

CONCEPÇÃO E DIMENSIONAMENTO DE MÁQUINA PARA ENSAIOS DE CORROSÃO-FADIGA

Raphael Calazans Cardoso, raphaelcardoso28@hotmail.com¹

Gustavo Dória Lima, gustavo.dorialima@gmail.com¹

Matheus Duarte Macedo, mathduartemacedo@gmail.com¹

Luis Felipe Feliz Filho, lfff6493@gmail.com¹

Gustavo dos Santos Rosa, gustavo.emec@yahoo.com.br¹

Sandro Griza, griza@ufs.br¹

¹Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon, s/n, Rosa Elze, São Cristóvão-SE, 49100-000

Resumo: Este trabalho apresenta o projeto mecânico de uma máquina de ensaios de corrosão-fadiga que possibilita ensaios de corpos de prova sob flexão a quatro pontos e controle por deslocamento prescrito em atmosfera controlada de NaCl e pressão de até 30 bar. Inicialmente, foi desenvolvido um conceito para a máquina, com elaboração de projeto mecânico. Em seguida, foi elaborada uma metodologia para realização dos ensaios, incluindo o desenvolvimento de um software para auxiliar os usuários. Essa máquina poderá avaliar a vida em fadiga de componentes expostos a corrosão, de modo que será muito útil para realização de trabalhos acadêmicos visando aplicação de peças utilizadas na indústria petrolífera.

Palavras-chave: Projeto Mecânico, Corrosão fadiga, Indústria Petrolífera.

1. INTRODUÇÃO

Falha por fadiga é entendida como a fratura progressiva e total que ocorre em um componente devido à aplicação de solicitações cíclicas, de modo a variar a tensão aplicada sobre um determinado componente ao longo do tempo. Estima-se que, cerca de 90% das falhas associadas a esforços cíclicos são provocadas pela fadiga (Dieter, 1986). No processo de falha por fadiga é observado três etapas distintas: (a) nucleação da trinca, onde se forma uma trinca em algum ponto de alta concentração de tensão; (b) propagação da trinca, avanço da trinca, incrementalmente, com cada ciclo; e (c) a falha final, que ocorre quando a trinca alcança um tamanho crítico, essa falha acontece de maneira muito rápida (Callister, 2008).

Com o intuito de determinar a resistência de materiais sob a ação de cargas de fadiga, são realizados ensaios mecânicos, de modo que corpos de prova são sujeitos a forças repetidas enquanto os ciclos são contados até a ruptura (Budynas & Nisbett, 2011). O primeiro ensaio constituído de um ou mais corpos de prova é realizado com uma tensão inferior à resistência máxima do material, já o segundo teste é feito com uma tensão menor que ao primeiro, e assim sucessivamente (Budynas & Nisbett, 2011). Os resultados desses ensaios são plotados em diagrama tensão versus números de ciclos (curva S-N). Esses gráficos também são chamados de curva de Wöhler, como o gráfico representado na Fig.1 que representa duas curvas de Wöhler para parafusos M24 x 3 classe 8,8.

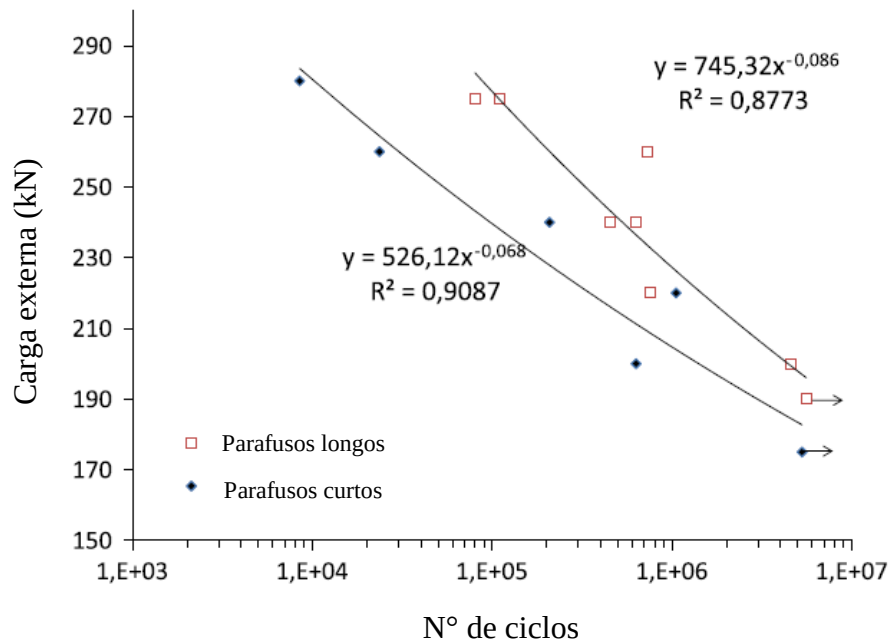


Figura 1. Curva S-N para parafusos M24 x 3 classe 8,8 de comprimentos diferentes. (Griza, 2013)

A falha por fadiga pode estar associada à corrosão (ou corrosão-fadiga) e ocorre pela ação simultânea de uma tensão cíclica e de um ataque químico sobre uma peça no decorrer do tempo (Callister, 2008). O meio corrosivo afeta a probabilidade de iniciação de trincas por fadiga e/ou a taxa de propagação da trinca, de maneira que para muitos materiais, a amplitude de tensão para causar falha por fadiga diminui com o tempo e com o número de ciclos (Moreto, 2012). O aumento da probabilidade de nucleação de trincas ou, por outro lado, a redução do tempo para nucleação, acontece por que as reações químicas entre o material e meio geram pequenos pites que irão servir como pontos de concentração de tensão (Callister, 2008). A Fig. 2 mostra um gráfico que representa o efeito do meio corrosivo nas curvas S-N para a liga de titânio Ti35Nb2,5Sn submetido a um ambiente corrosivo de 0,9% de NaCl. Verifica-se uma redução da vida em fadiga da liga (Azevedo, 2015).

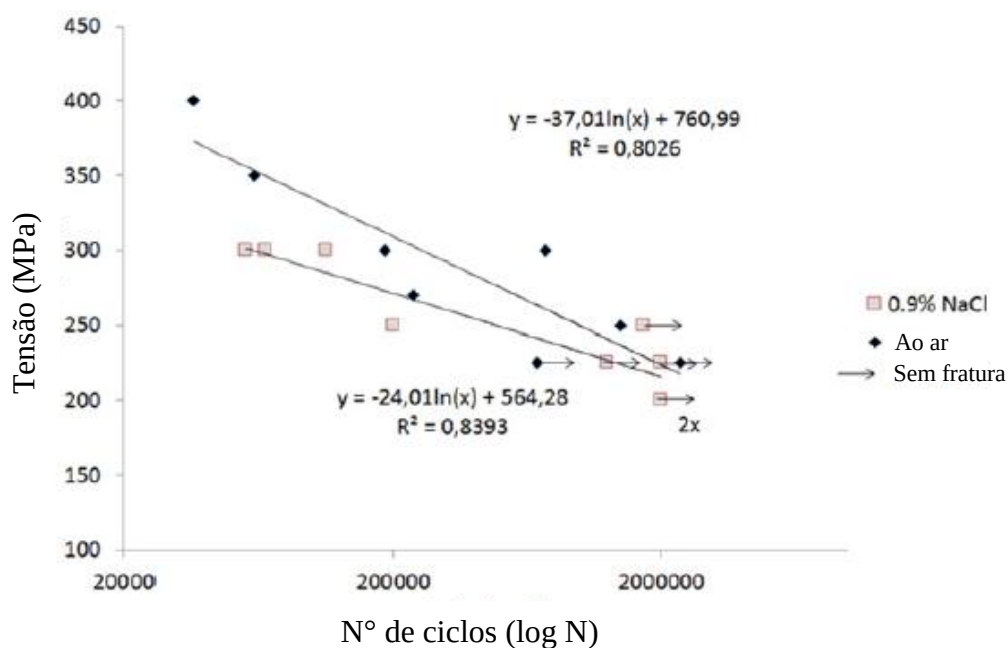


Figura 2. Efeito do meio corrosivo nas curvas S-N para a liga de titânio Ti35Nb2,5Sn. (Azevedo, 2015)

O descobrimento de petróleo na camada do pré-sal é um novo passo para o desenvolvimento da indústria petrolífera brasileira (Engineering, 2015). Para realização de operação de exploração de petróleo nesta camada será necessário o desenvolvimento e teste de novos materiais, uma vez que os equipamentos utilizados anteriormente foram projetados

para trabalhar até 3 (três) mil metros de profundidade. A região do pré-sal exerce condições severas aos equipamentos, que envolve altas taxas de pressão, de gás e de corrosão (Nishimoto, 2012).

São importantes equipamentos capazes de estimar o limite de vida de um material, essencialmente ligas metálicas, submetido a condições severas de pressão e corrosão simulando o ambiente de operação de extração de petróleo. O presente trabalho propôs o projeto de uma máquina com a finalidade de realizar ensaios de corrosão-fadiga. A pressão interna suportada pela máquina é de 30 bar, que está longe de simular as altas pressões do pré-sal. Entretanto, o desenvolvimento dessa máquina permite simular pressões de cerca de 300 metros e marca o início de projeto que poderá ser evoluído posteriormente, para aumentar a capacidade de pressão. Este trabalho é, também, motivado pela dificuldade de utilizar máquinas comerciais de ensaios de fadiga para realização de testes de corrosão-fadiga.

O ensaio de corrosão-fadiga é assunto que possui vários trabalhos publicados. Lemos (2011) realizou ensaios de corrosão-fadiga em corpos de prova de aço de alta resistência soldados submetidos a ambientes salinos com diferentes pressões parciais de dióxido de carbono, sendo constatado que o aumento da pressão do gás afeta negativamente a vida em fadiga do material. Silva (2013) caracterizou a resistência à corrosão-fadiga do aço ASTM A516 G55 usado para a fabricação de vasos de pressão, sendo realizados ensaios de fadiga ao ar e em ambiente controlado obtendo assim limites de resistência à fadiga diferentes. Santos (2013) avaliou o efeito da oxidação térmica combinando a aplicação de carregamento cíclico em meio contendo 0,9% NaCl para liga de titânio (Ti6Al4V) sendo observada uma redução no limite de resistência à fadiga da liga oxidada termicamente. E finalmente, Moreto (2012) estudou o comportamento em corrosão e corrosão-fadiga de novas ligas de Alumínio para aplicação da indústria aeronáutica em meio de névoa salina (0,6 M NaCl).

Neste trabalho são propostos o projeto e a construção de uma máquina para realizar ensaios de corrosão-fadiga onde corpos de prova estejam submetidos à flexão em quatro pontos imersos em ambiente corrosivo e pressurizado. O objetivo é que seja possível aplicar tensões cíclicas aos corpos de prova obtendo as curvas *S-N* para o material em estudo no meio agressivo.

2. METODOLOGIA

Neste trabalho foi elaborada uma máquina para realizar ensaios de corrosão-fadiga onde corpos de prova paralelepípedos são submetidos à flexão em quatro pontos imersos em um meio que simule as condições de operação de equipamentos utilizados na indústria petrolífera, ou seja, ambiente corrosivo e pressurizado. O objetivo é que seja possível aplicar tensões cíclicas aos corpos de prova e como resultado final o desenvolvimento de curvas *S-N* para o material em estudo no meio agressivo.

Foi desenvolvido o conceito da máquina utilizando software de desenho auxiliado por computador. Em seguida, foi estabelecido o dimensionamento dos componentes disponíveis nos livros básicos de projeto mecânico, bem como em catálogos de fabricantes de componentes e auxílio de simulação numérica computacional. Por último foi elaborada metodologia para realização dos ensaios. Para auxiliar o usuário na utilização da máquina de ensaios de corrosão-fadiga foi desenvolvido um software de parametrização dos dados de entrada necessário para a realização dos ensaios.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do desenvolvimento do conceito da máquina foi estabelecido o projeto representado nas Fig. 3 e Fig.4, onde observam-se os diversos componentes que formam a máquina de ensaios de corrosão-fadiga. Esta é acionada por um motor elétrico, o qual gira o eixo horizontal que é conectado ao volante do sistema excêntrico através de uma chaveta. Os dados que devem ser computados e controlados são aqueles que são necessários para plotar a curva de tensões cíclicas e a curva de fadiga, além dos parâmetros que indicam o meio que está sendo simulado na máquina. A tensão aplicada aos corpos de prova será computada através da medição da deformação por extensômetros de resistência elétrica (*strain gauges*). Os extensômetros são colados aos corpos de prova em posição determinada na região de tensão máxima.

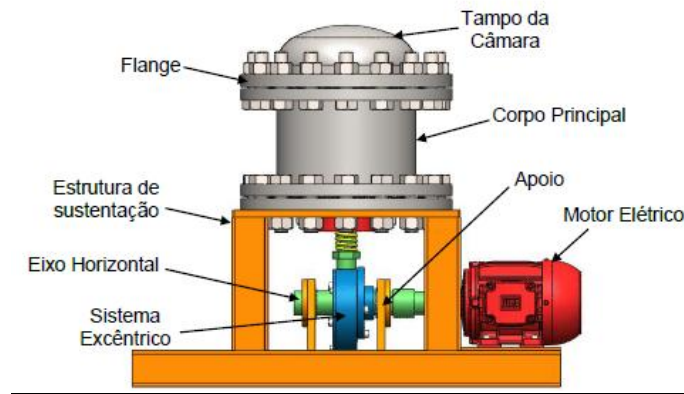


Figura 3. Vista Frontal da Máquina de Ensaios de Corrosão-Fadiga com a indicação de componentes

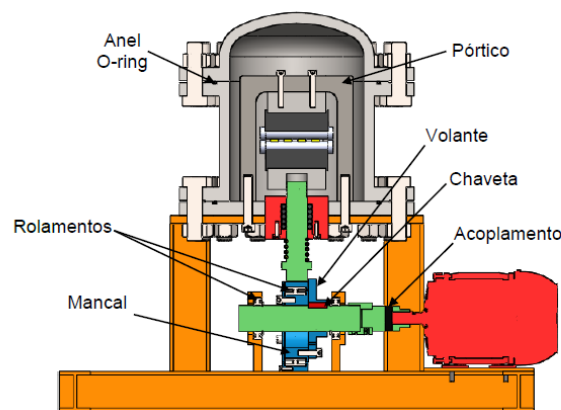


Figura 4. Vista frontal em corte da Máquina de Ensaios de Corrosão-Fadiga com a indicação de componentes

Em relação aos materiais que utilizados para a fabricação dos componentes, foi definido que todas as peças que estão no interior da câmara, em contato com a atmosfera corrosiva, serão fabricadas de aço inoxidável (AISI 304) e as outras peças que estão no exterior serão de aço baixo carbono. O corpo da máquina será fabricado a partir de aço ao carbono, porém o interior possuirá um revestimento interno anti-corrosão, de maneira que não é comprometida a integridade e a funcionalidade do corpo principal da máquina pelo fenômeno de corrosão, configurando uma alternativa mais viável economicamente.

3.1. Princípio de Funcionamento

A máquina de ensaios de corrosão-fadiga é acionada por um motor elétrico, o qual gira o eixo horizontal que é conectado ao volante do sistema excêntrico através de uma chaveta. Este volante é então parafusado ao mancal, de modo que exista uma excentricidade (Figura 5) entre o mancal e o volante. Essa excentricidade ocasiona um movimento de subida e descida do eixo vertical que está integrado aos sistemas de bandejas, que formam uma configuração de flexão a quatro pontos, e essas bandejas deformam os corpos de prova aplicando uma tensão desejada no ensaio, cujo valor da tensão é proporção à excentricidade aplicada. A excentricidade é controlada através de três parafusos que ligam o volante ao mancal (Figura 5). A Fig. 6 mostra um esquema que representa o funcionamento da máquina.

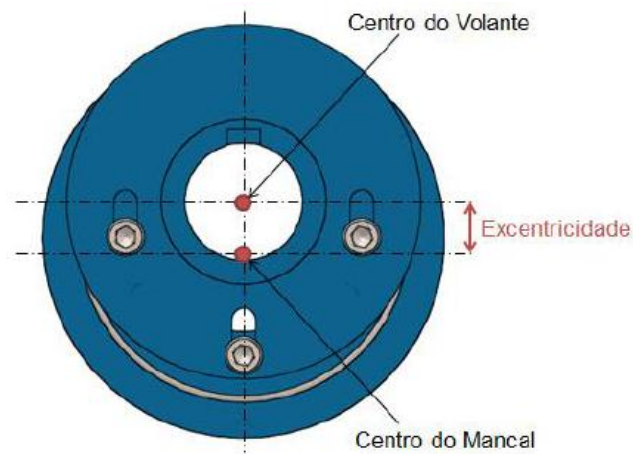


Figura 5. Excentricidade entre o mancal e o volante

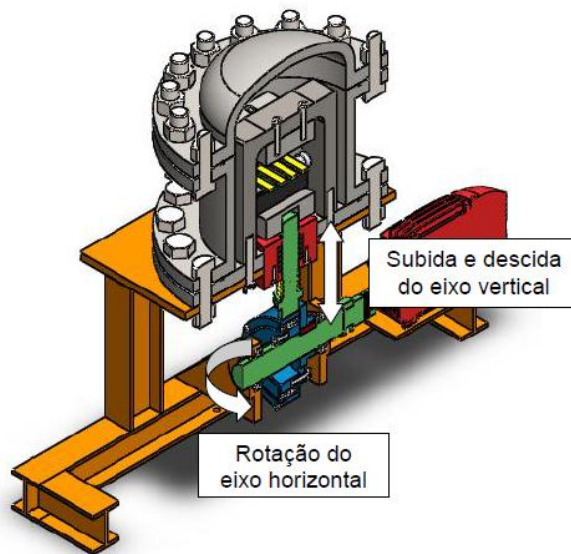


Figura 6. Funcionamento da Máquina de Ensaio de Corrosão-Fadiga

Os dados que devem ser computados e controlados são aqueles que são necessários para plotar a curva de tensões cíclicas e a curva de fadiga, além dos parâmetros que indicam o meio que está sendo simulado na máquina. A tensão aplicada aos corpos de prova (fig.7) será computada através da medição da deformação por extensômetros de resistência elétrica (*strain gauges*). Os extensômetros são colados aos corpos de prova em posição determinada na região de tensão máxima. Através da curva tensão versus deformação do material estudado e das relações entre tensão e deformação na flexão é definida a tensão gerada; o número de ciclos é contado a partir de um contador de golpes instalado no eixo horizontal da máquina; os parâmetros que definem o meio irão depender do ambiente a ser simulado. Porém, os níveis de oxigênio e de pressão são constantes para os ensaios. Dessa forma serão incorporados no corpo principal da máquina um medidor de oxigênio e um medidor de pressão (manômetro). A pressão é obtida pela introdução do gás na câmara.



Figura 7. Dimensões dos Corpos de Prova

3.2. Software de parametrização dos ensaios de corrosão-fadiga

Para realizar um ensaio na máquina de corrosão-fadiga, o usuário deve ter domínio dos dados de entrada, dos dados de saída do ensaio e da maneira como aplicar os dados de entrada na máquina e de como ler os dados de saídas. Foi desenvolvido um software de parametrização dos dados de entrada necessário para a realização dos ensaios através do Delphi2010®. O usuário deve fornecer os dados de entrada do ensaio, como: tensão máxima aplicada, pressão aplicada, frequência dos ciclos, números de corpos de prova, geometria do sistema quatro pontos e dos corpos de prova (Fig. 8).

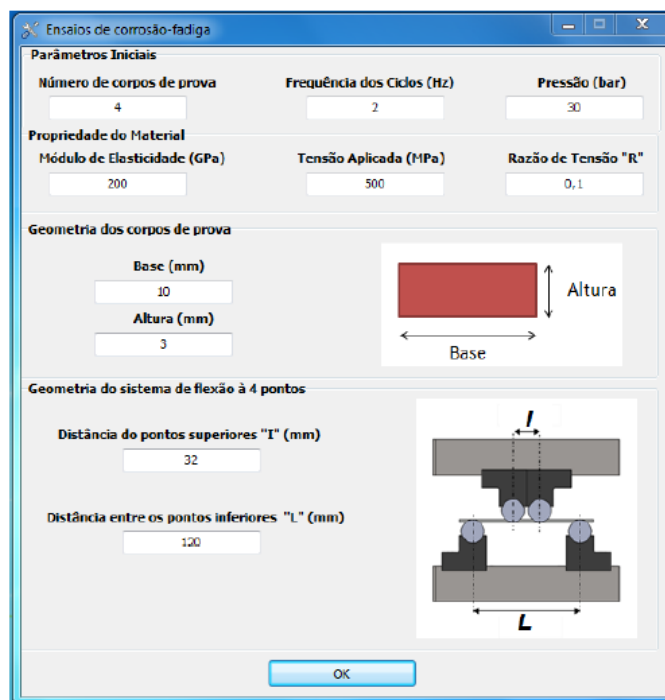


Figura 8. Interface do Software desenvolvido.

O software irá identificar os valores de entrada, determinando se é possível realizar os ensaios na máquina. Em caso afirmativo, ele irá fornecer os parâmetros para realização dos ensaios, como a excentricidade que deverá ser aplicada, o ajuste das bandejas e dos corpos de prova, a potência requerida e o gráfico de tensões cíclicas (Fig. 9).

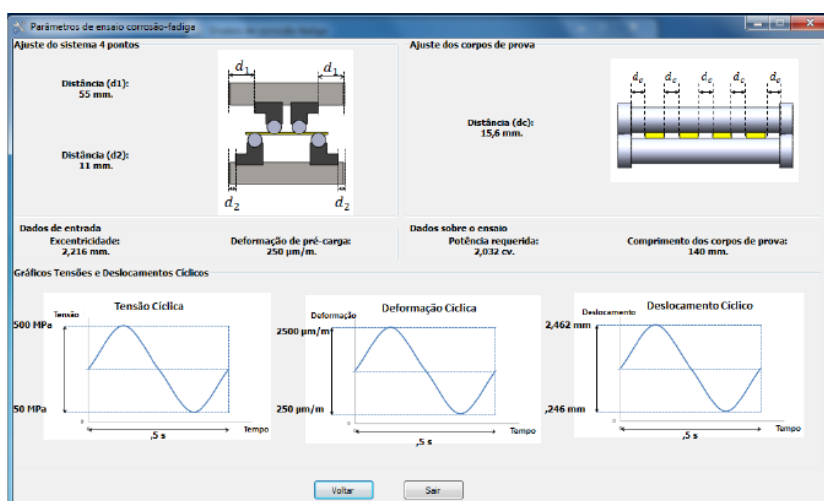


Figura 9. Interface do software: resultados

3.3. Procedimento para realização dos ensaios de corrosão-fatiga

Para facilitar a compreensão dos procedimentos para condução correta dos ensaios, por parte do usuário da máquina foi desenvolvido um fluxograma (Fig.10) contendo todos os passos das operações necessárias visando plotagem da curva S-N de um material.

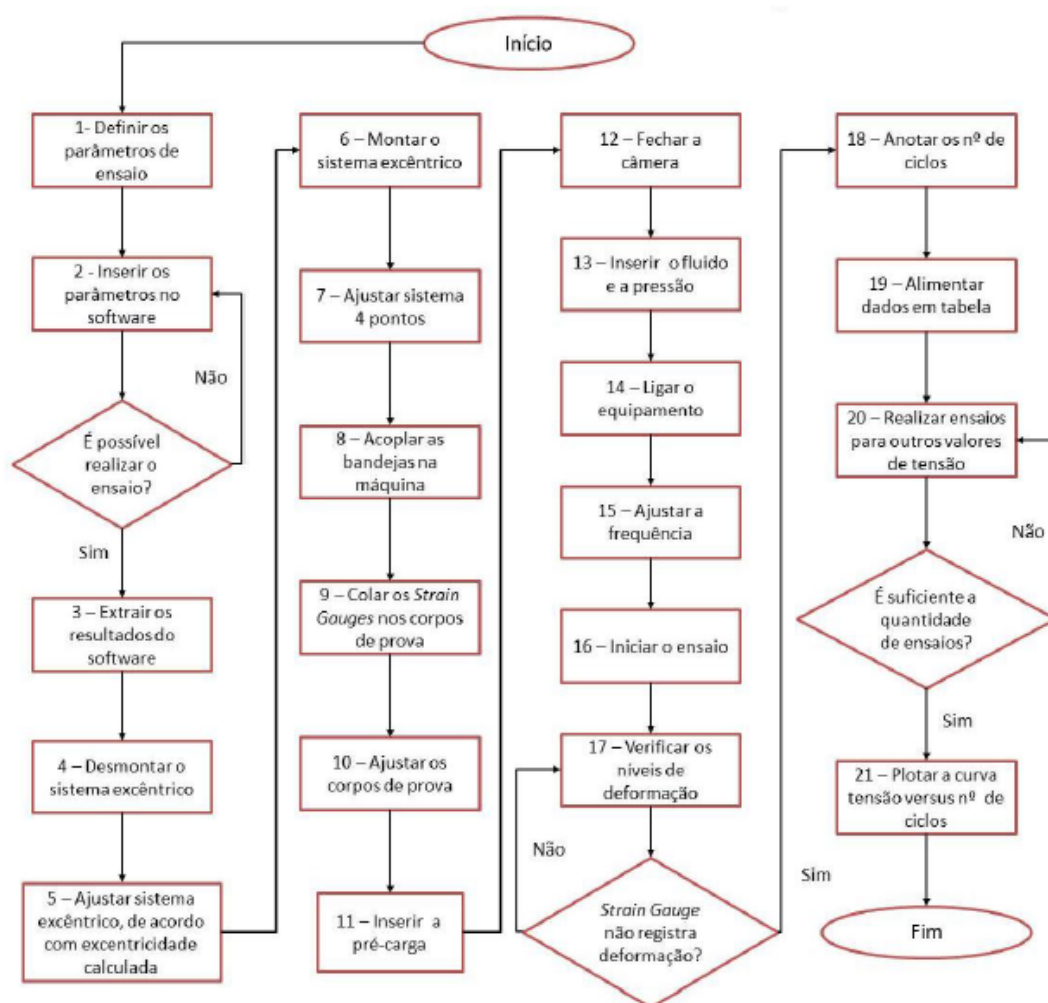


Figura 10. Fluxograma com todos os procedimentos necessários à plotagem do diagrama S-N.

4. CONCLUSÕES

No presente estudo foi apresentado o projeto de uma máquina para ensaios de corrosão fadiga sob deslocamento prescrito, que possibilita ensaios de corpos de prova sob flexão a quatro pontos em atmosfera composta de água do mar (NaCl), sob pressão de 30 bar.

Foi realizado o projeto mecânico de todos os componentes que constituem o sistema através das informações informações disponíveis nos livros básicos de projeto mecânico, bem como em catálogos de fabricantes de componentes.

Do ponto de vista da elaboração de uma metodologia de ensaio a proposta do software é efetiva para que seja agilizado o ensaio através de procedimento de seleção de parâmetros rápido e que permite prever a impossibilidade de rodar os testes. Por fim, é possível afirmar que o projeto dessa será útil para realização de trabalhos acadêmicos visando aplicação de peças utilizadas na indústria petrolífera.

5. REFERÊNCIAS

- Azevedo, T. F., Andrade, C. E., Santos, S. V., Silva, A. S., & Griza, S. (2015). Fatigue and corrosion-fatigue strength of hot rolled Ti35Nb2,5Sn alloy. *Materials and Design*.
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2011). “Elementos de Máquinas de Shigley: Projeto de Engenharia Mecânica (8ª ed.)”. Porto Alegre: AMGH Editora.
- Callister, W.; Rethwisch, D., 2007, Materials science and engineering: an introduction. 7. ed. Versailles, Ky: John Wiley & Sons, v. 94.
- Dieter, G., 1986. Mechanical Metallurgy. 3. ed. Boston, Estados Unidos: McGraw-Hill.
- Engineering, P. (7 de Abril de 2015). *Revista Ape*. Acesso em 22 de Julho de 2015, disponível em Site da Revista Ape: <http://www.revistape.com.br/coluna-ambiente-gerencial/aspectos-ambientais-da-exploracao-de-petroleo-na-camada-do-pre-sal/3377>
- Griza, S., Silva, M. E., Santos, S. V., Pizzio, E., & Strohaecker, T. R. (2013). “The effect of bolt length in the fatigue strength of M24 x 3 bolt studs”. *Engineering Failure Analysis*.
- Lemos, M., Kwietniewski, C., Clarke, T., Joia, C., & Altenhofen, A. (2011). “Evaluation of the Fatigue Life of High-Strength Low-Alloy Steel Girth Welds in Aqueous Saline Environments with Varying Carbon Dioxide Partial Pressures”.
- Moreto, J. A. (2012). “Estudo da corrosão e corrosão-fadiga em ligas de Al e Al-Li de alta resistência para aplicação aeronáutica”. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo
- Moreto, J. A. (2012). Estudo da corrosão e corrosão-fadiga em ligas de Al e Al-Li de alta resistência para aplicação aeronáutica. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- Nishimoto, K. (2012). “Desafios do pré-sal para a comunidade científica e tecnológica brasileira”. São Paulo: Revista USP.
- Santos, S. V., Silva, A. S., Fernandes, B. S., Cardoso, R. C., & Griza, S. (2013). “Análise das superfícies de fraturas da liga Ti6Al4V após ensaio de fadiga em corpos de prova com e sem oxidação térmica.
- Silva, A. S., Rocha, M. T., Griza, S., Santos, S. V., & Souza, R. E. (2013). “Caracterização da resistência à corrosão-fadiga de aço ASTM A516 G55 usado para vaso de pressão.” Belo Horizonte.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

DESIGN AND SIZING OF A MACHINE FOR CORROSION-FATIGUE TESTS

Raphael Calazans Cardoso, raphaelcardoso28@hotmail.com¹

Gustavo Dória Lima, gustavo.dorialima@gmail.com¹

Matheus Duarte Macedo, mathduartemacedo@gmail.com¹

Luis Felipe Feliz Filho, lfff6493@gmail.com¹

Sandro Griza, griza@ufs.br¹

¹Universidade Federal de Sergipe (UFS), Av. Marechal Rondon, s/n, Rosa Elze, São Cristóvão-SE, 49100-000

Abstract. *This work presents the mechanical design of a fatigue-corrosion test machine that allows testing of test specimens under four-point bending and controlled displacement control in a controlled atmosphere of NaCl and pressure up to 30 bar. Initially, a concept was developed for the machine, with mechanical design elaboration. Subsequently, a methodology was developed the development of a software to assist users. The machine will be able to evaluate the fatigue life of components exposed to corrosion, so that it will be very useful for the accomplishment of academic works aiming the application of parts used in the oil industry.*

Keywords: *Mechanical Design, Corrosion-Fatigue, Oil Industry.*