

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:

Aplicação Da Geomecânica Na Prevenção Da Produção De Areia

AUTORES:

Arthur Silva De Resende¹; Felipe Ferreira Cruz¹; Lucas Do Vale Sampaio¹; Felipe Abreu de Jesus²; Cláudio Borba³.

INSTITUIÇÃO:

E-mail: abreu_engenharia@hotmail.com, ¹Graduação em Engenharia de Petróleo, Universidade Tiradentes, UNIT, ²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química (PEQ), Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET), Universidade Federal de Sergipe (UFS), ³PETROBRAS

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.

Aplicação Da Geomecânica Na Prevenção Da Produção De Areia

Abstract

The present work aims at the applicability of geomechanics in the prediction of sand production, using the mechanical properties of rocks, it is possible to predict the deformation, compression, fracture, collapse and faults of rock formations contained in the reservoir. When a well begins its production some variables can contribute to the occurrence of sand release and be produced in conjunction with the oil, the state of tension of the rock grains and even production flow can carry the sand. Currently there are several techniques for the containment of sand production, but we can describe other techniques to prevent this problem. In the case study, some techniques were applied, such as a test shipped using wet sandstone and non- consolidated, fragile and strongly consolidated, the study of later cases were done evaluation applications through profiles provided by ascii files with the help of Excel, determining Properties of the formations through the gamma ray profiles, density profile,

effective porosity, flag, UCS, internal friction angle, cohesion, tensile strength, Sanding Window estimation, Willson estimation and drawdown. In the utilization of the mechanical properties of the rocks, it is possible to estimate how much each well will have a prediction of the sand production, the methods used showed how important is the cohesion of the grains, ie their compaction, tensile strength and drawdown, determining the Maximum flow rate of each of the wells due to the pressure drop around the well and can produce sand in case of a difference between these two pressures.

Keywords: Sand production, Mechanical properties, sandstone, UCS.

Introdução

Ao decorrer do processo de exploração e produção do petróleo, diversos problemas podem ser encontrados, sendo um deles o desprendimento de areia da rocha-reservatório. A areia produzida é proveniente das formações geológicas dos reservatórios e, durante a produção do petróleo, desprende-se das rochas e mistura-se aos fluidos do reservatório, trazendo alguns danos.

Atualmente, já existem diversas técnicas que auxiliam na contenção da areia produzida e que ajudam a minimizar este problema, porém essas técnicas às vezes não são totalmente eficientes e o poço acaba por produzir uma quantidade considerável de areia junto com o petróleo proveniente do reservatório, prejudicando o rendimento do vaso separador, por vezes causando a parada da produção devido à grande quantidade produzida e causando desgaste dos equipamentos de superfície e da parede dos tubos (MILLEN, 2010).

Uma alternativa para prevenir a produção de areia é a utilização dos conhecimentos da Geomecânica e Mecânica das Rochas. A Geomecânica é o ramo da ciência que estuda o comportamento mecânico de todos os materiais geológicos, solos e rochas e suas reações aos campos de força que se manifestam sobre o respectivo ambiente físico. Já a Mecânica das Rochas é uma disciplina da Geomecânica que trata das propriedades físicas, hidráulicas e mecânicas das rochas (ROCHA & AZEVEDO, 2009).

A Mecânica das Rochas para petróleo diz respeito à previsão de deformação, compactação, fratura, colapso e falhamento de formações rochosas em reservatórios de petróleo e gás que são causados pela perfuração e produção. A descrição correta e a simulação de fenômenos como fraturamento, colapso e rejeito de falhas, com dados de campo medidos e calibrados são a principal área de estudo realizado no âmbito da Mecânica de Rochas para petróleo (AADNOY & LOOYEH, 2014).

O objetivo do presente trabalho é demonstrar a aplicabilidade da Geomecânica como método de prevenção da produção de areia, diante da necessidade de se minimizar a níveis toleráveis tal limitação encontrada durante o processo de perfuração dos poços e/ou extração de óleo e gás. Para aprofundar o tema, serão comparados dois reservatórios, um com alto e outro com baixo potencial de produção de areia.

Metodologia

Para estimativa da UCS foram utilizadas as equações listadas na Tabela 1. A primeira delas foi a equação de McNally (eq. 01), que relaciona a UCS com o tempo de trânsito da onda (Δt), dado este obtido a partir do perfil sônico. A equação de McNally foi desenvolvida na Bacia de Bowen, Austrália, e pode ser aplicada para arenitos de grãos finos, tanto consolidados quanto não consolidados e serve para qualquer valor de porosidade, de forma que se adéqua às características dos poços estudados. A segunda equação empírica utilizada para obtenção da UCS foi a equação de

Chandong (eq. 27). Esta equação utiliza os valores da porosidade efetiva da rocha, obtidos através da equação 42 e de dados do perfil densidade.

Tabela 1: Relações empíricas entre a resistência a compressão uniaxial (UCS) e outras propriedades físicas no arenito (adaptado de CHANG et al., 2006 e ZOBACK, 2007)

(01)	$1200 \exp(-0,036 \Delta t)$	Bacia de Bowen-Austrália	De grão fino, tanto consolidados como não consolidados para todo range de porosidade	McNally (1987)
(02)	$277 \exp(-10 \phi)$		Com $2 < UCS < 360$ e $0.002 < \phi < 0,33$	Chandong (2004)

Unidades: Δt : $\frac{\mu S}{ft}$; V_p : (m/s); ρ (kg/m³), E: GPa e ϕ : fração. V_{Argila} : fração

Importante salientar que os valores de UCS obtidos nas equações 01 e 02 estão em Mpa. Para utilização no presente trabalho, os valores foram convertidos para psi, conforme equação a seguir:

$$UCS(psi) = UCS(Mpa) * 145 \quad (03)$$

Para estimativa conservadora da UCS, foi adotado um terceiro parâmetro, a UCS MÍNIMA, que é o menor valor da UCS entre McNally e Zoback.

O ângulo de atrito interno das zonas de interesse dos Poços 01 e 02 foi calculado a partir da equação 04.

$$\mu_i = 57,8 - 105 \cdot PHIE \quad (04)$$

Onde: μ_i = ângulo de atrito interno; PHIE= porosidade efetiva

A coesão (S_0) foi obtida através de equação 05, formulada por ZOBACK (2007), que relaciona os valores de UCS mínima (compressão uniaxial), além da tangente do ângulo de atrito interno (μ_i).

$$UCS = 2S_0[(\mu_i^2 + 1)^{1/2} + \mu_i] \quad (1)$$

A resistência à tração (T_0) para os Poços 01 e 02 foi calculada através da equação 06, que correlaciona T_0 com valores de UCS mínima.

$$T_0 = \frac{UCS(psi)}{12} \quad (06)$$

Para estimar a produção de areia através do método de *Sanding Window* (W) para os Poços 01 e 02 foi calculado através da equação 07.

$$Sanding Window = S_0 - T_0 \quad (07)$$

Resultados e Discussão

Relações empíricas entre UCS: McNally, Zoback, Mínima

Para se obter valores confiáveis de UCS através de equações empíricas se faz necessária a correlação entre a resistência da rocha com perfis geofísicos dos poços. A fim de demonstrar que os dados isolados de UCS de McNally ou de Zoback não são confiáveis, pois apresentam grande variação, obteve-se a média de cada um dos métodos citados e os resultados foram apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4.

Tabela 2: Média das correlações de UCS para uma zona do reservatório do Poço 1.

Profundidade (m)	Média	Correlação
956,2 – 962,2	4600	UCS McNally (psi)
956,2 – 962,2	3100	UCS Zoback (psi)
956,2 – 962,2	2300	UCS Mínima (psi)

Tabela 3 : Média das correlações de UCS para todo o reservatório do Poço 1.

Profundidade (m)	Média	Correlação
942,2 – 975,5	1900	UCS McNally (psi)
942,2 – 975,5	1400	UCS Zoback (psi)
942,2 – 975,5	1000	UCS Mínima (psi)

Tabela 4: Média das correlações de UCS para todo o reservatório do Poço 2.

Profundidade (m)	Média	Correlação
1802,8 – 1896	1941,64	UCS McNally (psi)
1802,8 - 1896	1385,46	UCS Zoback (psi)
1802,8 - 1896	1302,78	UCS Mínima (psi)

A maior parte dos valores utilizados na correlação da UCS mínima para o Poço 01 foram extraídos da correlação de McNally, sendo então os maiores valores de UCS os de Zoback. A veracidade desta informação fica evidente com a visualização da figura 1, que mostra a correlação entre as curvas de UCS de McNally e Zoback e o perfil raios gama, para o Poço 01, em que os maiores picos de UCS são os de Zoback.

Já para o Poço 02, a maior parte dos valores utilizados na correlação da UCS mínima foram extraídos da correlação de Zoback, sendo então os maiores valores de UCS os de McNally, conforme figura 2.

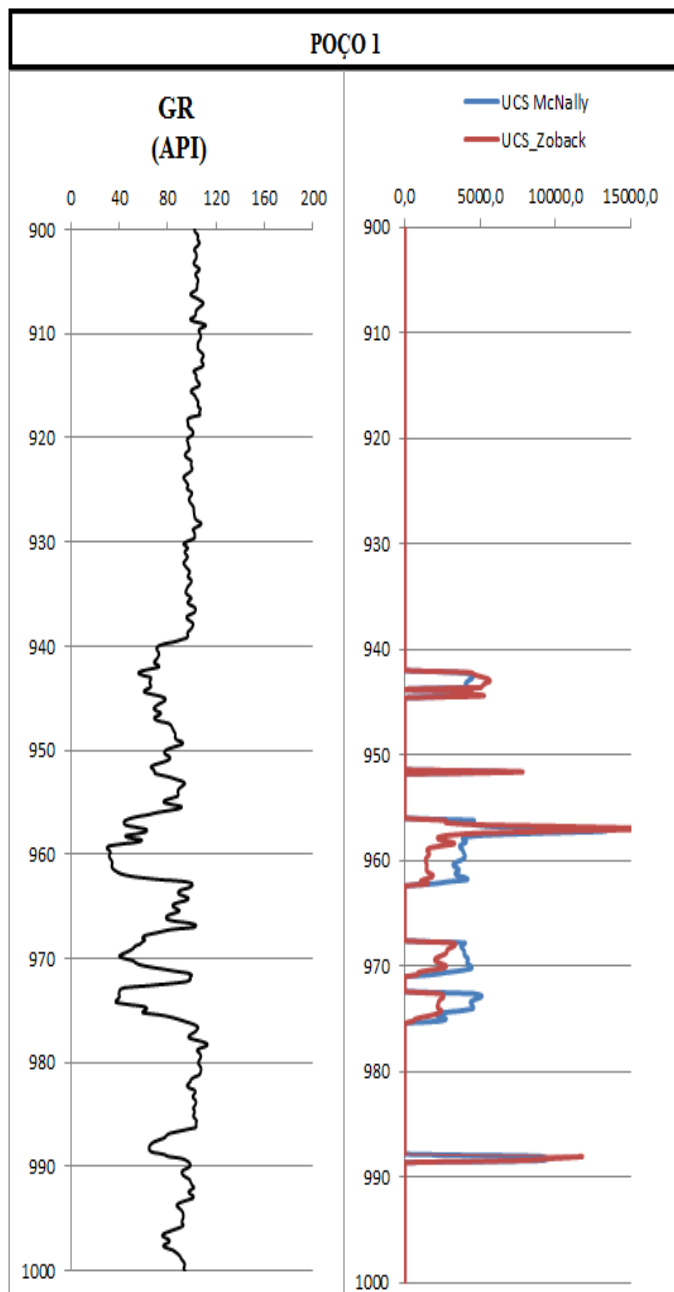


Figura 01: Correlação de UCS de McNally e Zoback em psi e Perfil raios gama do Poço 01

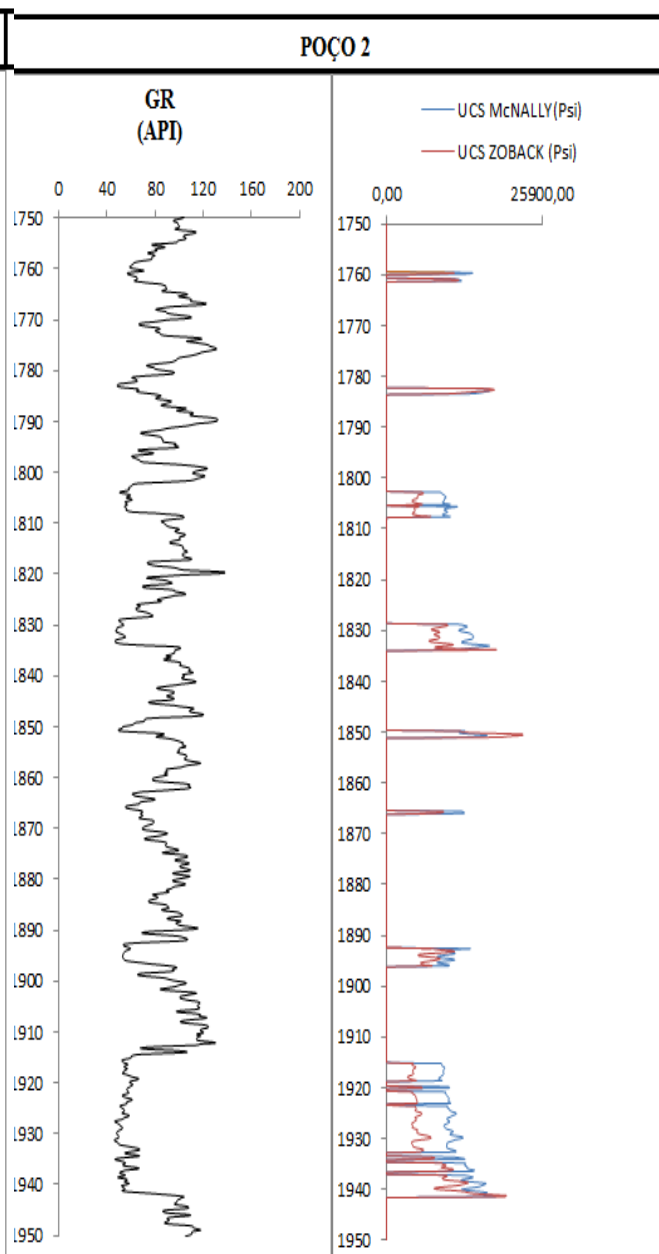


Figura 02: Correlação de UCS de McNally e Zoback em psi e Perfil raios gama do Poço 02.

Determinação do Ângulo de Atrito Interno

A figura 03 mostra os perfis raios gama e de ângulo de atrito interno do Poço 01 (à esquerda) e do Poço 02 (à direita). Comparando os resultados obtidos, os valores dos ângulos de atrito interno do Poço 02 foram mais altos do que os do Poço 01, o que indica que o poço 02 tem uma capacidade para resistir a uma tensão de corte maior que o Poço 01.

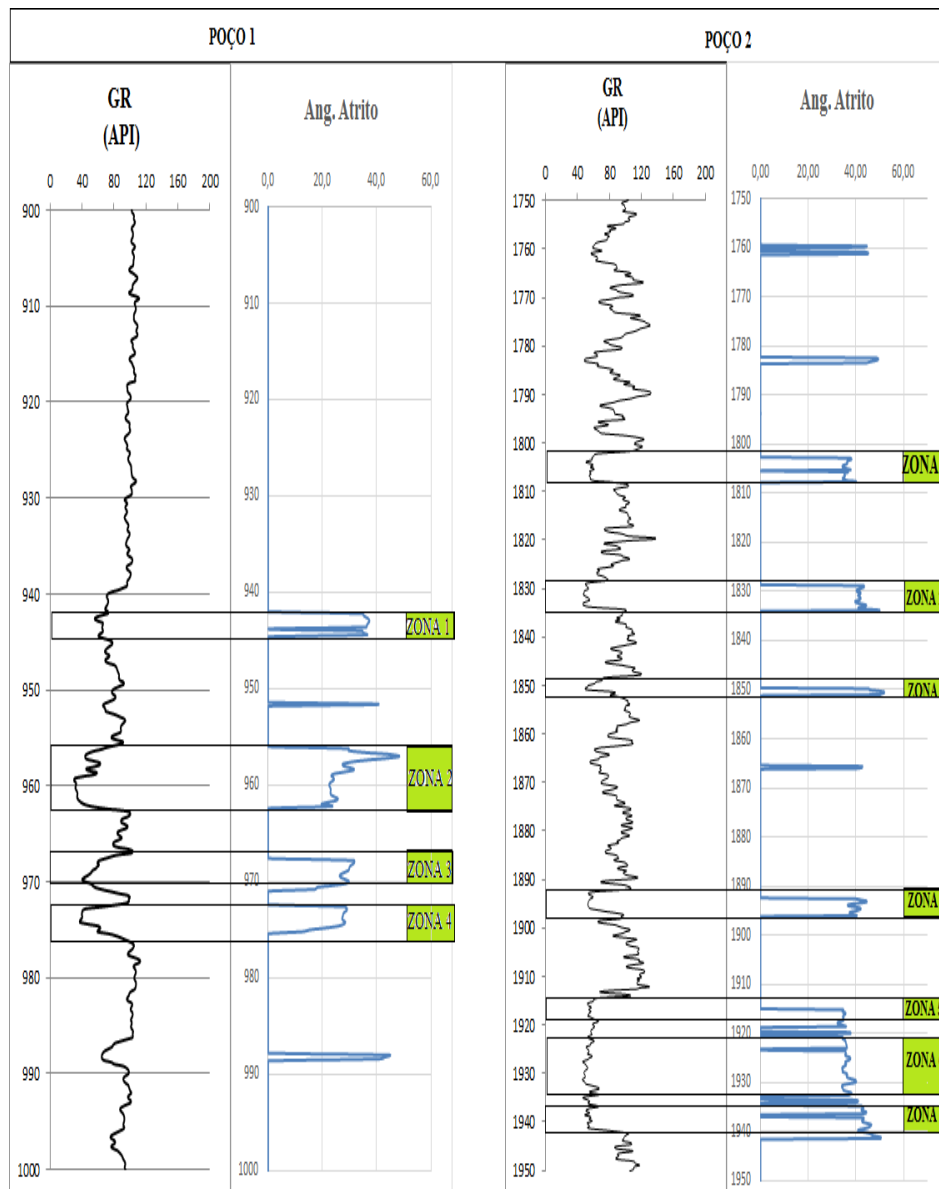


Figura 03: Correlação do Perfil Raios Gama e ângulo de atrito interno dos Poços 01 (à esquerda) e 02 (à direita).

Determinação da Coesão

A análise da coesão em conjunto com o Perfil GR (Figura 04) possibilita a identificação dos trechos em que os arenitos são mais coesos, indicando onde estão as rochas mais fortes, ou seja, os arenitos mais resistentes. No caso do Poço 01, a Zona 02 apresentou os valores mais altos de coesão. Já para o Poço 02, a Zona 07 apresenta o trecho com maiores valores de coesão nas rochas.

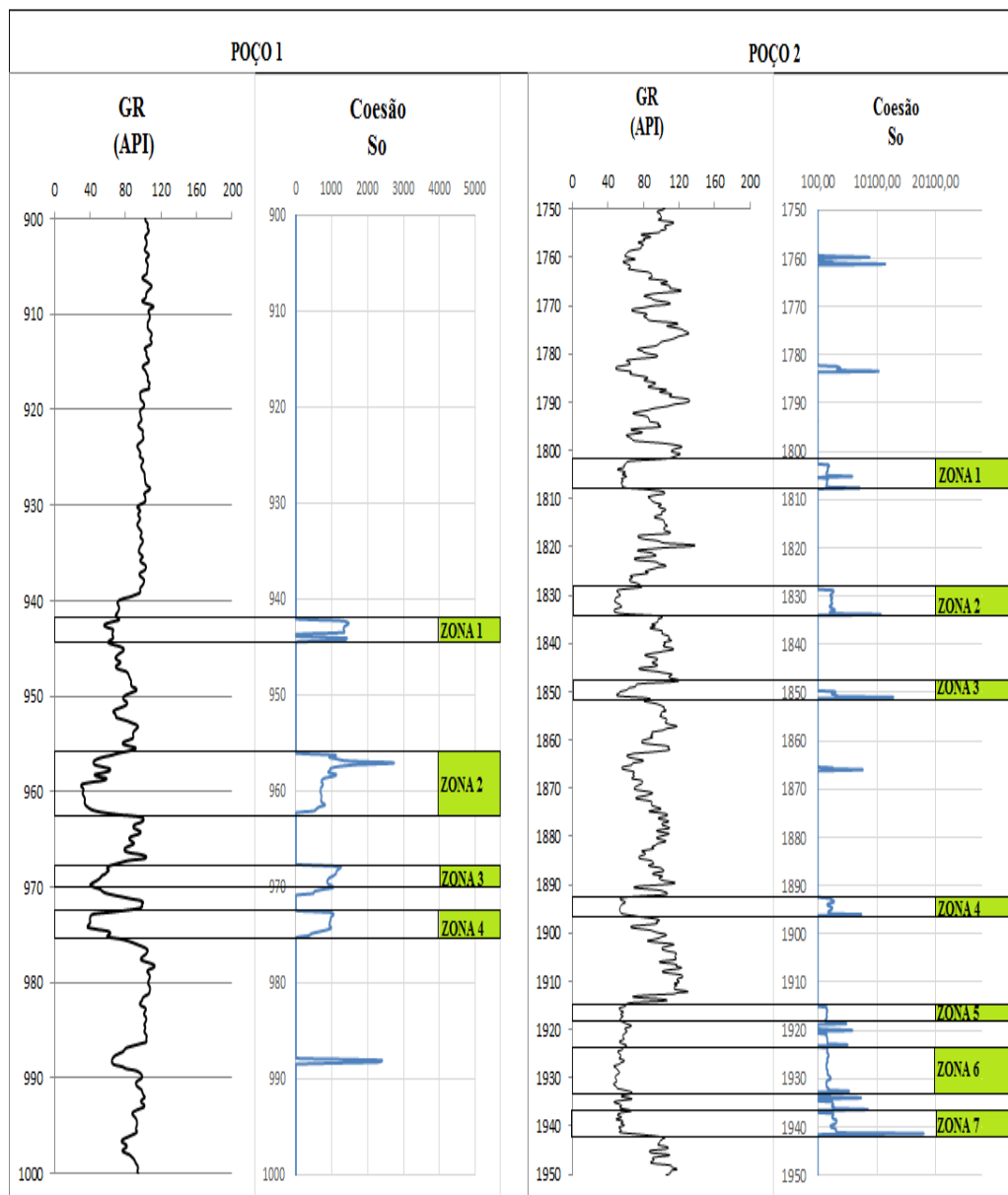


Figura 04: Curvas de Raios gama e de Coesão calculada nos arenitos para o Poço 01 (à esquerda) e Poço 02 (à direita).

Estimativa da produção de areia pelo método de *Sanding Window*

Segundo AL-QAHTNAI et al. (2002), um reservatório é considerado produtor de areia quando a USC é menor que 1000psi ($USC < 1000\text{psi}$) e o *Sanding Window* (W) é menor que 1000psi ($W < 1000\text{psi}$). Quando o *Sanding Window* (W) for maior que 4000psi ($W > 4000\text{psi}$), o reservatório não será produtor de areia.

Os valores médios encontrados de *Sanding Window* para o Poço 01 foi na ordem de 1100psi, mostrando um grande risco de produção de areia no reservatório.

De acordo com este resultado, o Poço 01 apresenta grande risco de produção de areia, o que nos leva a crer que no mesmo deverão ser utilizados equipamentos para que se faça a contenção da areia produzida. A figura 5-A confirma o risco de produção de areia.

Os valores médios encontrados de *Sanding Window* para o Poço 02 foi na ordem de 5804psi, demonstrando um baixo risco de produção de areia no reservatório.

O Poço 02, por ter uma média de W acima de 4000psi, terá pouquíssimas chances de produzir areia. A figura 5-B correlaciona a curva *Sanding Window* para o Poço 02 e o perfil raios gama, de forma a destacar as zonas de interesse.

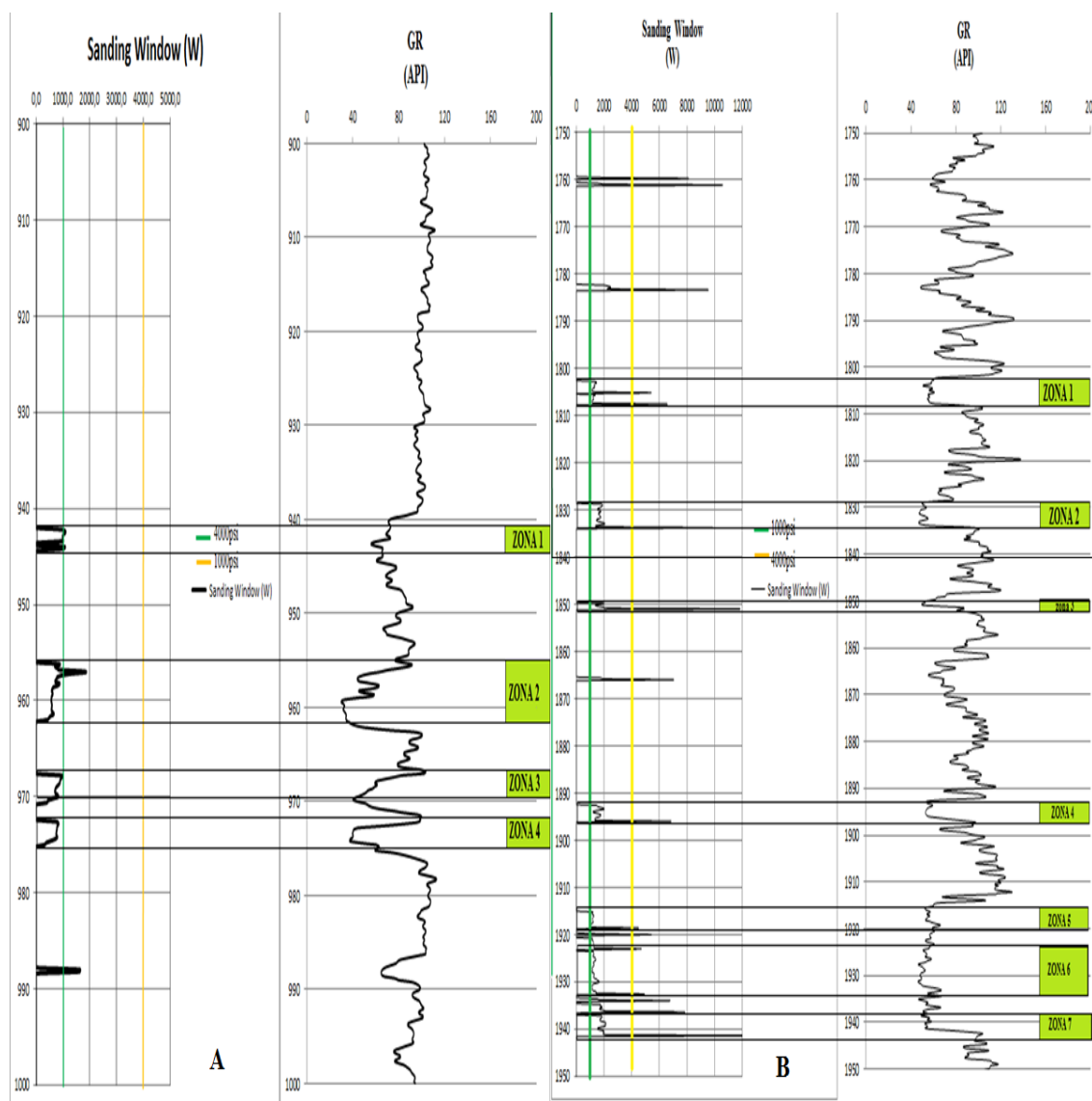


Figura 5: A-Curva de *Sanding Window* em psi em um trecho do Poço 1 onde se encontram os reservatórios. B- Curva de *Sanding Window* em psi em um trecho do Poço 2 onde se encontram os reservatórios

Conclusões

A aplicação da Geomecânica pode ser uma grande aliada na busca de informações prévias sobre os reservatórios de petróleo. O conhecimento sobre geopressões e propriedades mecânicas das rochas, por meio de revisão bibliográfica, e a utilização de perfis eletro- radioativos de poços possibilitam estimar a probabilidade de um reservatório ser produtor de areia, nosso objeto de estudo.

As equações empíricas de ZOBACK e MCNALLY para UCS foram escolhidas devido a sua aplicação para arenitos semelhantes aos encontrados nos reservatórios estudados. A partir delas, determinou-se uma UCS MÍNIMA (a menor entre as duas, para ser conservador), que foi utilizada como parâmetro no desenvolvimento do trabalho. Os valores de UCS são forte indicativo de produção de areia, quando analisado em conjunto com outros fatores.

A UCS MÍNIMA também permite a determinação da RESISTÊNCIA À TRAÇÃO. Esta propriedade, relacionada à coesão, permite a estimativa da produção de areia num poço, através do método de *Sanding Window*. Tal método, que calcula a diferença entre a coesão e a resistência à tração, estabelece critérios para que um reservatório seja considerado produtor de areia ou não.

Os estudos de caso desenvolvidos no presente trabalho permitiram concluir que a aplicação dos conhecimentos da Geomecânica é de grande valia para a indústria petrolífera, especialmente no processo de exploração e produção de petróleo, pois possibilita o conhecimento das propriedades das rochas e a previsão do falhamento das formações rochosas, e mais especificamente informações sobre a probabilidade de produção de areia.

Referências Bibliográficas

AADNOY, Bernt; LOOYEH, Reza. Mecânica de rochas aplicadas: perfuração e projeto de poços. 1. ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2014.

AL-QAHTANI, M. Y.; RAHIM, Z.; BITERGE, M.; SAFDAR, M.; AL-ADANI, N.; RAMSEY, L. Development and Application of Improved Reservoir Characterization for Optimizing Screenless Fracturing in the Gas Condensate Jauf Reservoir, Saudi Arabia. Society of Petroleum Engineers Inc, 2002.

CHANG, C.; ZOBACK, M.; KHAKSAR, D. Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks. Department of Geophysics, Stanford University, Palo Alto, USA, 2006.

MILLEN, A. de C. Estudo Técnico para Limpeza da Areia de Produção e Descarte no Mar. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Petróleo) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

ROCHA, L. A. S.; AZEVEDO, C. T. Projetos de poços de petróleo: Geopressões e Assentamento de Colunas de Revestimentos. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Interciência, 2009.

ZOBACK, M.D. Reservoir Geomechanics. University Cambridge, New York: Cambridge, 2007.