



21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ANÁLISE DINÂMICA DE UM MECANISMO DE UMA UNIDADE DE BOMBEIO MECÂNICO COM HASTES ATRAVÉS DO SOLIDWORKS

Dyecks da Rocha Fialho, dyecksrocha@hotmail.com¹
Benedito Fonsêca Ferreira Neto, bkrrx12345@gmail.com¹
Ricardo Cardoso Soares, eng.mec.ricardocardoso@gmail.com¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Rua Quintino Bocaiúva, 1597 - Teresina, PI, Brasil - CEP 64002-370

Resumo: Visando a análise dinâmica de uma unidade de bombeio mecânico com hastes, foi utilizado um modelo tridimensional de um mecanismo conhecido como “cavalo-de-pau mecânico”, desenhado no software SOLIDWORKS, com dados estruturais e geométricos, encontrados no livro *Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos* de R. L. Norton, para o estudo de seu funcionamento e análise. Com isso, através do suplemento SOLIDWORKS Motion, realizou-se a simulação do movimento, onde foram calculadas as forças de reação nos acoplamentos e o torque que o motor deve entregar para uma unidade de bombeamento rotacionar a 4 RPM. O objetivo é mostrar que a sequência lógica e o programa utilizado para a análise do movimento fornecem dados de alta precisão e demonstram ser boas ferramentas de análise de mecanismos para aplicações reais, visto que o modelo tridimensional analisado serve como base para a construção de mecanismos utilizados industrialmente para a extração de petróleo.

Palavras-Chave: Mecanismo, Análise dinâmica, SOLIDWORKS Motion, Bombeio mecânico com haste

1. INTRODUÇÃO

Após a descoberta do primeiro poço comercial de petróleo em agosto de 1859, por Edwin L. Drake, nos Estados Unidos, deu-se início a uma atividade industrial que acabou se tornando uma das maiores e mais importantes do mundo (Mello, 2005). Segundo Thomas (2001), o método de elevação artificial mais utilizado é o bombeio mecânico com hastes, onde através de uma unidade de bombeio, o movimento rotativo de um motor primário é transformado em movimento alternado. Esse movimento é transmitido para o fundo do poço através de uma coluna de hastes, acionando uma bomba que eleva os fluidos produzidos pelo reservatório para a superfície, sendo seus principais componentes a bomba de subsuperfície, coluna de hastes, unidade de bombeio e motor. A unidade de bombeio consiste de um motor primário, redutor, balancim, contrapeso e uma haste polida.

Com isso, observa-se que uma unidade de bombeio bem projetada é fundamental para o funcionamento do sistema. Segundo Cajueiro (2012), a energia é fornecida ao sistema pelo motor primário no redutor, onde a velocidade angular do motor primário é reduzida a uma velocidade adequada de bombeio. O balancim transforma esse movimento rotacional em movimento alternado vertical, o contrapeso balanceia a unidade e a haste polida transmite esse movimento alternado para o conjunto de hastes. A Fig. 1 ilustra o sistema.

Devido a essa larga utilização, a análise das forças de reação atuantes nos acoplamentos das unidades de bombeio é altamente necessária para uma boa previsão do comportamento de uma unidade a ser projetada. O presente trabalho visa encontrar esses dados utilizando o software SOLIDWORKS e seu suplemento SOLIDWORKS Motion. Para isso, criou-se uma sequência lógica para a realização do trabalho. Primeiro buscou-se em bibliografias consagradas exemplos de mecanismos de unidades de bombeio. O mecanismo utilizado no presente artigo foi encontrado no livro *Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos* de R. L. Norton (2010). Em seguida construiu-se o modelo tridimensional no SOLIDWORKS, para em seguida a análise dinâmica ser realizada com o suplemento SOLIDWORKS Motion, onde as simulações de movimento e dados referentes a sua análise foram computados.

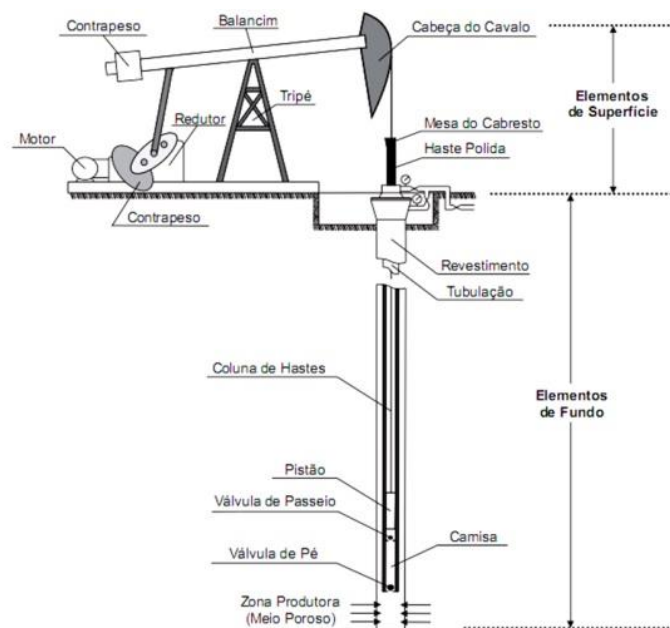


Figura 1. Componentes principais de um sistema de bombeio mecânico.

2. METODOLOGIA

Utilizando os dados encontrados no exercício 11-20 de Norton (2010), como mostrado na Fig. 2, fez-se o modelo tridimensional, sendo utilizado o SOLIDWORKS para seu desenho e o suplemento SOLIDWORKS Motion para sua análise.

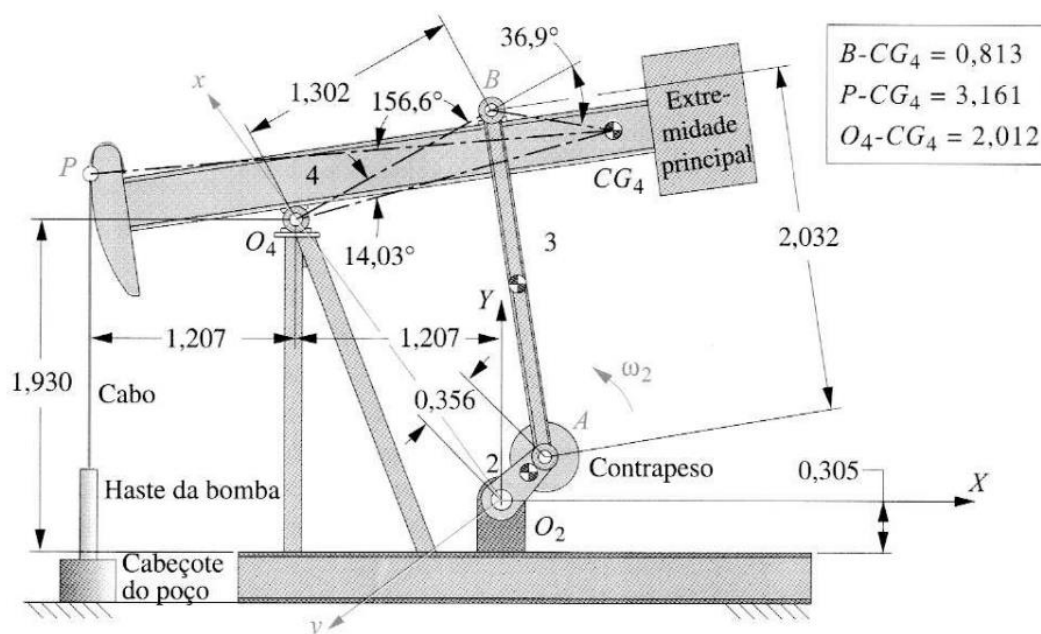


Figura 2. Modelo de unidade de bombeio encontrado.

2.1. Procedimento Experimental

O modelo foi feito simétrico em relação ao plano X-Y (Fig. 3) para evitar torques e forças adicionais causados pela assimetria. Os elos 2 e 3 (usou-se as mesmas nomenclaturas do mecanismo da Fig. 2 para facilitar a identificação dos componentes) foram representados, cada um, por duas peças iguais, simétricas e paralelas em relação ao eixo X-Y, tendo cada uma delas metade da massa e momento de inércia dos elos originais para que o valor do torque requerido seja o mesmo em cada centro O_2 . Além disso foi adicionado restrições de posicionamento do tipo “Paralelo” em arestas simétricas nas peças iguais que representam cada elo para garantir que elas sempre tenham o mesmo movimento. Se tais restrições não forem adicionadas, a simulação apresentará valores assimétricos.

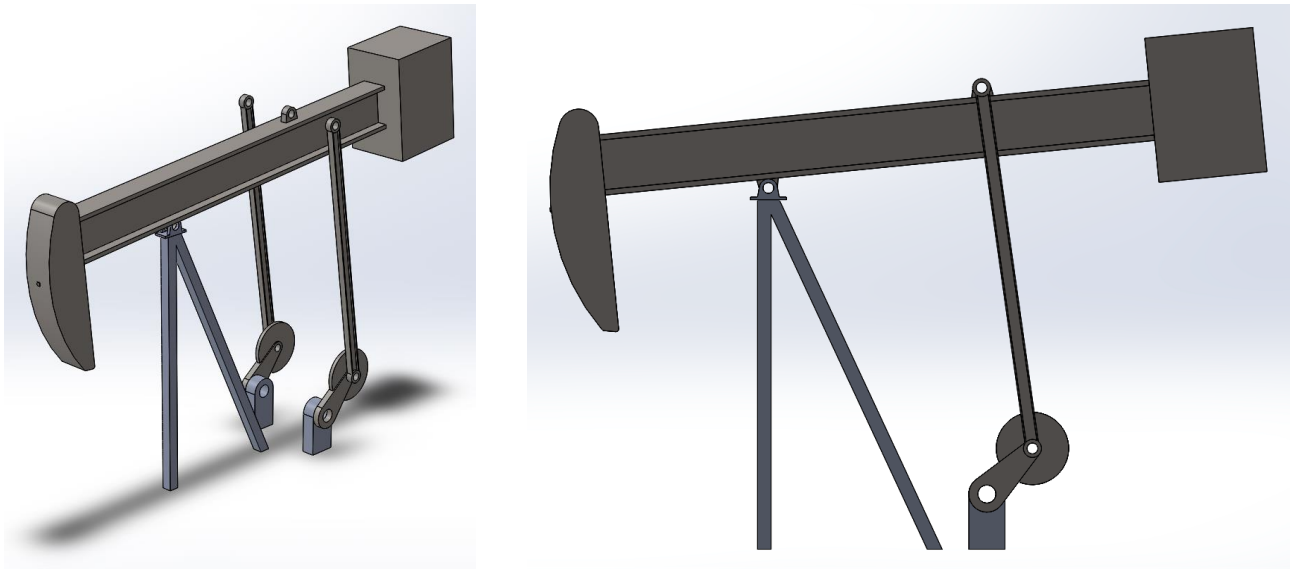


Figura 3. Modelo tridimensional da unidade de bombeio. Visão isométrica à esquerda e visão lateral à direita.

Para atribuir as massas e momentos de inércia específicos da questão (Fig. 4), foi utilizado o recurso "Substituir propriedades de massa", localizado no recurso "Propriedades de massa" na aba "Avaliar". A simulação foi feita utilizando a "Análise de Movimento" na caixa de escolha "Tipo de estudo", localizada no canto superior esquerdo da barra "MotionManager", com duração de 15 segundos, equivalente a uma execução completa do movimento. Para adicionar as forças do golpe de subida e do golpe de descida, seria necessário adicionar cabos, para transferir as forças através deles, ou forças tangentes e deslizantes sobre a superfície curva da cabeça do balancim. Devido a estas impossibilidades, foi adicionado uma força sempre tangente à superfície, com sentido para baixo e em um ponto específico da mesma, de forma a manter o mesmo torque que seria adicionado pela força atuante no cabo, assim fornecendo uma boa aproximação. A Figura 5 mostra a localização desta força.

Figura 4. Propriedades de massa definidas para o elo 2.

Como a força atuante no cabo tem módulo diferente no golpe de subida (13211 N) e no golpe de descida (10231 N), é necessário que a força varie com o tempo de acordo com o movimento. A força deve mudar de módulo no momento em que o sentido do golpe da cabeça do balancim muda. Para isso foi feito a análise cinemática do modelo para encontrar estes instantes e posteriormente definir a variação do módulo da força em função do tempo. Nessa simulação, gerou-se o gráfico de deslocamento linear da cabeça do balancim em função do tempo, e foram localizados os instantes em que ocorrem as mudanças de sentido do movimento (Fig. 6) e da força. Estes instantes são 1,96 s, onde o movimento passa de descendente para ascendente, e 9,24 s, onde se altera de ascendente para descendente. O módulo da força em função do tempo foi adicionado como uma função de pontos de dados, como é mostrado na Fig. 7. Também foi adicionado uma força de gravidade de $9806,65 \text{ mm/s}^2$ através do recurso "Gravidade" e dois motores, um em cada junta fixa (centro O_2) das peças que compõem o elo 2, ambos com rotação de 4 RPM no sentido anti-horário para garantir a simetria. Após adicionados todos estes dados de entrada, a simulação pôde ser executada.

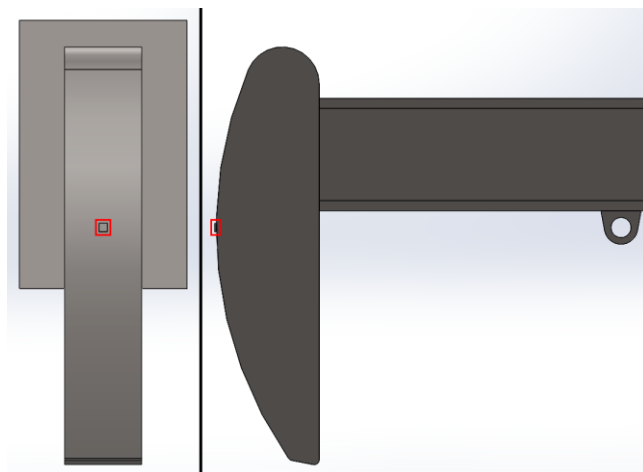


Figura 5. Ponto de atuação da força do cabo.

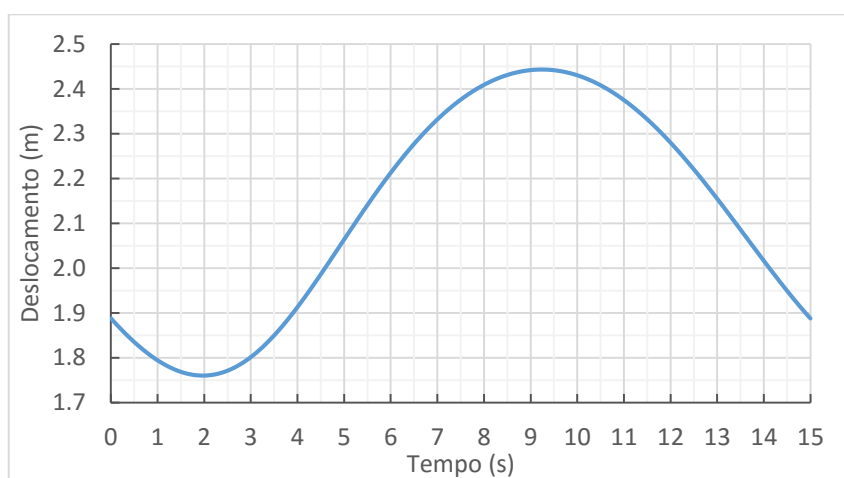


Figura 6. Deslocamento linear na direção Y da cabeça do balancim.

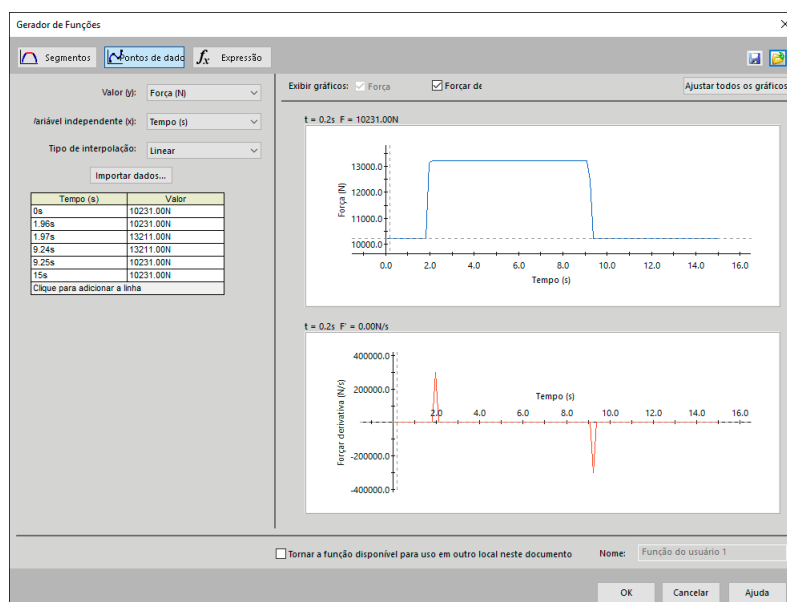


Figura 7. Força atuante no cabo em função do tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a simulação foram coletados dados referentes ao torque requerido e as componentes horizontais e verticais forças de reação dos acoplamentos, como mostrado nas Fig. 9, 10 e 11.

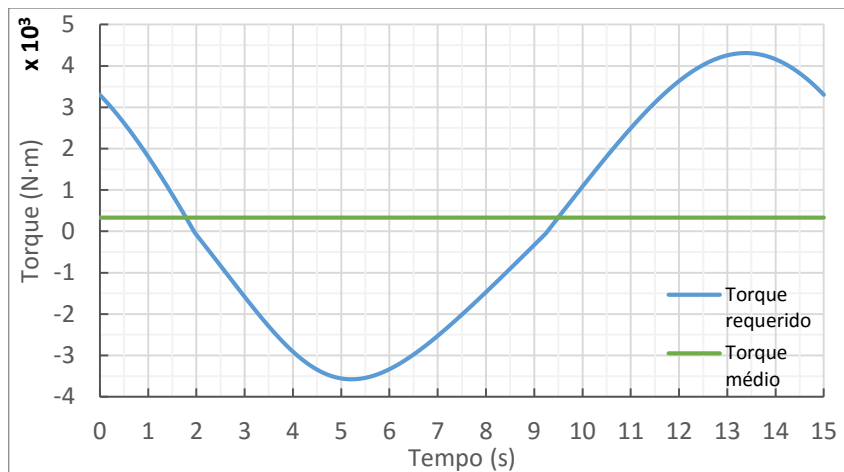


Figura 9. Torque requerido e torque médio.

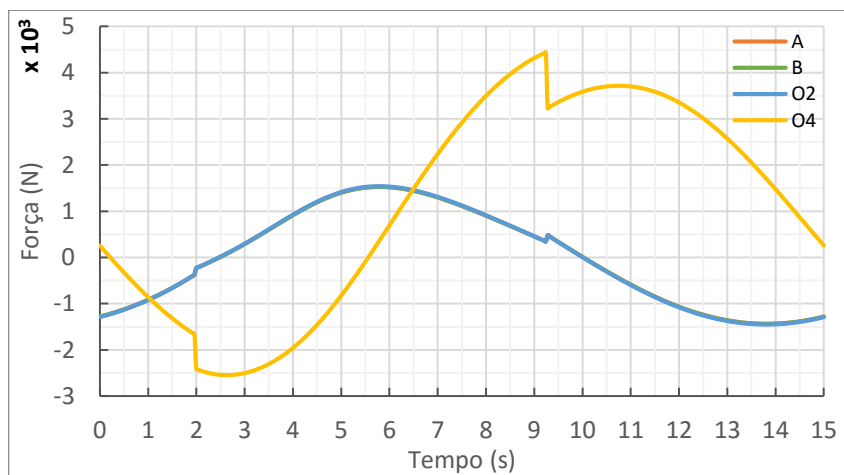


Figura 10. Componentes horizontais das forças de reação. As curvas A, B e O₂ estão sobrepostas.

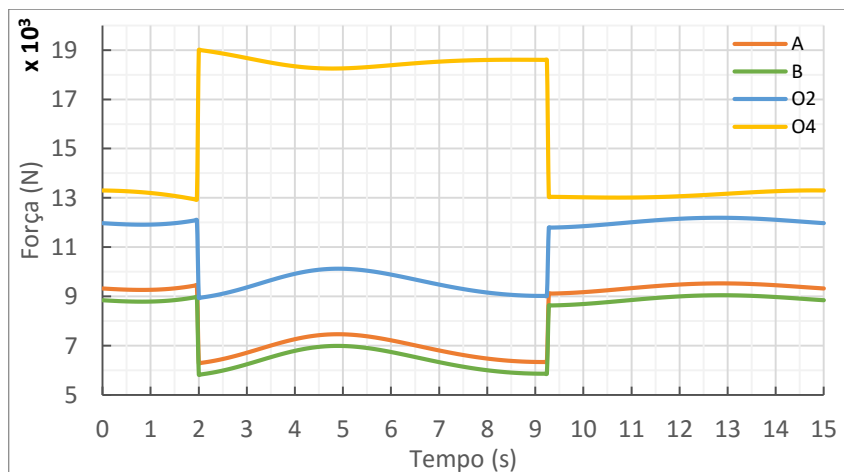


Figura 11. Componentes verticais das forças de reação.

Os valores encontrados na simulação correspondem à metade dos valores reais do sistema, visto que foram utilizadas duas peças para formar cada elo. Porém os gráficos acima já possuem os valores das peças iguais somados. Os resultados gráficos mostram que o torque requerido no sistema para os movimentos ascendente e descendente não é o mesmo, os picos positivo e negativo podem ser interpretados como a transferência de energia do acionamento do motor para os elos e a tentativa de retorno da energia dos elos ao motor respectivamente, exatamente como esperado para tal sistema. Estes valores negativos indicam que o contrapeso aplica um torque maior que a força atuante no cabo em relação ao centro O₄ no movimento ascendente. Para normalizar o torque é necessário implantar um volante de inércia, visto que sua função é armazenar energia cinética, amenizando a oscilação da curva de torque. No caso do presente sistema, a energia armazenada é a de retorno dos elos aos motores.

Tabela 1. Dados da simulação para o instante inicial e valores encontrados na literatura. Unidades no SI.

Variável	Resultados obtidos na simulação	Valores encontrados na literatura	Erro (%)
Torque médio	330,05	-	-
Torque requerido	3299,59	3326,50	0,81
O_{2x}	-1291,04	-1454,57	11,24
A_x	-1279,76	-1441,22	11,20
B_x	-1278,80	-1441,22	11,27
O_{4x}	259,81	1436,78	81,92
O_{2y}	11973,58	11930,13	0,36
A_y	9323,86	9278,99	0,48
B_y	8845,48	8798,58	0,53
O_{4y}	13301,87	13398,04	0,72

A Tabela 1 atesta a acurácia dos resultados, pois confronta dados obtidos na simulação com os valores encontrados no manual de soluções de Norton (2010). Nela podemos observar que, de modo geral, o cálculo é preciso, tendo um valor de erro maior apenas na força de reação O_{4x} (81,92%) causado pela aproximação ao supor que a força é pontual e sempre tangente a superfície do balancim. Contudo, esse erro pouco afeta o valor do módulo da força de reação O_4 , visto que no manual de soluções, o módulo dessa força é 13474,86 N, e na simulação o valor é 13304,41 N, sendo o erro desta força de 1,26%, mantendo-se assim uma boa aproximação. Quanto aos gráficos das forças de reação, observa-se que as curvas são bastante semelhantes, tendo formato próximo ao senoidal e com aumentos repentinos causados pela mudança da força atuante no cabo nos instantes 1,96 s e 9,24 s. Segundo Norton (2010), as forças inerciais de mecanismos a baixa rotação são desprezíveis e nesse problema a velocidade de rotação é baixíssima (4 RPM), gerando pequenas acelerações. Isto explica as semelhanças entre os gráficos das reações dos apoios. Inclusive, é possível aproximar este sistema dinâmico para um sistema estático com ótima precisão, para que as forças de reação e torque só dependam da força atuante no cabo e pesos de cada elo. Na Figura 10, as curvas das forças de reação nos acoplamentos A, B e O_2 estão sobrepostas, o que indica que, além de baixos valores de forças inerciais, nenhuma carga horizontal adicional é aplicada nos elos 2 e 4.

4. CONCLUSÃO

Em um mecanismo real, o que se espera são resultados semelhantes quanto ao comportamento gráfico das forças de reação nos acoplamentos e um torque requerido que oscila em relação a um torque médio, como foi encontrado nos resultados. Sendo que a simulação efetuada mostrou-se ser uma ótima solução alternativa para a análise de um mecanismo utilizado amplamente no meio industrial, que prioriza a facilidade de execução e uma sequência lógica sem caráter restritivo e que pode ser utilizada em outros mecanismos, de diversas aplicações e em diferentes campos de estudo, desde que sejam respeitados os limites de aplicação do software.

Diante de tudo isso, observa-se que o objetivo do trabalho foi atingido, já que através de soluções simples e inovadoras possibilitadas pelo software utilizado, constituintes de um sistema real foram substituídos de forma que a acurácia dos resultados se manteve presente.

5. REFERÊNCIAS

- CAJUEIRO, E. B. A., 2012, “Inferindo Posição e Carga de Haste Polida de Bombeio Mecânico a partir de Corrente de Saída de Inversor de Frequência”, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal da Bahia, Salvador.
- MELLO, L. F. S., 2005, “Uma Proposta de Indicadores de Desempenho na Área Internacional da PETROBRAS: Uma abordagem sob o ponto de vista logístico”, Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- NORTON, R. L., 2010, “Cinemática e Dinâmica dos Mecanismos”, Ed. AMGH, Porto Alegre, pp. 610-611 e p. 673.
- THOMAS, J. E., 2001, “Fundamentos da Engenharia do Petróleo”, Ed. Interciência, Rio de Janeiro.

6. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.



CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21 - 25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

DYNAMIC ANALYSIS OF A MECHANISM OF A SUCKER-ROD PUMPING UNIT THROUGH SOLIDWORKS

Dyecks da Rocha Fialho, dyecksrocha@hotmail.com¹
Benedito Fonsêca Ferreira Neto, bkrrx12345@gmail.com¹
Ricardo Cardoso Soares, eng.mec.ricardocardoso@gmail.com¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Rua Quintino Bocaiúva, 1597 - Teresina, PI, Brasil - CEP 64002-370

Abstract: Aiming at the dynamic analysis of a sucker-rod pumping unit, it was used a three-dimensional model of a mechanism known as "Pumpjack", designed in SOLIDWORKS software, with structural and geometric data found in the book *Kinematics and Dynamics of Machinery*, R. L. Norton for the study of its operation and analysis. With this, through SOLIDWORKS Motion add-in, we held the movement simulation, where were calculated reaction forces in the couplings and torque that the engine has to deliver to a pumping unit rotate at 4 RPM. The goal is to show that the logical sequence and the program used for motion analysis provide high accurate data and demonstrate to be good analysis tools of mechanisms for real applications, since the analyzed three-dimensional model serves as basis for the construction of mechanisms industrially used for oil extraction.

Keywords: Mechanism, Dynamic analysis, SOLIDWORKS Motion, Sucker-rod pumping