

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA
COMPUTACIONAL PARA PROJETO DE POÇOS DE PETRÓLEO
E GÁS NATURAL

AUTORES:

Raíssa de Camargo Sousa¹, Heliana Bezerra Soares², Anthony Andrey Ramalho Diniz³

INSTITUIÇÃO:

raissasousas2@gmail.com, ¹Departamento de Ciências do Mar, Universidade Federal de São Paulo,
²Departamento de Engenharia Biomédica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte,
³Departamento de Ciências do Mar, Universidade Federal de São Paulo

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. 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 9º PDPETRO.

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA PROJETO DE POÇOS DE PETRÓLEO E GÁS NATURAL

Abstract

Petroleum wells have the primary function of transporting fluids and/or solids from a location below the surface (reservoir) to the surface. However, these hydrocarbons (oil and natural gas) are not renewable resources and they have a high polluting potential. Therefore, new technologies and well projects are important to improve the efficiency of their extraction to meet the demand for these fossil fuels and decrease the risk of accidents during this process. From this context, this research presents the development of a computational tool to perform the well project, to meet the three characteristics of efficient well drilling (safety, low cost and high hydrocarbon recovery). It also calculates some aspects related to the mechanics and hydraulics of the well design. Although some tools have been identified in the market, they have been found to have a high cost, making it difficult for most universities to acquire. This fact led to the development of a software with an academic focus that can be used to improve the students' experience and allow a wider use in the design of oil wells. The software is being developed using MATLAB, which has proved to be a more efficient option, since it has several mathematical functions already implemented and it allows the development of a graphical interface, facilitating its use and interpretation of the presented results. Screens have been implemented in the software to help in the selection of bit and casing diameters, offering the most usual paths in the industry, Standard and Low Clearance. The tool also indicates the fluid volumes required at each step, which can assist the teams in preparing and raising the demand for storage spaces. Other information that can be incorporated into the tool is being studied and it is expected that it will be improved for effective application in the training of students interested in this area and in the practical application of disciplines focused on drilling wells, drilling and completion fluids, as well as completion of wells.

Introdução

Poços de petróleo têm como função primária o transporte de fluidos e/ou sólidos a partir de um local abaixo da superfície (reservatório) para a superfície (HEIJNEN, 1991). Esses fluidos podem ser hidrocarbonetos, que têm como seus principais representantes o petróleo e o gás natural. Segundo o World Energy Council (2013), em seu levantamento de 2013, sobre os Recursos de Energia Mundiais, os principais combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) são abundantes e ainda irão durar por décadas, representando uma estimativa de 76% do abastecimento total de energia primária, em 2020. Todavia, uma vez que não são recursos renováveis e apresentam grande potencial poluidor, novas tecnologias e projetos de poços são importantes para melhorar a eficácia da extração desses hidrocarbonetos, de maneira a atender à demanda desses combustíveis fósseis e diminuir os riscos de acidentes durante esse processo.

As três características principais de um projeto de poço são segurança, mínimo custo e usabilidade. Portanto, o projeto de um poço de petróleo tem como objetivo planejar a perfuração do poço de forma segura, com mínimo custo e de maneira proficiente, ou seja, atendendo aos requisitos dos engenheiros de completação e de reservatório para a preparação do poço perfurado e posterior produção de petróleo e gás. Segurança deve ser a prioridade num projeto de poço: em primeiro lugar, a segurança da equipe que opera o poço e, em segundo lugar, a segurança do poço em si, de maneira que este deve ser planejado buscando minimizar os riscos de *blowouts* e outros problemas. Os custos de manutenção e perfuração de um poço de petróleo são muito altos, portanto, a tentativa de minimizá-los é um ponto válido, desde que não afete as suas condições de segurança. A usabilidade do poço implica, basicamente, que este tenha diâmetro suficiente para que uma completação adequada seja realizada e que o poço possa ser

reparado, em caso de dano (ADAMS, 2006). É a completação que prepara totalmente o poço para produzir e posiciona equipamentos, permitindo uma produção segura e econômica de óleo e gás, pelo poço perfurado. As operações ou processos que buscam aumentar o fluxo de petróleo e gás do reservatório para o poço fazem parte do processo de completação e seu objetivo é maximizar a produção do poço e, portanto, o lucro gerado, uma vez que este já foi perfurado (LYONS; PLISGA; LORENZ, 2015).

Portanto, o objetivo é que o poço seja seguro e tenha a maior vazão de hidrocarbonetos, com o menor custo possível: daí a necessidade de maior atenção no seu projeto e planejamento. Contudo, algumas vezes não é possível atender a todos os objetivos definidos no início do projeto, devido a restrições baseadas em geologia, equipamentos de perfuração, temperatura, pressão, composição dos fluidos presentes no reservatório, limitações no tubo de revestimento, tamanho do poço e orçamento. Dessa forma, um dos aspectos mais importantes do projeto de um poço de petróleo é determinar as características esperadas e os problemas que serão encontrados em sua execução (ADAMS, 2006).

Na indústria, o projeto de um poço de petróleo normalmente é feito com a colaboração de grupos de diferentes profissionais, como engenheiros de reservatório, engenheiros de completação, engenheiros de perfuração, geólogos, geofísicos, dentre outros. Isso se dá devido às diferentes etapas que compõem o planejamento de um poço, cujas três principais características são melhor atendidas quando diferentes especialidades são combinadas e esses profissionais trabalham de maneira integrada.

Durante o projeto de poços, ferramentas computacionais são utilizadas pela indústria para que o processo seja facilitado e haja menor chance de erro. Existem diversos *softwares* dedicados à indústria do petróleo, como o Petrel E&P, desenvolvido pela empresa Schlumberger. Todavia, esses *softwares* possuem alto custo e, portanto, não são utilizados de maneira disseminada nas universidades brasileiras, dificultando a formação de alunos de engenharia de petróleo, que não conseguem ter acesso a eles durante a formação.

Dessa forma, foi identificada a demanda por uma ferramenta computacional, acessível à academia. Portanto, esse artigo descreve o desenvolvimento de um *software*, com foco acadêmico, cujo objetivo é aprimorar a experiência dos alunos e permitir uma melhor e mais ampla visualização do processo de projeto de poços de petróleo, satisfazendo às três características principais de um projeto dessa natureza.

Metodologia

Uma vez definido o foco do programa, foi iniciada uma pesquisa para avaliar a melhor forma de desenvolvê-lo. Inicialmente, foi cogitado o desenvolvimento no Excel, criado pela empresa Microsoft, já que é um *software* mais popular e de funcionamento mais conhecido. Todavia, ele possui algumas limitações e, para atender à demanda planejada para o programa a ser desenvolvido, o Microsoft Excel mostrou não ser a forma mais eficiente de alcançar os resultados esperados.

O programa MATLAB, desenvolvido pela empresa MathWorks, se mostrou a melhor opção para desenvolvimento mais eficiente. Ele combina um ambiente preparado para análise iterativa e processos de desenvolvimento, com uma linguagem de programação simples, expressa matematicamente, e que permite a construção de algoritmos, análise de dados, criação de modelos, entre outros (MATHWORKS, 2017). Da mesma forma, diferente do Microsoft Excel, o MATLAB possui várias rotinas e funções já implementadas em sua estrutura, o que facilita o projeto da ferramenta e teste dos algoritmos.

Com o programa escolhido, foi iniciado um processo de pesquisa quanto à sua utilização. A partir de tutoriais, oferecidos pela própria MathWorks, em seu site oficial, foi iniciado o aprendizado de

conhecimentos básicos do *software*, que viabilizaram o desenvolvimento da ferramenta proposta. Também foi realizado um levantamento dos aspectos do projeto de um poço de petróleo que poderiam ser contemplados, nesse primeiro momento. Foram definidos os dados que seriam inseridos pelo usuário e quais aspectos seriam calculados, identificando as fórmulas a serem utilizadas.

Definiu-se que, nessa etapa inicial, o usuário insere o diâmetro externo do revestimento da seção de produção, o comprimento de cada uma das seções e, por fim, o diâmetro interno do revestimento de cada seção. Na sequência, a ferramenta computacional determina os diâmetros externos dos revestimentos e das brocas de todas as seções, o volume do poço sem revestimento (*open hole*), o volume de cimento, o deslocamento de fluido causado pelo revestimento e o volume de lama, e também esboça o poço projetado.

As equações utilizadas pelo programa são as de volume de cimento (V_{cimento}), volume do poço ($V_{\text{poço}}$), volume de lama (V_{lama}) e deslocamento do fluido (D_F), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Equações utilizadas pela ferramenta computacional

	Equação	Unidade
1	$V_{\text{cimento}} = \frac{(OH^2 - OD^2) \times L}{1029,4}$	bbl
2	$V_{\text{poço}} = \frac{(OH^2) \times L}{1029,4}$	bbl
3	$V_{\text{lama}} = \frac{(ID^2) \times L}{1029,4}$	bbl
4	$D_F = \frac{(OD^2 - ID^2) \times L}{1029,4}$	bbl/ft

Onde OH é o diâmetro externo da broca, em polegadas (in); OD é o diâmetro externo do revestimento, em polegadas (in); ID é o diâmetro interno do revestimento, em polegadas (in); L é o comprimento, em pés (ft); e bbl é a unidade de volume (barril).

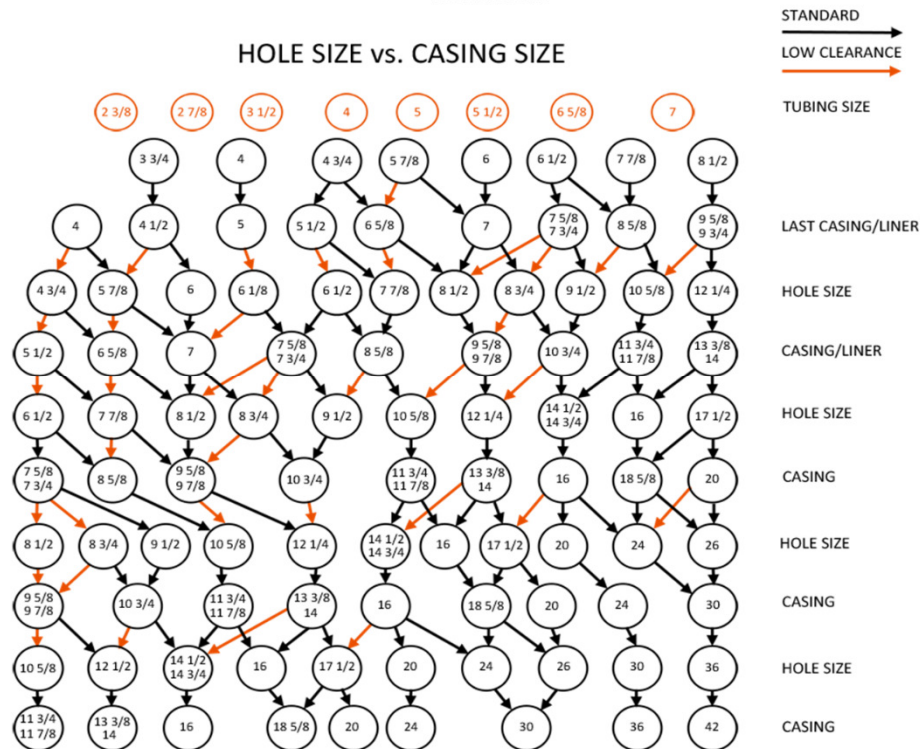
Resultados e Discussão

A escolha dos revestimentos e brocas é uma das etapas do projeto de um poço de petróleo. Tendo-o como ponto de partida, foi necessária a escolha de um diagrama de brocas, que determina a relação entre o diâmetro nominal da broca e o diâmetro externo do revestimento, indicando os caminhos mais usuais na indústria, separados em *Standard*, referente ao caminho padrão, e *Low Clearance*, referente às opções cuja diferença entre o diâmetro externo da broca e o diâmetro externo do revestimento é menor e pode resultar em maior complexidade na operação de perfuração e revestimento dos poços. Tendo em vista a possibilidade de utilização de um diagrama de brocas mais completo, foi escolhido o disponibilizado pela empresa Clear Directional Drilling Solutions, mostrado na Figura 1.

Comumente, um poço possui cinco seções: produção, intermediária, superfície, condutora e estrutural, em ordem decrescente de profundidade. Nesse sentido, o poço é projetado do fim para o começo,

iniciando pela definição do diâmetro externo do revestimento de produção e, a partir disso, o diagrama de brocas indica os tamanhos mais usuais utilizados para os diâmetros externos das brocas que devem ser utilizadas na perfuração dessa seção, bem como a sequência de brocas e revestimentos para as etapas anteriores.

Figura 1. Diagrama de brocas desenvolvido pela empresa Clear Directional Drilling Solutions.



Fonte: Clear Directional Drilling Solutions, 2014.

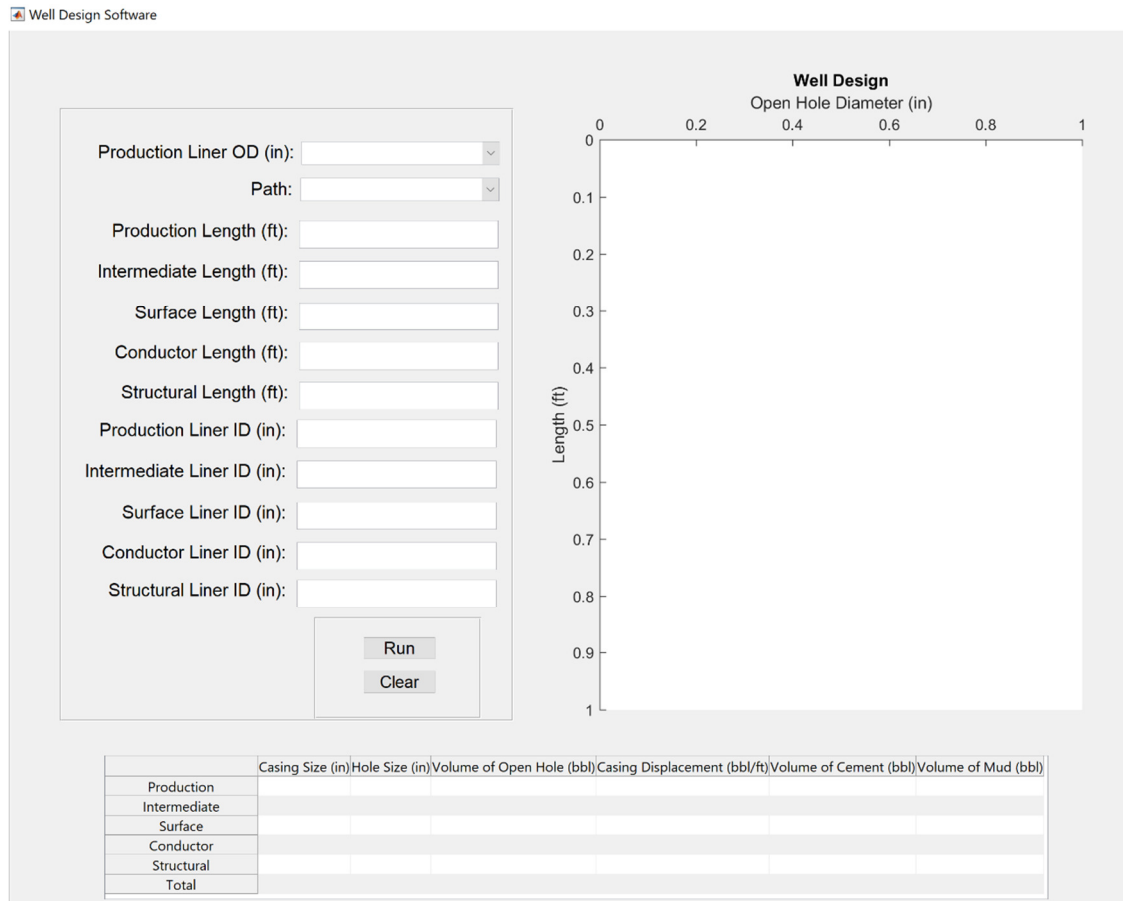
Uma vez definido o diagrama de brocas, o primeiro obstáculo encontrado foi a variedade de caminhos possíveis, a partir do diâmetro externo escolhido para o revestimento de produção. Num primeiro momento, a solução encontrada para este problema foi solicitar ao usuário o caminho que deve ser seguido, *Standard* ou *Low Clearance*, qual o diâmetro externo do revestimento da seção de produção e, a partir destes dados, determinar os próximos diâmetros externos.

Portanto, o usuário insere os comprimentos de cada seção e os diâmetros internos dos revestimentos de cada uma delas. O diâmetro interno de um revestimento varia de acordo com seu fabricante, modelo e grau. Um exemplo é o modelo API, que tem entre seus graus o J-55 e o N-80, encontrados no i-Handbook da Schlumberger, cujos diâmetros internos, para o revestimento de 7 in, por exemplo, são de 6,456 in e 6,366 in, respectivamente. Portanto, é necessário que o usuário insira essa informação, já que existem diversas opções de revestimento e esse banco de dados ainda não está incorporado à ferramenta em desenvolvimento.

Na sequência, o *software* então determina os diâmetros externos dos revestimentos e das brocas de todas as seções, o volume do poço sem revestimento (*open hole*), o volume de cimento, o deslocamento de fluido causado pelo revestimento e o volume de lama. Por fim, o programa esboça o poço, sendo o comprimento de cada seção no eixo Y e o diâmetro externo da broca de cada seção no eixo X.

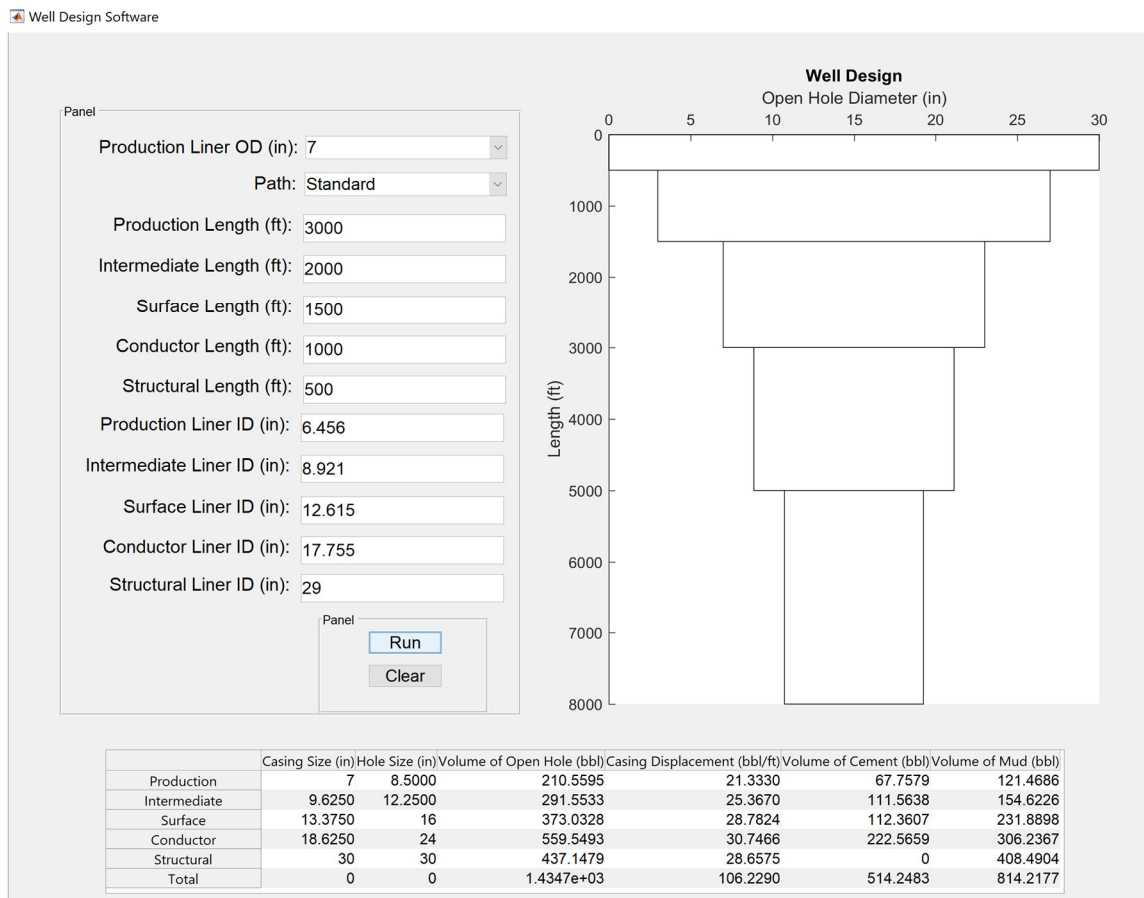
A Figura 2 mostra a interface gráfica da ferramenta computacional. Ela é composta por dois campos, “*Production OD*”, que se refere ao diâmetro externo do revestimento da seção de produção, e “*Path*”, referente ao caminho a ser seguido, nos quais o usuário seleciona uma dentre as opções pré-determinadas. Os outros campos são de preenchimento livre para o usuário, nos quais são pedidos o comprimento e o diâmetro interno do revestimento de cada seção. Ao clicar no botão “*Run*”, uma vez que todos os campos foram previamente preenchidos, a ferramenta computacional apresenta, na tabela, todos os resultados e esboça o poço projetado. O botão “*Clear*” limpa todos os campos, para que um novo projeto possa ser feito. O *software* foi desenvolvido em inglês, uma vez que este é o idioma mais utilizado pela indústria e para servir de motivação para os usuários terem conhecimento do idioma.

Figura 2. Interface gráfica da ferramenta computacional.



Testes teóricos foram realizados, com o objetivo de comprovar a eficácia do *software*. Utilizando os mesmos valores inseridos na Figura 3, foram calculados manualmente os volumes do poço, de cimento e de fluido de perfuração, bem como o deslocamento de fluido, a partir das equações dispostas na Tabela 1. Os resultados obtidos no teste teórico são compatíveis com os resultados obtidos no teste do *software* mostrado na Figura 3, comprovando que a implementação das equações matemáticas foi realizada corretamente.

Figura 3. Interface gráfica da ferramenta computacional desenvolvida com resultados obtidos durante um teste.



Considerações Finais

Até o presente momento, o *software* tem se mostrado funcional, apresentando os resultados esperados em todos os testes realizados. Uma vez que seu foco é acadêmico, a ferramenta computacional mostra-se capaz de atender à demanda observada nas disciplinas introdutórias dos projetos de poços.

Ademais, o software tem potencial para que mais funcionalidades sejam adicionadas. No presente momento, estuda-se a possibilidade da inserção de um banco de dados com dados de diâmetro interno de diversos revestimentos e de aprimorar o esboço do poço, contemplando os revestimentos e demarcação da área cimentada. Espera-se, também, contemplar todos os caminhos possíveis do diagrama de brocas, de modo que o projeto de poço seja mais completo e próximo do utilizado na indústria.

Futuramente, a equipe pretende inserir cálculos voltados para a formulação e hidráulica dos fluidos de perfuração, bem como cálculos mecânicos para estimar as resistências dos vários elementos constituintes da sonda e da coluna de perfuração aos esforços que ocorrem na dinâmica do sistema.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Federal de São Paulo e todo seu corpo docente por fazerem parte da minha trajetória acadêmica. A CAPES, CNPq e IIE, pela oportunidade da participação no programa Ciência

sem Fronteiras, pois essa experiência mudou a minha vida. Por fim, aos professores Prof. Dr. Anthony Diniz, pela orientação, incentivo e confiança, e a Profa. Dra. Heliana Soares, pelas colaborações e disponibilização de ferramentas necessárias para a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

ADAMS, Neal. Well Planning. In: LARRY W. LAKE. Editor-in-Chief. **Petroleum Engineering Handbook**. [S. l.]: Society of Petroleum Engineers, 2006. cap. 11, p. 455-518. v. II - Drilling Engineering.

CLEAR. **Hole Size vs. Casing Size**. 2014. Disponível em: <<http://landmarkgs.com/Clear/site6/>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

HEIJNEN, W.H.P.M. **A Systematic Approach to Well Design**. Society of Petroleum Engineers, 1991. Disponível em: <<https://www.onepetro.org/download/conference-paper/SPE-23038-MS?id=conference-paper%2FSPE-23038-MS>>. Acesso em: 17 set. 2016.

LYONS, William C.; PLISGA, Gary J.; LORENZ, Michael D.. **Standard Handbook of Petroleum and Natural Gas Engineering**. 3. Ed. [S. l.]: Elsevier, 2015. 271 p. Disponível em: <https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpSHPNGE09/viewerType:toc/root_slug:standard-handbook-petroleum/url_slug:standard-handbook-petroleum>. Acesso em: 18 nov. 2016.

MATHWORKS. **MATLAB**. [S. l.]. Disponível em: <<https://www.mathworks.com/product/matlab.html#overview>>. Acesso em: 15 abr. 2017.

SCHLUMBERGER. **Petrel E&P Software Platform**. [S. l.], 2017. Disponível em: <<https://www.software.slb.com/products/petrel>>. Acesso em: 02 abr. 2017.

SCHLUMBERGER. **i-Handbook**. [S. l.], 2017. Disponível em: <<http://www.slb.com/resources/software/ihandbook.aspx>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

WORLD ENERGY COUNCIL. **World Energy Resources 2013 Survey**. [S.I.], 2013. Used by permission of the World Energy Council. Disponível em: <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf>. Acesso em: 17 set. 2016.