostras necessárias para a realização do projeto.

9. REFERÊNCIAS

- [1] THOMAS, José Eduardo. Fundamentos da engenharia do petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 271 p.
- [2] MOURA JÚNIOR, Jerônimo de. REDUÇÃO DE FALHAS EM HASTE POLIDA: PROPOSTA DE UMA NOVA FORMA DE FIXAÇÃO À UNIDADE DE BOMBEIO. 2014. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Energia, Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2014.

- [3] NASCIMENTO, João Maria Araújo do. **Simulador Computacional para Poços de Petróleo com Método de Elevação Artificial por Bombeio Mecânico**. 2005. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Ufrn, Natal, 2005.
- [4] CALLISTER JUNIOR, William D.; RETHWISCH, David G. *Ciência e engenharia de materiais uma introdução*. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013. 817 p.
- [5] CETLIN, Paulo Roberto; SILVA, Paulo Sérgio Pereira da. *Análise de fraturas*. São Paulo: édile Serviços Gráficos, . 248 p.
- [6] CARDOSO, Luiz Cláudio. *Petróleo: do poço ao posto*. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012. 178 p.
- [7] PELLICCIONE, André da Silva et al. *Análise de falhas em equipamentos de processo: mecanismo de danos e casos práticos*. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 406 p.
- [8] [8] RODRIGUES, Marcelo Cavalcanti; SILVA, José Felício da. **ANÁLISE DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE HASTES DE BOMBEIO POR CAVIDADE PROGRESSIVA (BCP) PARA POÇOS TERRESTRES UTILIZANDO ANÁLISE MODAL E ELEMENTOS FINITOS**. 2005. 7 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba, Salvador, 2005.
- [9] BEZERRA, Brunno Santos Lóssio. **ESTUDO PARA PREVENÇÃO DE FALHAS DE HASTES DE BOMBEIO DE PETRÓLEO ATRAVÉS DE APLICAÇÃO DE REVESTIMENTO NiCr**. 2007. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência em Engenharia de Processos, Universidade Tiradentes, Aracajú, 2007.
- [10] MÉLO, Adelaide Costa de. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE UMA COLUNA DE HASTE DE BOMBEIO MECÂNICO DE POÇOS DE PETRÓLEO**. 2019. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Ufpb, João Pessoa, 2019.
- [11] American Petroleum Institute, Specification for Sucker Rods (26° ed): API SPEC 11B, 1998.
- [12] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6892-2: Materiais metálicos — Ensaio de Tração Parte 1: Método de ensaio à temperatura ambiente**. Rio de Janeiro: Abnt, 2018.