

SISTEMA INTERATIVO PARA ENSINO DE PROJETO DE COLUNA DE PRODUÇÃO DE POÇOS DE PETRÓLEO – TWELL

INTERACTIVE SYSTEM FOR EDUCATION OF DESIGN TUBING WELL – TWELL

André Felipe Reis de Araújo Vitorino¹, Maria Clara Almeida Souza²,
João Paulo Lima Santos³, Lucas Pereira de Gouveia⁴

RESUMO

Um sistema *web* no qual se possa reunir diversas aplicações voltadas para Engenharia de Petróleo mostra-se como uma grande inovação tecnológica e acadêmica, permitindo uma interação dos usuários com projetos-base previamente vistos em sala de aula. É através dessas motivações que o sistema SAEP (Sistema de Aplicações de Engenharia de Petróleo) vem sendo desenvolvido. O SAEP permite reunir as aplicações em quatro grandes áreas de Engenharia do Petróleo: *Offshore*, Poço, Economia e Reservatório. O presente trabalho apresenta o desenvolvimento de uma ferramenta didática de ensino voltada para projeto de coluna de produção de poços de petróleo, denominado *Tubing Well* (TWELL), cuja implementação requer uso do *framework Django* com linguagem computacional *Python*. O *software* possibilita a comparação de carregamentos aplicados durante a vida útil da estrutura com as resistências indicadas pela qualidade do tubo. Para tanto, o TWELL se baseia em formulações e cardápio de dados presentes em conceituadas publicações internacionais para que possa auxiliar o meio acadêmico e a indústria. Os alunos podem ter acesso ao sistema TWELL em sala de aula ou em qualquer ambiente externo, podendo inclusive ter acesso a partir de *smartphones*, o que torna a ferramenta extremamente versátil para uso acadêmico.

Palavras-chaves: aplicação *web*; completção de poços; dimensionamento de estruturas; tubing.

ABSTRACT

A web system where you can gather several applications focused on Petroleum Engineering, shows itself as a great technological and academic innovation, allowing an interaction of users with basic projects previously seen in the classroom. It is through these motivations that the SAEP system (Petroleum Engineering Applications System) has been developed. The SAEP allows to gather the applications in four major areas of oil engineering: Offshore, Well, Economy and Reservoir. This paper presents the development of a Teaching didactic tool for oil well production column design, called Tubing Well (TWELL), whose implementation requires the use of the Django framework with Python computational language. The software allows the comparison of loads applied during the useful life of the structure with the resistances indicated by the tube quality. Therefore, TWELL is based on formulations and data menu present in renowned international publications in order to assist the academic world and the industry. Students can have access to the TWELL system in the classroom or in any external environment, including access from smartphones, which makes the tool extremely versatile for academic use.

Keywords: Web application; Completion of wells; Structural design; Tubing.

1 Engenheiro de Petróleo; andre.felipe.rav@hotmail.com

2 Discente em Engenharia de Petróleo na UFAL; cllara.almeida09@gmail.com

3 Professor doutor do Centro de Tecnologia da UFAL; jpls@lccv.ufal.br

4 Professor mestre do Centro de Tecnologia da UFAL; lucasgouveia@lccv.ufal.br

INTRODUÇÃO

A evidente dependência da sociedade global em relação a diversos produtos derivados de hidrocarbonetos atrelada à inexistência de uma matriz energética totalmente segura que independa dos combustíveis fósseis indica que, apesar da recente crise, o setor de óleo e gás persiste e persistirá ainda por um tempo sendo uma das bases econômicas do mercado (BP, 2017). Considerando-se tal cenário marcado por incertezas e no qual planejamentos são baseados em políticas de corte de gastos, pequenas economias potencialmente existentes podem tornar ainda mais lucrativo o investimento. Para tanto, torna-se relevante a elaboração de um robusto projeto de poço que inclua diversas problemáticas (ROCHA; AZEVEDO, 2009; PINHEIRO et al., 2015).

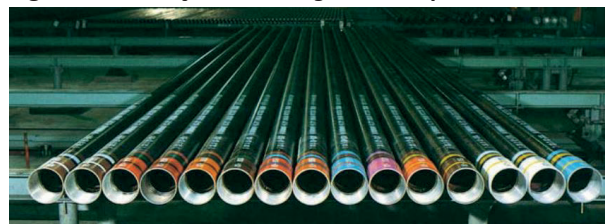
As situações de campo são ainda mais críticas, pois os poços estão se tornando cada vez mais complexos, exigindo adaptações em projetos visando à eficiência de tempo e de custo, aspectos ainda mais cruciais em ambientes *offshore* profundos e ultraprofundos (AAD-NØY, 2010; PINHEIRO et al., 2015). É desse tipo de cenário que grande parte do suprimento de hidrocarbonetos deve ser explorado em escala global (DEKKER et al., 2016), mas que – típicos da região de pré-sal – já fazem parte da projeção estratégica na indústria do petróleo do Brasil devido às reservas e à produção (ANP, 2017). Considerando-se as ações exploratórias, estão incluídas a perfuração (primeira fase efetiva da criação de um poço, a qual engloba desde sua abertura com uso da coluna de perfuração até a aplicação de revestimento e de cimento em diversas fases) e a completação (THOMAS et al., 2001).

Na segunda etapa de construção de poços de petróleo (completação), ocorre um conjunto de atividades que objetivam a equipar o poço visando à operação deste de forma segura e econômica, ou seja, produzir/injetar fluidos (como hidrocarbonetos) presentes no reservatório. Trata-se de um processo que se baseia em diversas ciências para sua efetividade, o que exige ao engenheiro de completação o domínio multidisciplinar baseado em diversos dados obtidos em etapas que precedem ao evento e na

projeção de atividades a serem realizadas no poço. Isso inclui o conhecimento relativo aos fluidos, às atividades de perfuração, às características das rochas das fases completadas, aos parâmetros de reservatório, aos dados exploratórios (como vazão de produção), às instalações de superfície, ao meio ambiente (que pode causar limitações no serviço) e, até mesmo, aos dados e práticas comerciais da empresa operadora.

A compreensão global desses aspectos é fundamental para a correta projeção dos equipamentos necessários para o resto do tempo de utilização do poço. Entre eles, encontra-se a coluna de produção (na indústria, chamada pelo termo em inglês *tubing*), ilustrada na Figura 1. Trata-se do único meio seguro responsável por escoar todo o fluido que é extraído do ou aplicado ao reservatório (BELLARBY, 2009; PER-RIN, 1999; RENPU, 2011).

Figura 1: Ilustração de *tubing* em estoque



Fonte: JFE Steel Corporation (2014).

Thomas et al. (2001) agrega relevância à estrutura ao afirmar que a coluna de produção representa o maior custo entre os instrumentos de subsuperfície. Os gastos devido à má escolha da ferramenta podem alavancar caso haja danos. Pequenas falhas, como o desgaste do *tubing*, podem inviabilizar o uso dos equipamentos de subsuperfície, gerando aumento no tempo de *workover* em consequente manutenção, a qual, caso não seja realizada, pode evoluir elevando os prejuízos que ultrapassam a barreira econômica e ascendendo os riscos socioambientais. Ainda em relação à coluna de produção, Renpu (2011) indica princípios de limitações tecnológicas atuais, as quais podem ser consideradas aspectos críticos do projeto no que se refere ao desenvolvimento de novos procedimentos e equipamentos necessários.

Visando-se a restringir os riscos e as limitações tecnológicas, o presente artigo busca desenvolver uma ferramenta baseada em interface *web*, *Tubing Well* (TWELL), a qual faz

parte do Sistema de Aplicações para Engenharia de Petróleo (SAEP), cuja página inicial é ilustrada na Figura 2. Trata-se de um ambiente desenvolvido inicialmente por Costa (2016) e por Paranhos Sobrinho (2016), com posterior colaboração de Vitor Silva (2017), que pode ser definido como uma ferramenta multidisciplinar computacional baseada em interface *web* capaz de dar assistência a projetos de cunho acadêmico para exploração de petróleo e gás natural. Sendo assim, para realizar a implementação do TWELL neste meio, foi necessária capacitação para utilização de técnicas que envolvem a computação de *back-end* e *front-end*, as quais,

respectivamente, abrangem o ambiente voltado para a comunicação com o usuário e a estrutura de códigos internos do aplicativo que realizam, por exemplo, cálculos e a formação de gráficos (SILVA, 2017). Porém, em módulo específico, o TWELL é responsável por desenvolver o auxílio no projeto de colunas de produção utilizadas em poços de petróleo e gás natural, cuja decisão final de dimensionamento é considerada uma das mais importantes durante a completação (BELLARBY, 2009; RENPU, 2011). O TWELL está disponível gratuitamente no endereço: <<http://saep.pythonanywhere.com/>>.

Figura 2: Página inicial do Sistema de Aplicações para Engenharia de Petróleo (SAEP).



Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Bellarby (2009) acrescenta o uso de práticas que se baseiam em métodos para aprimorar o projeto de colunas de produção, a partir de um sistema computacional em que dados para a análise de confiabilidade estrutural dos tubos de revestimento são obtidos com uso de informações de esforços externos. Com base na proposta, o estudo da aplicação visa a otimizar o programa planejado tomando como base a comparação entre a resistência do objeto investigado – abrangendo o tubo e suas conexões – e as cargas nele aplicadas ao longo de cenários da vida útil. A etapa pode ter reflexos diretos na viabilidade de projeto, visto que Rahman e Chilingarian (1995) indicam que o preço de tu-

bulares geralmente tende a diminuir à medida que se reduzam o peso linear (parâmetro que define a espessura da coluna) e/ou o grau de aço (característica que define a qualidade do material em relação à tensão de escoamento, por exemplo).

Desde então, é possível perceber que, mediante aperfeiçoamento necessário, o uso pleno do TWELL deve beneficiar, além do meio acadêmico, a indústria, ao assegurar proteção aos procedimentos utilizados em *softwares* desenvolvidos e comercializados por empresas, os quais são, reconhecidamente, muito onerosos (VITOR SILVA, 2017). Por essa razão, também ocorre restrição no uso destes aplicativos den-

tro das universidades, nas quais é reconhecida a aplicação acadêmico-científica de ferramentas computacionais, já que a tecnologia é considerada aliada no processo de ensino-aprendizagem (MARTINS; RAMOS, 2001; MENDES FILHO et al., 2001).

Mais uma vez, então, é incitada a criação de novas ferramentas como a proposta deste trabalho, no qual se abre uma fonte de potenciais práticas geradas por docentes em sala de aula, além de servir como meio de estimulação à iniciação científica, através do estudo de complexos cenários da indústria – muitas vezes distanciados dos estudos regulares, mas que podem ser idealizados por discentes em suas pesquisas.

O presente trabalho enfatiza o desenvolvimento do TWELL, capaz de realizar a análise estrutural de colunas de produção, possibilitando o auxílio ao projeto de completação a partir da potencial contenção de despesas realizada de forma segura e prática. Nesse contexto, foram inclusas as análises da estrutura do tubo, incluindo suas conexões e cenários da indústria que possam gerar esforços ao meio. Para a implementação, fez-se uso de normas técnicas, manuais de operadoras, além de conceituados livros e artigos a fim de se realizar a correta implementação da ferramenta. Visando-se a validar a aplicação criada, foram, em meio às referências, desenvolvidos dois exemplos de uso da ferramenta.

DESENVOLVIMENTO

A elaboração de um projeto para colunas de produção foi ilustrada como uma complexa tarefa que considera diversos fatores. A relevância e objetivação de práticas que busquem a segurança estrutural do objeto de estudo fizeram com que normas padronizadoras servissem de base para determinação das resistências de tubulares. Contudo, o cálculo de carregamentos fica restrito a difíceis análises que, muitas vezes, estão restritas a formulações específicas determinadas por manuais das operadoras da indústria. Com o material angariado e o uso da linguagem computacional retratada na Introdução, implementou-se a aplicação *web* TWELL, a qual busca auxiliar a elaboração de

projetos de tubos de produção, suas conexões e suas resistências, as quais compõem o *tubing string*.

Apresentação do *software*

O *Tubing Well* (TWELL), cuja página inicial encontra-se ilustrada na Figura 3, é basicamente dividido em duas seções (Características do Poço e Resultados). Considerando-se a primeira delas, temos o ambiente em que o usuário determina: a) o tipo da coluna de produção (se Uniforme ou Seccionada); b) dados dos tubos e das conexões; c) dados operacionais; d) cenários; e e) fatores de segurança de projeto. Por sua vez, na seção Resultados, indica-se, como saída do aplicativo: a) resistências uniaxiais/biaxiais; b) resistências triaxiais; e c) carregamentos.

Na seção de dados de entrada, o usuário deve escolher o tipo de coluna de produção, visto que, conforme o citado anteriormente, a coluna de produção pode ter mais de uma seção de tubulares com características diferentes, conforme o indicado na aplicação em Jellison, Sweet e Klementich (1989), em que dois tubos de produção, com diferentes diâmetros externos, pesos lineares e graus de aço se encontram conectados para realizar a produção. Caso o usuário decida por mais de uma seção e clique em Seccionada, um *pop-up* (indicando a dinamicidade da aplicação) surge na tela para a determinação desse valor (Figura 4).

Após se decidir o número de seções da coluna, o usuário deve indicar – para cada seção – as características dos tubos e das conexões nelas utilizadas. O cardápio de tubos e conexões implementado no TWELL – que aparecem em forma de lista – segue o indicado pela API em ANSI/API TR 5C3 (2008). Então, define-se o diâmetro externo da seção, tanto quanto o peso linear do tubular (e, conseqüentemente, sua espessura de parede). Na mesma etapa de entrada, ilustrada na Figura 3, deve-se determinar a mínima espessura da parede, recomendando-se 87,5% para o parâmetro (cuja penalização chega a 12,5%), como nela foi utilizado. Outra característica dos tubos e das conexões é o grau de aço, sendo ele essencial para se determinar a resistência da estrutura.

Figura 3: Página inicial do *Tubing Well* (TWELL) para dados de entrada com parâmetros aplicados para estudo de caso

Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Figura 4: Escolha de coluna de produção seccionada no *Tubing Well* (TWELL)

Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Acrescenta-se a designação do tipo de conexão (se NU ou EU2). Por fim, essa etapa ainda compreende a indicação do comprimento de cada seção.

Deve-se notar que, nesse instante, o aplicativo já é capaz de definir as resistências da coluna a partir dos dados obtidos (ato que só ocorre após seleção do botão “Executar Projeto”; complementa-se, ainda, a possibilidade de limpeza de dados preenchidos ao clicar em “Zerar Campos” e de salvar o projeto realizado com o uso do botão “Salvar”).

O projeto tem continuação na segunda etapa de entrada, na qual dados operacionais do poço são apontados (Figura 5). Estabelece-se, então, a profundidade da base do tubo (o que não necessariamente é a sapata do último revestimento ou *liner*) e a massa específica do fluido de completação. Considerando-se a possibilidade de poços direcionais, o *dogleg severity* (curvatura) e o torque podem ser utilizados de forma padrão para todo o poço.

5: Seleção dos dados operacionais do poço no *Tubing Well* (TWELL)

Figura

Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Os dados da segunda etapa são fundamentais para uso nos carregamentos, os quais têm sua definição a partir da escolha do cenário crítico, sendo no TWELL desenvolvidos o cenário de Teste de Pressão (utilizado para verificação de falha por *burst*) e de Vazamento no *Tubing* (crítico para colapso). Para ambos, os dados complementares são requisitados na forma de *pop-up*, os quais são, respectivamente, a pressão de teste na superfície e a massa específica do fluido produzido (que ficará interna ao tubo de produção), conforme se verifica na Figura 6. Por fim, numa última etapa de entrada de dados, o usuário deve determinar os fatores de segurança. Caso não sejam alterados (Figura 7), os parâmetros permanecerão em modo padrão, de acordo com o indicado na Tabela 1.

Tabela 1: Fatores de segurança atribuídos a tipos de falha – Range de aplicação na engenharia de completção e Padrão NORSOK

| Modo de falha | Range de aplicação na completção | Padrão NORSOK (AADNØY, 2010) |
|---------------|----------------------------------|------------------------------|
| Axial | 1,3-1,6 | 1,3 |
| Burst | 1,1-1,25 | 1,1 |
| Colapso | 1,0-1,1 | 1,1 |
| Triaxial | 1,2-1,3 | 1,25 |

Fonte: Bellarby (2009).

Após clicar em “Executar Projeto”, uma nova tela será mostrada ao usuário na seção Resultados. Nela, caberá ao usuário fazer a comparação de resistências e carregamentos fornecidos, além da análise gráfica a partir do uso das envoltórias API e de *von Mises* geradas com o estudo triaxial da situação.

Figura 6: Escolha do cenário de Vazamento de tubing – *Tubing Well* (TWELL)

Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Figura 7: Seleção dos fatores de segurança no *Tubing Well* (TWELL)

Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

APLICAÇÃO DE USO DIDÁTICO

A partir do desenvolvimento da ferramenta, pode-se fazer um estudo de caso da melhor configuração quanto à qualidade de tubulares, baseando-se em um carregamento específico. Para determinação de uma situação mais próxima da realidade, fez-se uso do conteúdo indicado nas obras Bellarby (2009), Jellison, Sweet e Klementich (1989) e Liu et al. (2016). Assim, idealizou-se projetos de completação de duas colunas de produção de seção única, solicitadas a esforços resultantes do cenário de Vazamento de *Tubing* que produz um gás de baixa densidade. Na Figura 5, na Figura 6 e na Figura 7, encontram-se os parâmetros padrões que geram as cargas resultantes do Vazamento de *tubing*, conforme está descrito na Tabela 2. Porém, é na Tabela 3 que se apresentam os dados para tubos e conexões utilizados no estudo de caso. Cabe observar que o Tubo 1 apresenta características que devem baratear o custo (RAHMAN; CHILINGARIAN, 1995); porém, as resistências são diminuídas quando comparado ao Tubo 2, que apresenta maior robustez.

Tabela 2: Dados gerais para operação e cenário do estudo de caso

| Parâmetro | Valor adotado | Parâmetro | Valor adotado |
|-----------------------|---------------|------------------------|---------------|
| ρ_{anular} | 10,0 lb/gal | ρ_{tubing} | 0,33 psi/m |
| C | 0,00°/100 pés | T | 0,00 lbf*pol |
| FS _{axial} | 1,30 | FS _{burst} | 1,10 |
| FS _{colapso} | 1,00 | FS _{triaxial} | 1,25 |

Fonte: elaborada pelos autores.

Tabela 3: Dados gerais para tubos e conexões utilizados no estudo de caso

| Parâmetro | Tubo 1 | Tubo 2 |
|-----------------------------------|--------|--------|
| Diâmetro externo (em pol) | 4 | 4 |
| Peso linear (em lb/p) | 9,5 | 13,20 |
| Espessura (em pol) | 0,226 | 0,330 |
| Grau de aço | N80 | P110 |
| Mínima espessura da parede (em %) | 87,5 | 87,5 |
| Comprimento da seção (em m) | 3100 | 3100 |
| Tipo de conexão | EU | EU |

Fonte: elaborada pelos autores.

Com os dados aplicados para a verificação de funcionalidade, o aplicativo consegue, em sua resposta, desenvolver uma tela que determina as saídas indicadas para o usuário. Entre elas, estão resistências uniaxiais/biaxiais (Figura 8), triaxiais (Figura 9) e as curvas de carregamentos (Figuras 10 e 11).

Um resumo das resistências apresentadas para os dois tubulares pode ser visto na Tabela 4. Nela, são notórias as maiores resistências para o Tubo 2. Isso ocorre conforme o esperado, devido ao maior grau de aço (leia-se tensão de escoamento superior) e peso linear (maior área de superfície transversal do tubo), o que, evidentemente, torna o Tubo 1 menos capacitado a manter a segurança estrutural quando submetido a maiores esforços. Vale ainda acrescentar, em termos comparativos, que, na análise uniaxial/biaxial os dois tubos propostos, incluindo suas conexões, mostraram-se seguros, pois quando comparadas as resistências correspondentes, os carregamentos se mostraram inferiores. Para tanto, indica-se que a máxima carga de colapso aplicada é de 5288,6 psi (Figura 11), enquanto os máximos esforços

axiais são 107,18 klbf (Figura 10) e 148,37 klbf para o Tubo 1 e Tubo 2, respectivamente. Dessa forma, observa-se que o carregamento axial aumenta para o Tubo 2. Isso ocorre uma vez que esse tubular possui maior peso linear, resultando em uma maior força peso.

Isso também é ratificado na análise triaxial. De acordo com o que se verifica na Figura 9, o carregamento consegue ultrapassar as envoltórias limitantes de segurança, tornando o Tubo 1 não confiável para tal cenário, visto que ele passa a ficar sujeito à deformação plástica. É diferente do que ocorre com o Tubo 2, pois, conforme se vê na Figura 12, apesar dos mes-

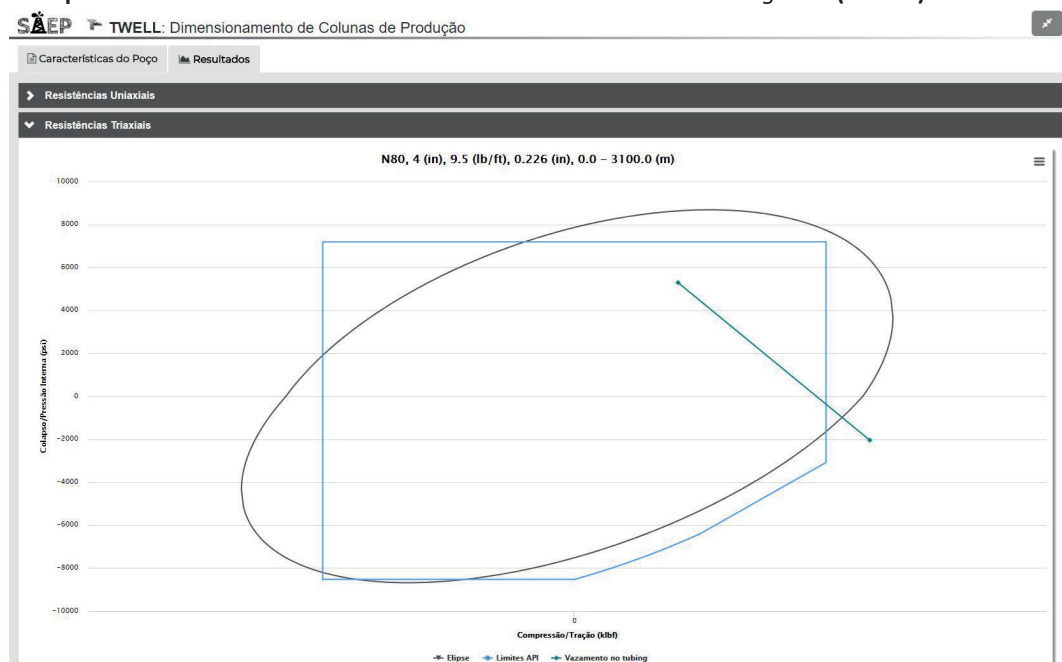
mos esforços aplicados, as envoltórias conseguiram envolver o tubo – já que se tornaram maiores devido à robustez – e garantiram, nesse cenário, a segurança estrutural do objeto. Ressalta-se, contudo, que, caso alcance a deformação plástica, a estrutura ainda pode realizar serviço, porém de forma menos eficiente, ou seja, de forma não ideal. Cabe a análise do estado limite último (Figura 8), em que o tubular alcança um estado de desuso completo por falha estrutural. Para tanto, faz-se o uso, por exemplo, das propostas de Klever-Stewart e Klever-Tamano, cuja discussão foi trazida em ANSI/API TR 5C3 (2008).

Figura 8: Saída para resistências uniaxiais/biaxiais do Tubo 1 no estudo de caso no *TubingWell* (TWELL)



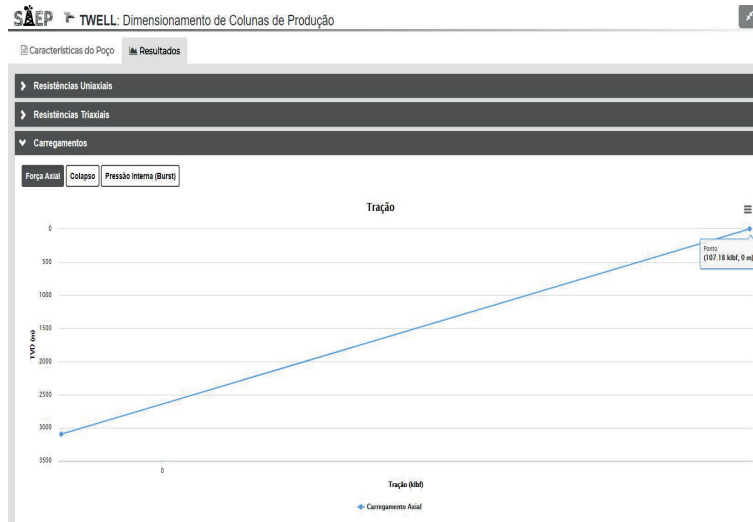
Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Figura 9: Saída para resistências triaxiais do Tubo 1 no estudo de caso no *Tubing Well* (TWELL)



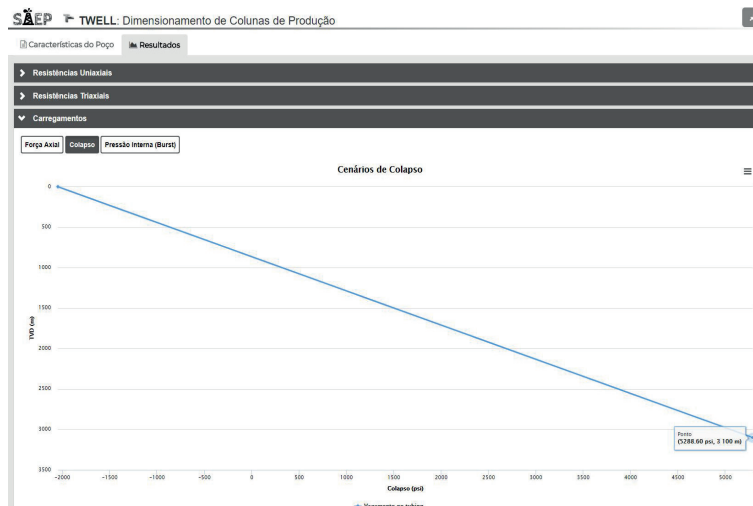
Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Figura 10: Saída para carregamentos uniaxiais de tração/compressão do Tubo 1 no estudo de caso no *Tubing Well* (TWELL)



Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Figura 11: Saída para carregamentos uniaxiais/biaxiais de colapso do Tubo 1 e do Tubo 2 no estudo de caso no *Tubing Well* (TWELL)

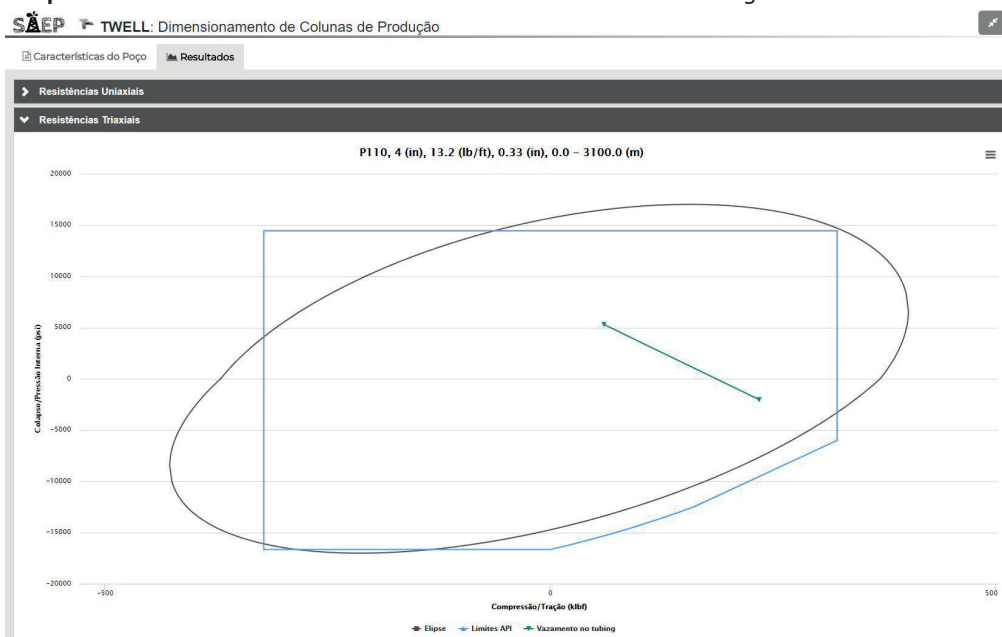


Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

Tabela 4: Resultados resistências uniaxiais/biaxiais do estudo de caso

| Resistências uniaxiais/biaxiais | Tubo 1 | Tubo 2 |
|--|----------|----------|
| Resistência à Tração (em klbf) | 214,36 | 418,53 |
| Resistência à Pressão Interna (em psi) | 7910,00 | 15881,25 |
| Resistência ao Colapso (em psi) | 6586,92 | 16652,62 |
| Resistência ao Pull-out/Jump-out da Conexão (em klbf) | 214,36 | 418,53 |
| Resistência à Pressão Interna de Escoamento da Luva (em psi) | 15904,80 | 21869,10 |
| Resistência à Pressão Interna de Vazamento da Conexão (em psi) | 68998,67 | 68998,67 |

Fonte: Vitorino (2018).

Figura 12: Saída para resistências triaxiais do Tubo 2 no estudo de caso no *Tubing Well*

Fonte: *printscreen* de tela; acervo dos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O benefício de desenvolvimento da ferramenta TWELL já alcança o meio educacional e, potencialmente, pode se estender à indústria. Com sua completa implementação, o TWELL poderá servir de base para desenvolvimento de novos projetos voltados para o setor de petróleo e gás e possíveis futuras prestações de serviços tecnológicos para empresas.

Os alunos podem ter acesso ao sistema TWELL em sala de aula ou em qualquer ambiente externo, podendo inclusive ter acesso a partir de *smartphones*, o que torna a ferramenta extremamente versátil para uso acadêmico.

No atual estágio de desenvolvimento do TWELL a ferramenta já consegue realizar seu objetivo principal, o qual se baseia na criação de um aplicativo *web* capaz de avaliar a integridade estrutural de componentes da coluna de produção, por meio da caracterização das forças atuantes e da análise da resistência mecânica. Tal investigação permite garantir a estabilidade global do sistema, considerando aspectos determinísticos causados pelo meio em que se aplica o objeto de estudo.

Dessa maneira, é notório que o desenvolvimento do TWELL pode trazer reflexos positivos à indústria e ao meio acadêmico, através de um processo de certificação de dados e capacitação de pessoal. Por sua vez, isso traz

benefícios socioambientais devido à garantia de projetos robustos que auxiliem na segurança das estruturas, gerando economia ao passo que se evita desastres que podem afetar o meio ambiente.

REFERÊNCIAS

AADNØY, B. S. **Modern well design**. Londres: CRC Press/Balkema, 2010.

ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 2017. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/images/publicacoes/anuario-estatistico/2017/anuariofn_g2017> Acesso em: 10 jan. 2019.

ANSI/API TR 5C3. **Technical Report on Equations and Calculations for Casing, Tubing, and Line Pipe Used as Casing or Tubing; And Performance Properties Tables for Casing and Tubing**. Washington, 2008.

API SPEC 5B. **Specification for Threading, Gauging and Thread Inspection of Casing, Tubing, and Line Pipe Threads**. Washington, 2008.

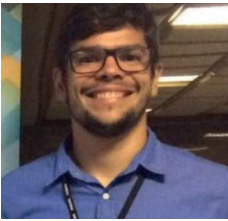
API SPEC 5CT. **Specification for Casing and Tubing**. Washington, 2006.

BELLARBY, J. **Well Completion Design**. Oxford: Elsevier B.V, 2009.

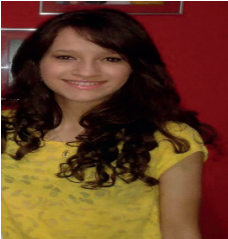
BOURGOYNE, A. T. et al. **Applied Drilling Engineering**. Richardson:

- Society of Petroleum Engineers, v. 2, 1991. BP. **BP Energy Outlook Energy 2017**. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/energy-outlook-2017/bp-energy-outlook-2017.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- COSTA, J. C. H. **Sistema de Aplicações de Engenharia de Petróleo (SAEP): Módulo Poço**. 2016. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.
- COSTA, J. C. H. et al. **Sistema de Aplicações de Engenharia de Petróleo - SAEP**. 2018. Disponível em: <<http://saep.pythonanywhere.com>>. Acesso em: 10 jan. 2019.
- DEKKER, M. et al. Energizing Worldwide Oil and Gas Deepwater Developments. In: **Offshore Technology Conference**. Houston: Offshore Technology Conference This, 2016.
- JELLISON, M.; SWEET, R.; KLEMENTICH, E. Tubing String Design for a 35,000-ft Extended-Reach Well. In: **Offshore Technology Conference**. Houston: Offshore Technology Conference, 1989.
- JFE Steel Corporation. **Produtos Tubulares Petrolíferos (OCTG)**. Tóquio: JFE Steel Corporation, 2014.
- LIU, Z. et al. The Radial Approach to Safety Factors for Tubular Design. In: **SPE Annual Technical Conference and Exhibition**. Dubai: Society of Petroleum Engineers, 2016.
- MARTINS, F. B. D. A. R.; RAMOS, A. S. M. Inovações tecnológicas no ensino: Utilizando a tecnologia para acessar, armazenar, manipular e analisar informações. **Anais... XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE)**. Porto Alegre: ABENGE, 2001.
- MENDES FILHO, L. A. M. et al. Inovações tecnológicas no ensino: contribuições teóricas. **Anais... XXIX Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia (COBENGE)**. Porto Alegre: ABENGE, 2001.
- PARANHOS SOBRINHO, E. D. S. **Desenvolvimento de aplicações de sistemas oceânicos para descrever o comportamento de ondas marinhas baseado em interface web**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Petróleo) – Colegiado do Curso de Engenharia de Petróleo da Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, 2016.
- PERRIN, D. **Well Completion and Servicing**. Paris: Éditions Technip and Institut français du pétrole, 1999.
- PINHEIRO, R. S. et al. Well Construction Challenges in the Pre-Salt Development Projects. In: **Offshore Technology Conference**. Houston: Offshore Technology Conference, 2015.
- RAHMAN, S. S.; CHILINGARIAN, G. V. **Casing design: Theory and practice**. Amsterdam: Elsevier Science B. V, 1995.
- RENPU, W. **Advanced Well Completion Engineering**. Waltham: Petroleum Industry Press & Elsevier Inc, 2011.
- ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. **Projetos de Poços de Petróleo: geopressões e assentamento de colunas de revestimentos**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2009.
- SILVA, L. D. **ENGESYS - Sistema de Suporte à Inserção de Engenheiros no Mercado de Trabalho**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense, 2017.
- THOMAS, J. E. et al. **Fundamentos de Engenharia do Petróleo**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2001.
- VITOR SILVA, T. **Desenvolvimento de sistema para análise de casos de carregamento em colunas de perfuração baseado em interface web**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal de Alagoas, 2017.
- VITORINO, A. F. R. A. **Desenvolvimento de software com interface web para avaliação de projetos de coluna de produção para poços de petróleo e gás natural**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia de Petróleo) – Universidade Federal de Alagoas, 2018.

DADOS BIOGRÁFICOS DOS AUTORES



André Felipe Reis de Araújo Vitorino – Engenheiro de Petróleo formado pela Universidade Federal de Alagoas. Tem experiência profissional na área de Engenharia de Petróleo, com ênfase em engenharia de poço, instrumentação e controle.



Maria Clara Almeida Souza – discente do curso de Engenharia de Petróleo pela Universidade Federal de Alagoas e bolsista do Laboratório de Computação Científica e Visualização LCCV/UFAL.



João Paulo Lima Santos – possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (2005), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2008) e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2011). Atuou como Pesquisador no Instituto Nacional da Propriedade Industrial (2009-2011). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal de Alagoas e Pesquisador do LCCV/UFAL. Tem experiência na área de Engenharia Civil, com ênfase em Engenharia de Petróleo, atuando principalmente nos seguintes temas: engenharia de poço, métodos numéricos e propriedade industrial.



Lucas Pereira de Gouveia – possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas (2012), mestrado pelo Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Alagoas na área de concentração Estruturas (2014). Atualmente é Professor Assistente, lotado no Centro de Tecnologia, da Universidade Federal de Alagoas. É pesquisador do Laboratório de Computação Científica e Visualização (LCCV/UFAL). Possui experiência com aplicações de Confiabilidade Estrutural em revestimentos de poços de petróleo e com métodos numéricos de simulação (FEM e DEM).