

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

SISTEMA MPD NA APLICAÇÃO ONSHORE: UM ESTUDO DE CASO CONSIDERANDO A Sonda Laboratorial MPD da GEOWELLEX

AUTORES:

Evelyn Kailanny Campelo de Oliveira^{1,3}, Natalino da Silva Souza^{1,3}, Paloma Andrade Rebouças^{1,3}, Lucas Silva Pereira Sátiro², Leonardo Carvalho de Montalvão², Gilvandro César de Medeiros², Cláudio Regis dos Santos Lucas^{1,3}

INSTITUIÇÃO:

¹Faculdade de Engenharia/CAMPUSSAL/UFPA, ²Geowellex do Brasil Serviços Petrolíferos, ³Laboratório de Ciência e Engenharia de Petróleo (LCPetro)

SISTEMA MPD NA APLICAÇÃO *ONSHORE*: UM ESTUDO DE CASO CONSIDERANDO A SONDA LABORATORIAL MPD DA GEOWELLEX

Resumo

O processo de perfuração de poços envolve diversos procedimentos para garantir eficácia e segurança, utilizando inovações tecnológicas para superar desafios de estabilidade. Uma tecnologia essencial é o controle automático de pressão, especificamente o *Managed Pressure Drilling* (MPD). O MPD controla a pressão durante a perfuração, prevenindo kicks e perda de circulação em janelas operacionais estreitas. A tecnologia foi inicialmente projetada para ambientes *onshore*, porém foi amplamente difundida em ambientes *offshore*, onde o investimento de empresas e a configuração de equipamentos no ramo eram mais difundidos. Este trabalho analisa a portabilidade do sistema MPD para perfuração *onshore*, utilizando como caso de estudo a sonda de simulação GWL-01. O objetivo central deste trabalho é desenvolver um sistema de MPD para ambientes *onshore*, possibilitando a otimização da perfuração, a redução de custos operacionais, a testagem e validação de equipamentos, a avaliação da segurança de operações e a capacitação de profissionais. Para simulações em escala real, a empresa Geowellex perfurou o poço teste 1-GWL-1-RN em Macaíba/RN, com 120 m de profundidade. Foram utilizados diversos equipamentos fundamentais, como *diverter*, *flowmeter Coriolis*, *manifold com válvula choke automática*, *válvulas gaveta* e *stuffing box proprietária*, instalados na sonda GWL-01 para permitir simulações de perfuração convencional e com MPD. Os resultados mostraram que o MPD proporcionou simular situações similares para analisar utilidade do MPD para maior controle de ciclos de perda de circulação, controle de kicks, desenvolvimento de software MPD, testes de equipamentos de extração e análise de gases, e avaliação do escoamento de simulações com cascalhos. O sistema MPD, montado e projetado para testes na sonda GWL-01, demonstrou eficiência na resolução de problemas de poços imperfuráveis por meio de simulações por métodos convencionais, tanto por limitações tecnológicas quanto econômicas. Este sistema é aplicável em condições operacionais extremas, servindo também como espaço para testes de ferramentas, modelos matemáticos e capacitação de profissionais. Em suma, este sistema tem como aplicabilidade suprir as lacunas que a indústria tem em condições operacionais extremas, como ciclos de perda de circulação e *kicks*, além de servir como um espaço inovador para testes de ferramentas e modelos matemáticos, e capacitação de profissionais da área.

Palavras-chave: MPD, perfuração não-convencional, tempo não-produtivo, poço teste, perfuração *onshore*.

Abstract

The process of drilling wells involves various procedures to ensure efficiency and safety, using technological innovations to overcome stability challenges. One essential technology is automatic pressure control, specifically *Managed Pressure Drilling* (MPD). MPD controls pressure while drilling, preventing kicks and loss of circulation in narrow operating windows. The technology was initially designed for *onshore* environments, but has been widely disseminated in *offshore* environments, where the investment of companies and the configuration of equipment in the field were more widespread. This work analyzes the portability of the MPD system for *onshore* drilling, using the GWL-01 simulation rig as a case study. The main objective of this work is to develop an MPD system for *onshore* environments, enabling the optimization of drilling, the reduction of operating costs, the testing and validation of equipment, the evaluation of the safety of operations and the training of professionals. For full-scale simulations, Geowellex drilled the 1-GWL-1-RN test well in Macaíba, RN, 120 m deep. Several key pieces of equipment were used, such as a *diverter*, *Coriolis flowmeter*, *manifold with automatic choke valve*, *gate valves* and a *proprietary stuffing box*, installed on the GWL-01 rig to allow simulations of conventional and MPD drilling. The results showed that the MPD was able to simulate similar situations in order to analyze the usefulness of the MPD for greater

control of lost circulation cycles, control of kicks, development of MPD software, testing of extraction equipment and gas analysis, and evaluation of the flow of gravel simulations. The MPD system, assembled and designed for testing on the GWL-01 rig, proved to be efficient in solving imperforable well problems through simulations using conventional methods, due to both technological and economic limitations. This system is applicable in extreme operating conditions and also serves as a space for testing tools, mathematical models and training professionals. In short, this system is able to fill the gaps that the industry has in extreme operating conditions, such as lost circulation cycles and kicks, as well as serving as an innovative space for testing tools and mathematical models, and training professionals in the field.

Keywords: MPD, unconventional drilling, non-productive time, test well, onshore drilling.

Introdução

A indústria do petróleo é um componente fundamental para a economia global, fornecendo uma gama de atividades industriais que abrange três segmentos: *Upstream* (exploração e produção), *Midstream* (processamento e armazenamento) e *Downstream* (transporte, comercialização e refino) (Al-Janabi, 2020). A perfuração de poços engloba um vasto conjunto de processos que visam a eficácia e segurança da operação (Tavares, 2006). Na perfuração moderna a utilização de inovações tecnológicas que buscam superar desafios na perfuração de poços relacionados à estabilidade química e mecânica é cada vez mais comum. Uma que desempenha um importante papel é o controle automático de pressão, especificamente a tecnologia *Managed Pressure Drilling* (MPD) (Fernandes; Meggiolaro, 2015).

O MPD é uma tecnologia de perfuração adaptável utilizada para controlar, com precisão, o perfil de pressão no anular do poço. Sua empregabilidade está relacionada, majoritariamente, ao gerenciamento de pressão, a prevenção de cenários de *kicks*, e a perda de circulação em janelas operacionais (Dias, 2018). Os principais tipos de MPD podem ser divididos em MDP com *backpressure* (perda de carga localizada, realizada por meio de um *choke* que pode ser controlado de forma manual, automática e semiautomática, mantendo o perfil de pressão desejado); MPD com injeção de pressão (*Pressurized Mud Cap Drilling*), que previne contra grandes perdas de fluido e utiliza um tampão de fluido de perfuração para manter a pressão do poço; MPD com controle de *choke* no fundo do poço, que utiliza válvulas no fundo do poço para controlar a pressão (Romualdo *et al.*, 2019). A filosofia empregada no MPD é evitar e controlar influxos indesejados, aplicando uma contrapressão no fluxo no anular (Pérez, 2016). Segundo Teixeira (2011), o MPD pode ser classificado como reativo ou proativo na perfuração, o proativo requer a utilização de equipamentos para controlar o perfil de pressão ao longo do poço exposto, enquanto o reativo requer a utilização de equipamentos como contingência para mitigar problemas de perfuração assim que eles surgem.

A tecnologia foi projetada inicialmente para ambientes *onshore*, entretanto a aplicabilidade dessa ferramenta é praticamente restrita ao ambiente *offshore*, onde obteve o investimento de empresas possibilitando a otimização de equipamentos ao longo dos anos. Essa trajetória reduziu o acesso à tecnologia em ambiente *onshore*, onde há menores capacidades de investimentos e possuem diferentes configurações de equipamentos (Calado; Carvalho Neto; Sotomayor, 2011), mesmo que mais simples em relação ao ambiente *offshore*. Neste sentido, o presente trabalho traz uma abordagem a análise da portabilidade do sistema MPD para perfuração em cenário *onshore*, considerando como caso de estudo a sonda de simulação GWL-01, trazendo consigo a prototipagem da tecnologia aplicada na sonda buscando desenvolver um sistema conjunto de equipamento e software de controle e treinamento.

Metodologia

Desenvolvimento do software de gerenciamento

Neste estudo, foi desenvolvido um software de MPD na linguagem Python, denominado WellexMPD, de propriedade da Geowellex, com a finalidade de otimizar operações de perfuração e reduzir custos operacionais. O WellexMPD foi projetado para estudar cenários e identificar janelas de oportunidade, testar e validar ferramentas e equipamentos antes de sua aplicação em campo, avaliar fatores críticos de segurança e fornecer um ambiente inovador para a capacitação de profissionais.

O WellexMPD consiste em um conjunto integrado de hardware e software desenvolvido especificamente para simular situações envolvendo a aplicação da técnica MPD, como o gerenciamento de pressão durante a perfuração. Sua aplicabilidade é especialmente relevante em operações que exigem controle preciso da pressão no fundo do poço, como em janelas operacionais estreitas. O pacote foi elaborado com foco na otimização de operações e na validação de ferramentas e equipamentos, visando garantir a segurança e a confiabilidade das operações em campo.

Para a validação e simulação em escala real, foi utilizado o poço teste 1-GWL-1-RN, perfurado pela Geowellex em Macaíba, Rio Grande do Norte (RN). Este poço, vertical e com 120 metros de profundidade, foi perfurado em uma única fase com uma broca de 12 ¼” de diâmetro, e revestido com tubo de aço K-55, com diâmetro externo de 9 ⅝” e diâmetro interno de 8,9202”, pesando 36 lbm/pé. Após a perfuração, o poço foi cimentado com pasta convencional de 13,0 ppg, e a qualidade da cimentação foi rigorosamente avaliada.

Resultados e Discussão

Projeto do set up de equipamentos

A sonda GWL-01 conta com praticamente todos os sistemas convencionais de uma sonda *onshore*, incluindo sistema de sustentação e movimentação de carga, sistema de circulação, sistema de rotação, controle de poço, entre outros. Entre as partes específicas fabricadas dos sistemas da sonda, estão inclusos dois tanques de fluido com capacidade de armazenamento de 26 bbl cada, com uma peneira vibratória, mastro com altura de 10 metros, uma bomba duplex e um *Blowout Preventer* (BOP) com duas gavetas com capacidade até 10000 psi. Para compor a automação e gerenciamento de dados dos sistemas foi construído um laboratório para abrigar a *Dog House* e *Mud Logging* de forma integrada. Desse modo, a cabine torna-se o centro de informações e a sua versatilidade pode variar conforme a necessidade de controle para os treinamentos e simulações realizadas.

Para construção e desenvolvimento do sistema MPD, foram dimensionados e prototipados ou adquiridos equipamentos fundamentais para execução da metodologia. Dentre esses destacam-se a prototipagem de um *diverter*, uma *stuffing box*, o *choke* automático, e um medidor de vazão *Coriolis*, entre outras peças essenciais para simulações com condições de projeto. O *Diverter* neste caso é um equipamento localizado no topo da cabeça do poço, sua finalidade é direcionar o fluxo ou gás que possa escapar do poço, evitando problemas durante o processo de perfuração. Para a implementação da metodologia MPD foram levados em consideração critérios de projeto que contemplaram limitações financeiras e realizações de modificações estruturais mínimas na sonda, bem como limitações por indisponibilidade de mercado quanto a dimensões utilizadas.

A *stuffing box* foi dimensionada para substituir o RCD (*Rotating Control Device*), presumindo que as disponíveis no mercado estariam superdimensionadas para aplicação na sonda, necessitando de grandes alterações estruturais. Além disso, essa substituição trouxe notável economia ao projeto. Esse elemento permite manter um sistema fechado e pressurizado para gerenciar com segurança qualquer influxo e também possibilita a aplicação de contrapressão na pressão do fundo do poço.

O *choke* automático, por sua vez, é um sistema de controle automático de aplicação de contrapressão que utiliza um sistema hidráulico para possibilitar os ajustes necessários em tempo real.

Para a válvula automática utilizada no *choke*, foi adquirida uma *Coester CSR25M*, com torque de atuação direta de 20 a 250 Nm, podendo atingir torque de até 50.000 Nm com redutor.

O sensor de vazão mássica (*Coriolis*) mede a vazão de retorno do poço, permitindo a atualização do modelo hidráulico e o cálculo do BHP, além de formar uma linha de tendência, possibilitando a configuração de alarmes para detectar possíveis incidentes, como *kicks*. O modelo adquirido possui diâmetro nominal de 2", precisão de $\pm 0,1\%$, faixa de medição de densidade entre 0,2 a 2 g/cm³, faixa de trabalho de 0 a 64.000 kg/h e pressão de 1000 psi. Os itens citados podem ser observados na Figura 1 abaixo.

Figura 1: Medidor de vazão *Coriolis* e válvula *choke*

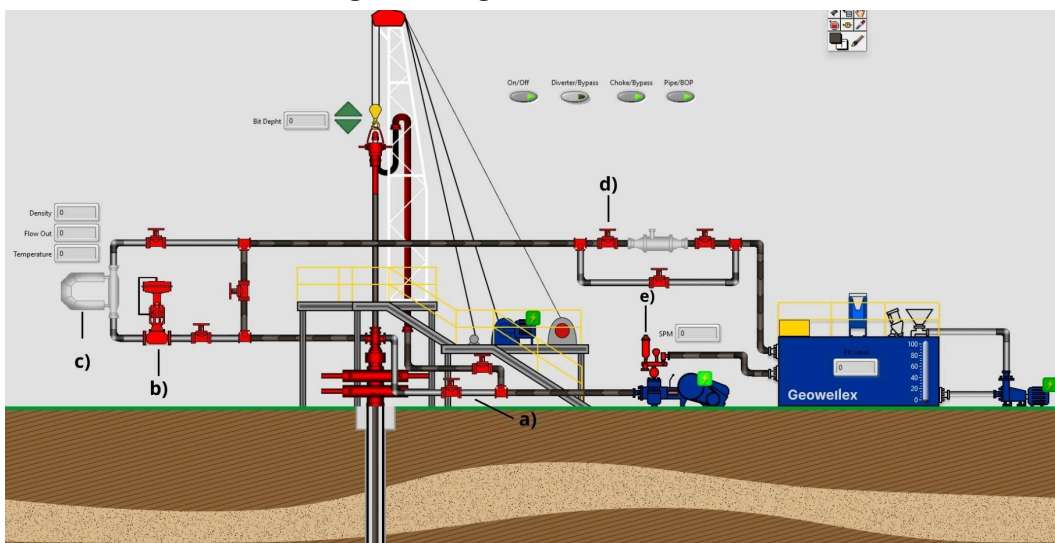


Fonte: Autoria própria

Visão geral dos equipamentos

O sistema MPD desenvolvido permite a circulação do fluido por meio de dois sistemas de sonda, que apresenta como característica a abertura do anular, permitindo a passagem do fluido pelas válvulas *chokes*, onde a pressão é elevada, e conseqüentemente a um controle de pressão no fundo do poço. Entretanto, no sistema convencional, o fluido é bombeado a partir de bombas de deslocamento positivo e retorna pelo anular até chegar nas peneiras por meio da *flowline*.

Figura 2: Diagrama do sistema MPD



Fonte: Geowelllex (2024)

O diagrama esquemático do sistema MPD é representado na Figura 2. O sistema é construído de cinco equipamentos conectados, o *Diverter* (a), utilizado para redirecionar o fluxo do *standpipe* para o anular e criar *backpressure*, uma vez que possuímos apenas uma bomba de lama em operação. O *Diverter* utiliza 2 válvulas gavetas de 2 1/16" para 3000 psi. Após o retorno, o fluxo é direcionado para o sistema de *Choke manifold* (b), onde se encontram o *Coriolis* e a Válvula *choke* automática (c), tendo a possibilidade de *bypass* (tubulação para o fluxo do fluido) com válvula gaveta de 2 1/16" para 3000 psi. Para fechar o circuito do *Coriolis* e da válvula *choke*, utiliza duas válvulas também do tipo gaveta de 2 1/16" para 3000 psi. Em seguida, o fluxo vai para outro *choke manifold*, local o qual ocorre a extração avançada de gás, onde há a presença de 3 válvulas gavetas de 2 1/16" para 3000 psi (d), sendo *bypass* e duas para fechar o circuito do probe para manutenção. Por fim, o fluxo retorna para o tanque de lama (e). Toda tubulação do sistema MPD tem diâmetro de 2" para uma pressão máxima de 2000 psi.

Os resultados do presente trabalho ultrapassam a simples criação de um laboratório de perfuração de poços com MPD. Em termos tecnológicos, o ambiente representa uma iniciativa abrangente que visa impulsionar as tecnologias de perfuração e facilitar a pesquisa e desenvolvimento na indústria de petróleo e gás no Brasil. O desenvolvimento de um ecossistema inovador de sonda *onshore*, projetada minuciosamente para replicar condições reais de campo em um ambiente controlado, permitindo simulações operacionais realistas, e a perfuração de um poço visando simulações oferecem um cenário prático para testar diversas técnicas e equipamentos de perfuração em condições controladas.

Interface do Software Geowellx WellexMPD

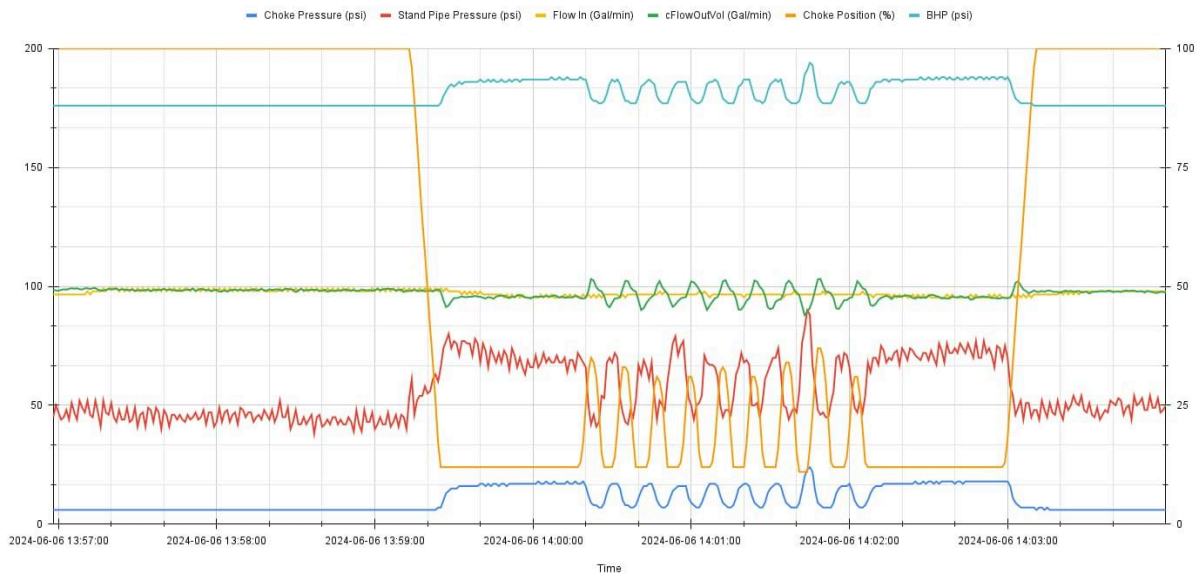
Além da montagem de hardware e infraestrutura, foi desenvolvido um software, WellexMPD, capaz de simular e monitorar as operações na sonda com o sistema MPD. Este software permite que usuários, como os em treinamento, ajustem parâmetros de operação, como o BHP desejado, a porcentagem de abertura da válvula de *choke*, vazão, rotação, entre outros. Dessa forma, é possível prever potenciais falhas do sistema antes que ocorram. Com a visualização de dados por meio de cartões e gráficos durante as simulações, os usuários podem monitorar todos os parâmetros, tanto diretos (recebidos) quanto indiretos (calculados), por meio de uma interface intuitiva. A Figura 3 abaixo retrata uma imagem do WellexMPD, podendo ser observado um ambiente com disposição de *cards* para visualização dos dados numéricos e um ambiente gráfico para interpretações e cálculos, em que ambos dispõem de parâmetros diretos e indiretos. Além disso, verifica-se uma interface amigável e intuitiva, podendo visualizar os *status* dos equipamentos em operação.

Figura 3: Interface do Software Geowellx WellexMPD



A Gráfico 1 abaixo, demonstra um gráfico com resultados de um dos momentos de testes do ambiente Sonda MPD da Geowelllex. No cenário em questão verifica-se uma situação na qual a coluna está dentro do poço, com vazão (circulação) e rotação, quando em um dado momento a posição da *choke* começa a alterar-se, de modo que restringe a saída de fluxo, observando uma queda na tendência da linha laranja (*choke*), e como consequência um incremento da pressão SPP (*Stand Pipe Pressure*) - linha vermelha e dessa forma tendo controle efetivo sobre a pressão no anular desde a superfície até o fundo do poço.

Gráfico 1: Testes de restrição de saída de fluxo na válvula Choke no M



Fonte: Geowelllex (2024)

Conclusões

Em conclusão, o desenvolvimento do sistema MPD para o ambiente *onshore*, aliado a um robusto sistema de treinamento, representa um avanço estratégico na engenharia de perfuração. A implementação dessa tecnologia permite a criação de um ambiente controlado onde profissionais e estudantes podem experimentar, em tempo real, as dinâmicas de perfuração com o uso de MPD, além de validar ferramentas e modelos matemáticos. O sistema de treinamento associado desempenha um papel crucial na capacitação dos profissionais e teste de ferramentas, proporcionando uma ponte entre o conhecimento teórico e a aplicação prática. Esse conjunto de inovações não só melhora a eficiência operacional e a segurança das operações *onshore*, mas também fortalece a integração entre a academia e a indústria, gerando novas oportunidades de pesquisa e desenvolvimento tecnológico no setor. Cabe deixar claro que o sistema se encontra em constante aprimoramento em relação a equipamentos e possibilidades de representação de cenários de campo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Geowelllex Do Brasil Serviços Petrolíferos pelo apoio e orientação dada aos testes e dados de MPD do poço escola 1-GWL-RN, ao Laboratório de Ciência e Engenharia de Petróleo (LCPetro) e a Faculdade de Engenharia/CAMPUSSAL/UFPA pela infraestrutura da área de estudo.

Referências Bibliográficas

AL-JANABI, Y. T. (2020). **An Overview of Corrosion in Oil and Gas Industry**. Corrosion Inhibitors in the Oil and Gas Industry, 1–39. doi:10.1002/9783527822140.

TAVARES, R. M. **Interpretação e Análise de Dados de Perfuração em Poços de Petróleo**. Campinas: Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2006. 129p. Dissertação (Mestrado).

FERNANDES, A. A.; MEGGIOLARO, M. A. **Modelagem e avaliação de controladores não-lineares para perfuração com gerenciamento de pressão**. Rio de Janeiro, 2015. 155p. Dissertação de Mestrado - Departamento de Engenharia Mecânica, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

DIAS, A. Jr. **Managed Pressure Drilling - Revisão Bibliográfica E Estudo De Suas Aplicações No Brasil**. 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso. Graduação em Engenharia de Petróleo, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.

CALADO, T. C.; CARVALHO NETO, H. S.; SOTOMAYOR, O. A. Z. **MPC baseado em Múltiplos Modelos Lineares para Controle de Poços em Operações de Perfuração com Pressão Controlada**. 6º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás, 2011. Universidade Federal de Sergipe.

ROMUALDO, L. B.; ARAUJO, L. M.; CARVALHO, M. A. D.; OLIVEIRA, G. F. M.; VEGA, M. P. **Estudo Da Perfuração De Poços De Petróleo Utilizando A Técnica Pressurized Mud Cap Drilling: Simulação E Experimentos**. Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 2019. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

TEIXEIRA, M. L. M. R. **Estudo de caso sobre a escolha e utilização de métodos e variações de Managed Pressure Drilling (MPD)**. Rio de Janeiro, 2011. Monografia apresentada ao Curso de Engenharia do Petróleo da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

VIEIRA, F. R. B. **Controle da pressão anular de fundo durante a perfuração de poços de petróleo**. 2009 124p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, Tecnologia Química). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2009.

PÉREZ, P. P. **Proyecto de perforación de la sección de 5-7/8" de un pozo de gas mediante tecnología MPD**. 2016. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE MINAS, DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA GEOLÓGICA Y MINERA.