

8º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Modelagem e Simulação de Sistemas Energéticos Para Sondas de Perfuração Onshore

AUTORES:

Laryssa Queiroz Amaro e Sávio Raider Matos Sarkis (Orientador)

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal do Amazonas

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 8º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 20 a 22 de outubro de 2015, em Curitiba/PR. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 8º PDPETRO.

MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS PARA SONDAS DE PERFURAÇÃO ONSHORE

Abstract

This project aims to conduct a study of modeling and simulation a power generation system in an onshore drilling rig, using a professional simulator in the search for optimal solutions for different energy demands. The relevance of this project seeks to achieve better energy savings in power generation systems of drilling rig. The methodological procedure in this study used energy analysis and mass balance applied to the generation system control volume and power of a land rig, so that work with maximum efficiency as possible. To obtain the expected results of maximum efficiency were used for modeling by blocks component that compose a generation system in the IPSEpro simulator and spreadsheets for computational data to iterate and validate the results. It was found that each system of rig requires different energy demands for different capacities, the greater depth of rig, the higher its energy demand of equipment. It is important to analyze equipment capacities according to the requirement of project, equipment capable of working with loads consume more energy, which can result in a high consumption unnecessarily and less powerful equipment consume less energy, however perform jobs with high loads last longer, which will leads to waste.

Introdução

A eficiência energética sempre foi um gargalo na engenharia moderna, adquirir alto desempenho de máquinas e equipamentos com baixo consumo de combustível tem sido um dos principais focos de estudos na área. Em uma plataforma de petróleo este princípio é essencial, pois os equipamentos que nela são utilizados precisam realizar trabalhos sob altas cargas e ainda assim obter ótima performance para que todo o projeto seja viável.

Uma sonda de perfuração de petróleo é composta por sistemas que realizam diversas operações, esses sistemas são alimentados pelos grupos geradores que fazem parte do sistema de geração e transmissão de energia. Para que as operações de perfuração ocorram com eficiência, é necessário que o sistema de geração e transmissão de energia atenda as demandas requeridas pelos equipamentos de cada sistema da sonda. Tais equipamentos precisam ser bem dimensionados de acordo com a capacidade da sonda para que não haja um consumo de energia excessivo e a eficiência energética seja prejudicada.

Os componentes que são necessários para a perfuração de um poço são divididos em quatro sistemas principais: potência, movimentação de cargas, circulação e rotação. Os três últimos sistemas dependem do primeiro para entrar em funcionamento na sonda e realizar a perfuração de poços. Os motores e geradores fazem parte do sistema de geração e transmissão de energia, bloco de polias e o guincho compõem o sistema de movimentação de cargas, as bombas de lama fazem a circulação de fluidos de perfuração no poço e a mesa rotativa e kelly, que podem ser substituídos pelo top drive, e swivel estão incluídos no sistema de rotação da sonda (THOMAS, 2001).

A maior parte da energia da sonda é consumida pelo sistema de movimentação de cargas e pelo sistema de circulação de fluidos. Felizmente, é comum que estes sistemas não funcionem ao mesmo tempo na sonda, podendo um único motor realizar ambas as funções. Os outros sistemas da sonda de perfuração requerem uma quantidade de energia menor. A potência total necessária para a maioria das sondas está na faixa de 1000 hp (745kW) a 3000 hp (2237 kW) (BOURGOYNE, 1986).

As plataformas de perfuração modernas são movidas por motores de combustão interna a diesel e geralmente classificadas como (1) tipo diesel-elétrica ou (2) tipo acionamento direto, dependendo do método usado para transmissão de potência para os vários sistemas da sonda. A sonda diesel-elétrica são aquelas que utilizam os principais motores da plataforma para gerar eletricidade e potência. A energia elétrica é transmitida para diversos sistemas da plataforma, onde o trabalho requerido é realizado através do uso de motores elétricos. A sonda de acionamento direto realiza a transmissão de potência de motores de combustão interna ao invés de geradores e motores elétricos (BOURGOYNE, 1986).

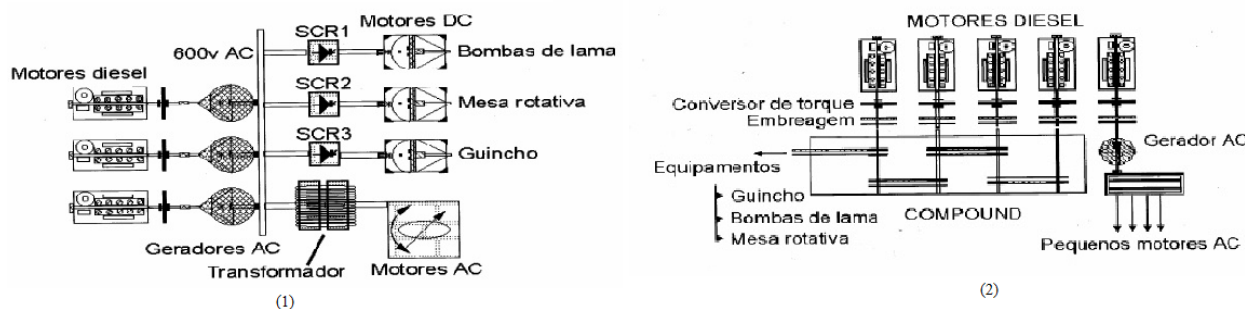


Figura 1: Esquema de (1) uma sonda diesel-elétrica e (2) uma sonda mecânica com cinco motores. FONTE: THOMAS (2001).

As sondas diesel-elétricas geralmente são do tipo AC/DC, no qual a geração é feita em corrente alternada e distribuída em corrente contínua. Motores diesel fazem o acionamento de geradores de corrente alternada, alimentando um barramento trifásico de 600 volts. A energia gerada nas sondas mecânicas pelos motores a diesel é levada a uma transmissão principal (compound) através de acoplamentos hidráulicos (conversores de torque) e embreagens. O compound é formado por diversos eixos, rodas dentadas e correntes que distribuem a energia a todos os equipamentos da sonda. (THOMAS,2001).

O sistema de cargas deve promover a movimentação, para cima ou para baixo, de colunas de perfuração, tubos de revestimento e outros equipamentos de subsuperfície para dentro ou para fora do poço. As principais funções do sistema de circulação de fluidos é remover as rochas cortadas do poço pelo processo de perfuração, exercer pressão hidrostática suficiente na formação, resfriar e lubrificar a broca, reduzir a fricção entre o poço e a coluna de perfuração e fornecer energia hidráulica para a formação sob a broca. O fluido de perfuração sai de tanques localizados na superfície até as bombas de lama que fazem o bombeamento deste fluido para dentro do poço através de tubos de perfuração (HAMID,2015).

O sistema de rotação inclui todos os equipamentos usados para realizar a rotação da broca. A mesa rotativa tem a função de transmitir torque à coluna de perfuração até a broca, este equipamento pode ser substituído por outro mais avançado, o top drive, que realiza a mesma função, porém de forma mais otimizada. O top drive é um motor suportado pelo deck, mastro ou sonda. Sua potência de 1000 cavalos de potência que gira um eixo ao qual a coluna de perfuração está encaixada. Este equipamento substitui a mesa rotativa e o kelly, o top drive diminui o trabalho manual na perfuração, assim como muitos riscos associados à operação (RIGZONE,2015).

Em resumo, a perfuração de poços funciona da seguinte forma, são encaixados tubos que irão transmitir a rotação à broca, estes tubos são içados por meio do guincho. No decorrer da perfuração, a profundidade do poço vai aumentando, sendo necessário adicionar mais tubos à coluna, neste momento o sistema de circulação e rotação são interrompidos e somente o sistema de levantamento de

cargas é acionado. Quando as manobras são finalizadas, a perfuração propriamente dita volta a funcionar com o sistema de rotação e circulação, operando de forma conjunta e contínua.

Metodologia

O procedimento metodológico neste trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas relacionadas ao projeto de sistemas de geração de energia de sondas de perfuração. Fornecendo assim, as bases da fundamentação teórica do estudo de sistema transmissão de energia nas sondas de perfuração terrestre de diferentes capacidades e pelo estudo e aplicação do simulador computacional comercial IPSEpro que foi utilizado na segunda fase do projeto. Na fase inicial, realizou-se um levantamento de demandas de energia por equipamentos instalados na sonda de perfuração. Na fase intermediária, foi feito um estudo de modelos de sistemas de geração utilizados nas sondas terrestres e modelados de forma a implementar no simulador, utilizando um diagrama de blocos de componentes da biblioteca do simulador para obter um modelo padrão com as respectivas demandas de energia.

Definido inicialmente os sistemas que compõem a sonda de perfuração, estimou-se o consumo de potência de cada equipamento com base na capacidade de perfuração da sonda e as informações necessárias como dados de entrada para o simulador. Nesta fase foram avaliados diferentes motores de combustão interna aplicado a sonda de perfuração, bombas de lama, mesas rotativas e guinchos. Com a pesquisa concluída, selecionou-se quais destes equipamentos seriam simulados, com base em suas capacidades e demandas e se são similares aos que são utilizados para perfurar poços nos Estado do Amazonas. Foi possível prever a quantidade de energia que o modelo a ser desenvolvido necessitaria para alimentar os equipamentos e algumas conclusões puderam ser obtidas. O motor selecionado para as simulações foi do ciclo diesel da Caterpillar modelo 3512 *land mechanical engine* que é um equipamento típico para sondas de perfuração terrestre. Na modelagem e simulação foram utilizadas as seguintes ferramentas: um motor de combustão interna, um gerador, um motor elétrico e uma bomba, todos estes componentes foram obtidos na biblioteca do IPSEpro.

O IPSEpro é o principal software utilizado, pois este permite modelar sistemas de geração e transmissão de energia, simulá-los e obter respostas numéricas de seu desempenho, funcionando de forma análoga às plantas existentes na indústria petrolífera. Com esta ferramenta, desenvolveu-se modelos simples com motor de combustão interna e outro mais complexo que incluía diversos equipamentos diferentes.

O EES (Engineering Equation Solver) foi utilizado durante o desenvolvimento deste trabalho para validação dos dados obtidos no IPSEpro e para auxiliar na estimativa dos valores de entalpia, entropia e volume específico da água, do ar e do diesel, que precisam ser estimados para que o cálculo do balanço de massa e energia seja feito pelo simulador, gerando estas informações no próprio IPSEpro. Por ser mais prático e intuitivo, a utilização foi simples e prática, possibilitando uma rápida apresentação dos resultados e valores bem aproximados dos “reais” fornecidos pelo IPSEpro.

O Excel foi utilizado para organização de dados, realização alguns cálculos simples e construção de alguns gráficos obtidos com os dados de simulação. Com o auxílio desta ferramenta, foi possível organizar dados obtidos em catálogos e de simulações no IPSEpro em planilhas eletrônicas. O uso destes recursos foi importante para concentrar todas as informações importantes em um só arquivo ou planilha, além de calcular parâmetros através de equações simples como cálculo de porcentagem e operações matemáticas básicas.

Resultados e Discussão

Durante a realização deste estudo foi possível obter as demandas de potência dos equipamentos que compõem os principais sistemas existentes em uma sonda de perfuração de

petróleo. Esse levantamento é necessário para a seleção dos motores que devem suprir as necessidades energéticas da sonda. Os resultados obtidos das demandas de energia para cada sistema foram representados graficamente. As Figuras 1 e 2 mostram as demandas de energia dos sistemas de elevação, circulação e rotação das sondas para diferentes profundidades.

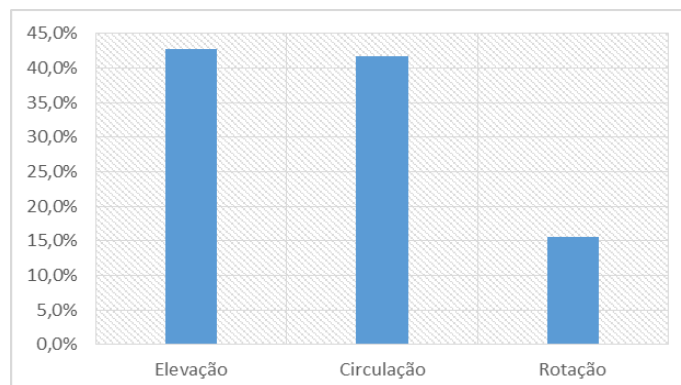


Figura 2 - Demanda energética típica em sonda onshore de 4500m. FONTE: QUEIROZ GALVÃO ÓLEO E GÁS (2014).

Na Figura 2, compara-se a demanda de energia em percentual de cada sistema de uma sonda terrestre típica para uma capacidade de alcance de 4500 metros de profundidade. Observa-se que os sistemas de elevação de cargas e circulação de fluidos são os que mais consomem energia na sonda, entre 43% e 42% respectivamente. Apesar de consumir uma elevada quantidade de energia, não é necessário que haja um motor para cada um dos sistemas, pois ambos não operam ao mesmo tempo, ou seja, quando as operações de manuseio de tubos são iniciadas pelo sistema de elevação de cargas, os sistemas de circulação e rotação são paralisados e vice-versa (BOURGOYNE, 1986).

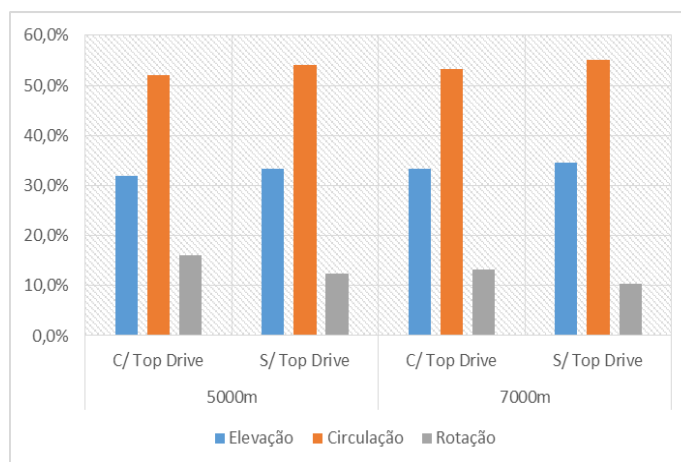


Figura 3 - Demanda energética de sonda onshore de 5000m e 7000m. FONTE: QUEIROZ GALVÃO ÓLEO E GÁS (2014).

A Figura 3 apresenta uma comparação de demanda de energia entre os sistemas de sondas de 5000 e 7000 metros com e sem top drive. Nas sondas com top drive, observa-se que a demanda de energia do sistema de rotação é maior com relação às sondas que utilizam a mesa rotativa. Isto ocorre porque o top drive consome mais energia que a mesa rotativa, no entanto, em algumas situações, o uso de top drive se torna vantajoso, já que com o top drive é possível fazer os trabalhos de manobra de tubulações em menor tempo, pois com a mesa rotativa pode ser retirado somente um tubo por vez, enquanto que com o top drive é possível retirar três tubos de uma só vez (THOMAS, 2001).

Para poços mais profundos utilizar um top drive é viável, pois diminui o tempo de manobra de tubos no poço, conseqüentemente diminui também o tempo de uso do guincho e o seu consumo de

energia. No sistema sem top drive seu uso pode ser mais vantajoso para um poço que não é muito profundo, desta forma a mesa rotativa é capaz de realizar o trabalho requerido com consumo aceitável de energia.

Depois de obtidas as conclusões iniciais sobre demanda de energia, foi feita a modelagem e simulação do sistema de geração e transmissão de energia e do sistema de circulação, dos quais foram obtidos resultados bastantes satisfatórios com relação ao esperado. A linha de estudo das simulações analisou os resultados de energia fornecida em diferentes rotações do motor, ou seja, para diferentes cargas do motor. O que possibilitou observar o comportamento do motor para diversas cargas utilizadas. Para as simulações, as propriedades dos fluxos de entrada e saída dos motores acionadores dos grupos geradores, como: composição do ar e do combustível, pressões e temperaturas de cada fluxo de massa, foram utilizados dados de fabricantes e da literatura no simulador para o balanço de massa e energia.

A literatura técnica apresenta uma variação de até 86% da carga máxima para uma rotação de 1000 RPM, então foi feita uma progressão para se determinar a potência do motor para a velocidade de até 800 RPM, ou seja 47% da carga máxima do motor. Este recurso foi necessário para que houvesse um intervalo de variação maior de demandas de energia, para que um mesmo motor fosse apropriado para diferentes tipos de equipamentos e potências requeridas.

Para avaliar a velocidade do motor foram modificadas as variáveis: vazão mássica de combustível e relação ar-combustível (AC), de acordo com a porcentagem de carga total que se deseja simular. Mudando-se o parâmetro AC, a vazão mássica de ar no motor vai se alterar para diferentes velocidades e vazões de diesel, como consequência destas mudanças, a potência fornecida pelo motor pode aumentar ou diminuir de acordo com a velocidade que é escolhida para operar o motor. As relações de vazão mássica de diesel, carga e AC fornecidas pelo motor são expressas no quadro abaixo.

Rotações (RPM)	$\dot{m}_{\text{diesel}}$ (kg/s)	Carga (%)	AC
800	0,0295	55	47,0
850	0,0354	64	40,8
900	0,0408	72	38,0
950	0,0456	78	35,0
1000	0,0454	86	33,0
1050	0,0482	90	31,3
1100	0,0513	95	30,0
1150	0,0534	98	28,4
1200	0,0546	100	27,5

Quadro 1 – Relação dos parâmetros do motor com AC. FONTE: CATERPILLAR (2014) E CRUZ (2004).

As simulações foram feitas com diferentes valores de carga do motor para obter as potências em diferentes velocidades, que não foram obtidas mediante dados do motor. Com estas variações de rotação do motor, é possível utilizar o mesmo motor para equipamentos com demandas energéticas muito diferentes, tornando o sistema mais eficiente e econômico.

Um modelo de gerador acoplado ao motor, o qual foi simulado para gerar os resultados de potência para as diferentes cargas. Foram feitas diversas simulações com 100%, 95%, 86%, 72% e 55% da carga máxima do motor, modificando-se as vazões mássicas e AC para as respectivas cargas, como mostrado no Quadro 1. Os resultados das simulações de carga versus potência podem ser observados na Figura 4.

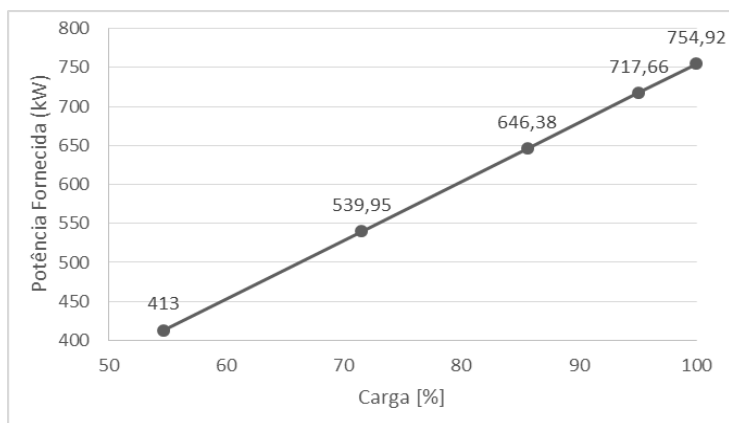


Figura 4 – Carga x Potência fornecida para o gerador. FONTE: LARYSSA AMARO (2015).

A Figura 4 mostra a energia disponível no gerador para as cargas citadas, ou seja, para uma carga de 100% do motor, o gerador possui 754,92 kW de energia disponível para alimentar um equipamento com potência requerida de até 754,92 kW, o mesmo se aplica a outras cargas. Observa-se que neste sistema existem perdas de energia que equivale a uma média de 19% para todas as cargas testadas, estas perdas ocorrem porque o gerador não é 100% eficiente, ou seja, não é capaz de converter toda potência gerada pelo motor. E ocorrem também as perdas por atrito no eixo do motor.

Outro modelo importante que foi simulado com mais equipamentos ligados ao gerador para avaliar seu comportamento foi o sistema de circulação, no qual foi utilizado uma bomba disponível na biblioteca do IPSEpro para simular uma bomba de lama.

Este modelo possui um motor elétrico que fornece potência para uma bomba. Esta modelagem apresentou um ótimo comportamento, pois no decorrer da simulação, a potência fornecida pelo motor elétrico para a bomba era mudada, logo a energia que a bomba fornecia para o fluido também mudava. Quanto maior a energia fornecida pelo motor para a bomba, maior é o bombeamento, ou seja, maior é a taxa de pressão do fluido. Este comportamento representa o controle necessário que se precisa ter no momento de uma perfuração de petróleo, pois quanto mais profundo for o poço, mais fluido de perfuração deve ser bombeado para preencher o poço por completo, o que aumenta a energia requerida da bomba.

Potência (kW)	Pressão de Saída (Pa)
1050	237,2
969	218,9
889	200,9
808	182,7
727	164,5

Quadro 2 – Relação da potência fornecida pelo motor elétrico e a pressão de saída calculada pelo IPSEpro. FONTE: LARYSSA AMARO (2015).

Conclusões

O sistema de geração e transmissão de energia é o sistema mais importante da sonda, pois é através dele que todos os outros sistemas são acionados para pôr em funcionamento os equipamentos necessários para as operações de perfuração de poços. Desta forma, o estudo e a simulação deste

sistema é essencial para que as demandas energéticas sejam atendidas e o projeto seja bem sucedido. Os sistemas de elevação e circulação são os que mais demandam energia da sonda.

As simulações dos sistemas de geração e transmissão de energia e circulação de fluidos forneceram resultados satisfatórios por apresentar valores próximos aos obtidos na literatura. Desta forma, conclui-se que o IPSEpro é um simulador capaz de gerar resultados compatíveis com os adquiridos em uma sonda de perfuração terrestre. Os balanços de massa e energia dos sistemas apresentaram boa convergência, considerando o acoplamento dos componentes e as informações, fornecidas a cada o modelo.

Neste projeto foi possível obter dados reais de equipamentos que são utilizados em sondas de perfuração onshore no Estado do Amazonas e simulá-los, assim os dados levantados e os resultados gerados representam valores dentro da realidade de geração e distribuição de energia nos grupos geradores da sonda. Desta forma, a análise feita por este projeto pode ser aplicada na indústria do petróleo, em busca de otimização da planta de produção e distribuição de energia na sonda.

O motor diesel selecionado para fornecer energia para a sonda foi responsável por garantir a energia conforme a carga de cada sistema, sendo influenciado, diretamente pela rotação e torque. No sistema de circulação a pressão de saída da bomba é proporcional a potência liberada pelo motor.

Agradecimentos

Agradeço imensamente a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) por financiar os recursos necessários para a realização deste trabalho.

Agradeço também a minha família e amigos que sempre me apoiaram na minha busca pelo conhecimento e sempre acreditaram em minha capacidade.

Referências Bibliográficas

BOURGOYNE, A. T.; MILLHEIM, K. K.; CHENEVERT, M. E.; YOUNG, F. S. Applied Drilling Engineering. SPE Textbook series, 1986. 510p.

CATERPILLAR. Disponível em: <www.caterpillar.com>. Acessado em 15 de Setembro de 2014.

CRUZ, Ricardo Wilson Aguiar. Avaliação da introdução de cogeração no sistema do interior do Estado do Amazonas. 2004. 228p. Tese – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo – SP.

HAMID, Mohd Fauzi; SULAIMAN, Wan Rosli Wan. Fundamentals of Petroleum EGINEERING: Drilling Operations. Disponível em: <http://ocw.utm.my/file.php/12/Chapter_4-OCW.pdf>. Acessado em 3 de Agosto de 2015.

QUEIROZ GALVÃO ÓLEO E GÁS. Disponível em: <portal.queirozgalvao.com/web/grupo>. Acessado em 7 de out. 2014.

RIGZONE. How it Works: How does a top drive work? Disponível em <http://www.rigzone.com/training/insight.asp?insight_id=332&c_id=24>. Acessado em 3 de Agosto de 2015.

THOMAS, J. E. Fundamentos de Engenharia de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2001. 267p.