

## ESTUDO COMPARATIVO ASSOCIADO AO FECHAMENTO DE POÇOS VERTICAIS COM INTERCALAÇÕES DE ROCHAS SALINAS

Bruna Layz Barbosa Santos; Ricardo Albuquerque Fernandes; Catarina Nogueira de Araújo Fernandes; Eduardo Nobre Lages

(Laboratório de Computação Científica e Visualização, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas)

**Resumo:** Este trabalho tem como objetivo estudar o erro associado à resposta do fechamento de poços verticais com intercalações de rochas salinas por meio de um modelo axissimétrico unidimensional (1D). Utilizam-se modelos mecânicos viscoelásticos para análise do problema de fechamento, baseado na formulação em deslocamento do Método dos Elementos Finitos. Análises bidimensionais axissimétricas do maciço são realizadas utilizando o software ABAQUS, tomadas como referência para o estudo proposto. O modelo 1D é utilizado para analisar determinadas profundidades de interesse, possuindo grande eficiência computacional por não considerar todo domínio do maciço. No entanto, tal abordagem está sujeita a erros elevados quando a profundidade de interesse está localizada na vizinhança de intercalações, que são mudanças de litologia ao longo da direção vertical do modelo. Esses erros ocorrem devido ao movimento relativo axial de uma litologia em relação à outra, visto que cada litologia possui comportamento viscoelástico distinto. Dessa forma, rochas salinas com o comportamentos viscosos mais distintos podem gerar uma região de influência ao se analisar o fechamento do poço. Essa região depende de fatores físicos diversos associados ao problema, a exemplo da espessura da litologia considerada. Dessa forma, apresenta-se um estudo da variação de erros associados à mudança na espessura da intercalação.

**Palavras-chave:** Modelo Numérico, Rochas Salinas, Fechamento de Poços.

### Introdução

Rochas salinas são rochas sedimentares da classe dos evaporitos, isto é, são rochas formadas pela deposição e cristalização de minerais precipitados pela evaporação da água salgada. Segundo Mohriak et al. (2008), os evaporitos são materiais diferentes das outras rochas, pois possuem características de rochas e de líquidos, dessa forma, eles não são propriamente rochas – são solúveis, vieram de líquidos e retornam assim que possível. Os evaporitos são, portanto, rochas temporárias ou móveis – movimentam-se com muita facilidade.

Segundo Fjar et al. (2008), as rochas salinas apresentam o fenômeno da fluência – deformação lenta e progressiva dependente do tempo, que pode ocorrer em materiais submetidos à tensão constante. No sal, esse fenômeno pode ser observado mesmo sob baixos níveis de tensão. Esse comportamento torna a perfuração de áreas onde há formações salinas um grande desafio, pois a deformação acumulada em um certo intervalo de tempo pode ocasionar o fechamento do poço, causando problemas operacionais como o aprisionamento da coluna de perfuração (ver Figura 1).

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

[www.conepetro.com.br](http://www.conepetro.com.br)



Figura 1: Esquemática da prisão da coluna de perfuração.

Para evitar esses problemas, é necessário modelar o comportamento dessas rochas durante a perfuração. Os modelos numéricos mais complexos, que consideram todo o maciço, são elaborados a partir da previsão da formação a ser perfurada. Porém, não é possível ter a certeza da realidade em subsuperfície e, em muitos casos, essa previsão é falha. Dessa forma, torna-se comum durante a perfuração a descoberta de litologias e espessuras que não foram previstas.

Assim, faz-se necessário definir novas estratégias de perfuração, o que, devido ao curto tempo de operação, pode inviabilizar a execução de novas simulações. Segundo Araújo (2009), é de suma importância a disponibilidade de um modelo alternativo, representativo do problema, para que seja possível gerar respostas rápidas que sejam imprescindíveis em um momento de tomada de decisão. Neste contexto, no trabalho em pauta estuda-se o erro associado à reposita do fechamento do poço vertical oriunda de um modelo axissimétrico unidimensional, apresentado por Araújo (2009), verificando-se a influência da espessura da intercalação no erro cometido por esse modelo.

## Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho pode ser dividida em três etapas conforme apresentada na Figura 2. A primeira etapa refere-se à escolha dos cenários que serão estudados. Para tanto, faz-se necessário definir algumas variáveis como profundidade, espessura e as propriedades físicas e mecânicas das camadas. O cenário adotado é descrito pelo primeiro estudo de caso do artigo de Costa et al. (2010), no qual é simulada uma camada de 5 metros de taquidrita em um trecho de mais de

1000 metros de halita. Neste trabalho, considera-se apenas um trecho de 50 metros de halita e a espessura da intercalação de taquidrita variando entre 2 e 20 metros.

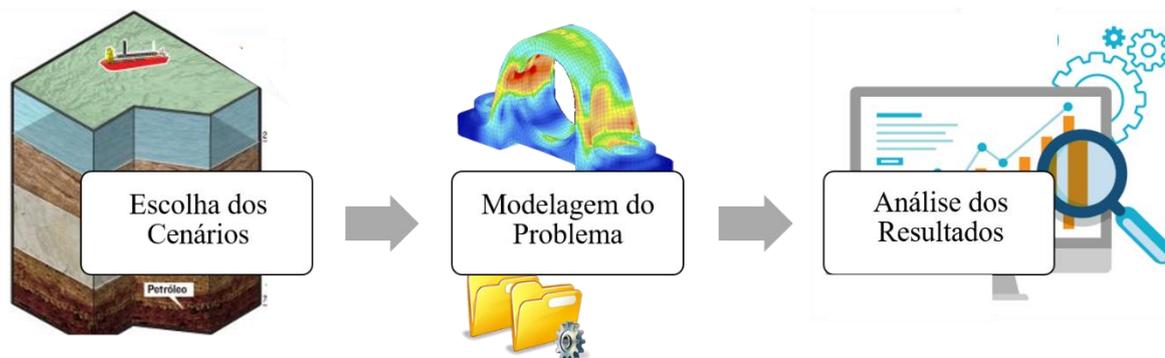


Figura 2: Metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho.

A segunda etapa está relacionada à modelagem numérica do problema tanto para o cenário completo utilizando o software ABAQUS (SMITH, 2009) quanto para as cotas de interesse utilizando o modelo 1D. No ABAQUS, esse problema é considerado axissimétrico – particularização do estado plano de deformações em coordenadas cilíndricas, no qual existe um eixo (eixo z) de simetria axial do corpo – e escolhem-se elementos quadráticos de oito nós para discretização espacial do domínio. No modelo 1D, o domínio se resume a uma cota de interesse com espessura desprezível e a discretização é feita apenas na direção radial utilizando elementos unidimensionais quadráticos com três nós.

A última etapa corresponde à análise dos resultados. Após a modelagem e simulação do problema, geram-se arquivos com os dados do fechamento do poço ao longo da profundidade (ABAQUS) ou na cota de interesse (modelo 1D). Com esses dados, elaboram-se gráficos para interpretação dos resultados obtidos.

## Resultados e Discussão

Para analisar o resultado obtido pelo modelo 1D, define-se o cenário conforme apresentado na Figura 3(a). Neste problema, a camada de estudo é uma região da camada de sal, possuindo uma espessura fixa total de 2000 mil metros. A rocha considerada é a halita com intercalação de taquidrita. Com intuito de simplificar o problema, seleciona-se um trecho menor da camada de estudo – espessura total de 50 metros com a intercalação variando entre 2 e 20 metros (ver Figura 3(b)).

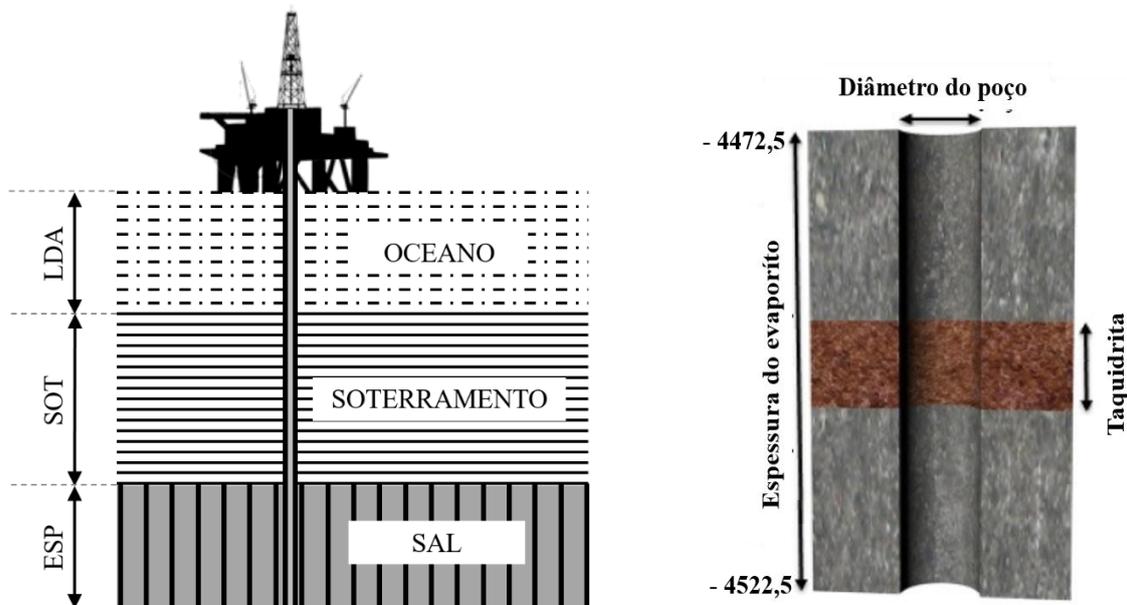


Figura 3: Definição do cenário de estudo: a) descrição física; b) detalhe do trecho de sal.

Para a modelagem do problema em estudo é necessário definir alguns parâmetros referentes às propriedades das rochas, que são utilizados para caracterizar a fluência por meio da lei constitutiva baseada no mecanismo duplo de deformação. O detalhamento desta lei pode ser encontrado em Mohriak et al. (2008). A Tabela 1 apresenta as propriedades supracitadas e seus respectivos valores.

Tabela 1: Propriedades das rochas salinas utilizadas.

| Parâmetros                   | Halita                    | Taquidrita                |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Módulo de elasticidade       | 20400 MPa                 | 4920 MPa                  |
| Coefficiente de Poisson      | 0,36                      | 0,33                      |
| Taxa de deformação viscosa   | $1,671 \cdot 10^{-6}$ 1/h | $1,844 \cdot 10^{-4}$ 1/h |
| Tensão efetiva de referência | 9,762 MPa                 | 7,865 MPa                 |
| Temperatura de referência    | 86°C                      | 86°C                      |

Além disso, têm-se a densidade do fluido de perfuração, adotando o valor de 13 lb/gal, a tensão geostática e a temperatura da camada. Os dois últimos, são obtidos por interpolação numérica com os valores do topo e da base da camada de sal. Todos os valores utilizados, na Tabela 1, bem como os descritos neste parágrafo, foram retirados de Poiate Junior et al. (2006) e Costa et al. (2010).

Como dito anteriormente, a espessura da intercalação sofre variações, assumindo os seguintes valores discretos: 2, 5, 10, 15 e 20 metros.

Dessa forma, são realizadas quatro simulações no ABAQUS, uma para cada espessura. A cota central da intercalação (-4497,5 m) é definida como a cota de interesse, na qual é analisado o fechamento do poço em ambos os modelos para verificar a convergência das respostas e se existe influência da espessura da intercalação no resultado.

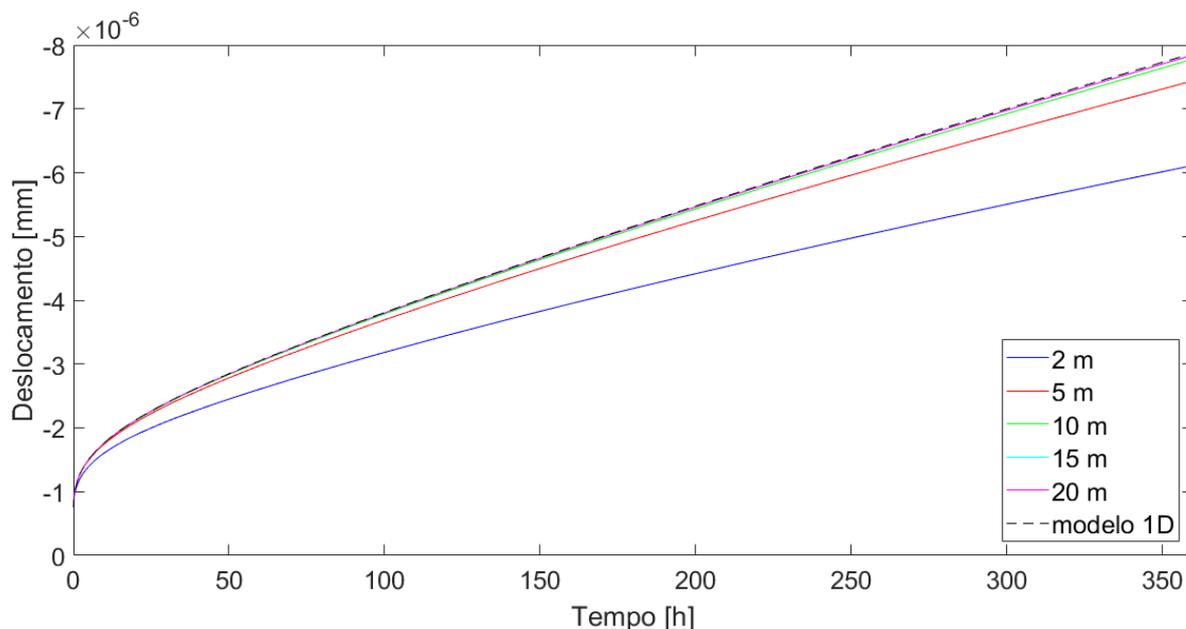


Figura 4: Fechamento do poço na cota central da intercalação de taquidrita para os valores discretos de espessura de intercalação considerados.

Tabela 2: Erro relativo associado a cada espessura considerada.

| Espessura | Erro relativo em |          |          |
|-----------|------------------|----------|----------|
|           | 0 h              | 180 h    | 360 h    |
| 2 m       | 0,7198%          | 23,2315% | 28,7572% |
| 5 m       | 0,1856%          | 4,1214%  | 5,8161%  |
| 10 m      | 0,0381%          | 0,7867%  | 1,1787%  |
| 15 m      | 0,0096%          | 0,2702%  | 0,3858%  |
| 20 m      | 0,0406%          | 0,2312%  | 0,3604%  |

O gráfico mostrado na Figura 4 representa o deslocamento do poço na cota central da intercalação com o decorrer do tempo para os quatro modelos do ABAQUS e para o modelo unidimensional. Analisando o resultado, observa-se que quanto maior a espessura da intercalação, melhor é o resultado proveniente do modelo 1D, pois há uma redução na variação dos deslocamento (fechamento do poço).

Para um melhor entendimento, calcula-se os erros relativos apresentados por cada modelo (Tabela 2) para três tempos específicos. Nesta tabela, observa-se que conforme aumenta-se a

espessura da intercalação há uma redução dos erros, ou seja, a solução modelo 1D converge para a solução de referência. Esses resultados são esperados, uma vez que quanto mais espessa é a camada em estudo, menor é a interferência das camadas vizinhas no deslocamento de seu ponto médio.

## Conclusões

Este trabalho apresentou um estudo do erro do resultado de fechamento de poço verticais com intercalações de rochas salinas utilizando um modelo 1D. Como discutido anteriormente, é de suma importância a existência de modelos como esse para que seja possível prever o comportamento de uma situação não prevista na fase de projeto. A previsão em tempos menores motiva a utilização do mesmo.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que o modelo unidimensional apresentou bons resultados para estimativa do comportamento de camadas com espessura acima de 10 metros. Para os trechos de taquidrita de 2 e 5 metros porém, obtiveram-se erros maiores que 25 e 5%, respectivamente.

A continuidade deste trabalho prevê a consideração de novos cenários e trechos mais espessos de sal, objetivando uma melhor perspectiva do contexto em que o modelo unidimensional pode ser considerado levando a erros aceitáveis.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq e à PETROBRAS pelo apoio financeiro.

## Referências

ARAÚJO, C. N. *Um Modelo Simplificado para a Simulação do Comportamento Viscoso de Rochas Salinas para a Previsão do Fechamento de Poços*. 2009. 72p. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil)–Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Alagoas.

COSTA, A. M.; POIATE, E.; AMARAL, C. S.; PEREIRA, A.; MARTHA, L. F.; GATTASS, M.; ROEHL, D. **Geomechanics Applied to the Well Design through Salt Layers in Brazil: A History of Success**. Berlin: Springer Berlin Heidelberg, 2010.

FJAR, E. et al. **Petroleum related rock mechanics**. 2 ed. New York: Elsevier, 2008.

MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S. M. C. **SAL: Geologia e Tectônica**. São Paulo: Editora Beca. 2008.

POIATE JR, E.; COSTA, A. M.; FALCAO JOSE, L. Well Design for Drilling Through Thick Evaporite Layers in Santos Basin – Brazil. IADC/SPE Drilling Conference held. 2006. Miami, Florida, U.S.A.

SMITH, M. ABAQUS/Standard User's Manual, Version 6.9. Simulia. 2009