

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:

Metodologia Generalizada para Estimativas do Comportamento de Problemas de Engenharia
Utilizando Interpolação Multivariável

AUTORES:

Bruna L. B. Santos, Catarina N. A. Fernandes, Ricardo A. Fernandes, William W. M. Lira

INSTITUIÇÃO:

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

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.

METODOLOGIA GENERALIZADA PARA ESTIMATIVAS DO COMPORTAMENTO DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA UTILIZANDO INTERPOLAÇÃO MULTIVARIÁVEL

Abstract

This work presents the development of a generalized methodology for estimating the behavior of engineering problems using multivariable interpolation. The technological advance intensifies the search for numerical methods solve increasingly complex problems. However, depending on the problem complexity, numerical solutions can lead to a high computational cost, requiring long times to perform robust analysis. The need for faster or even immediate answers justifies the search for tools that can quickly estimate the solution of these problems. Thus, the proposed development allows, from certain known configurations, polynomial interpolating surfaces to be generated, making it possible to make rapid estimates for new configurations not originally considered. Application are presented and discussed.

Introdução

Com o avanço tecnológico, existe uma demanda crescente na utilização de simulações numéricas em diversas áreas do conhecimento científico. O aumento no poder de processamento e capacidade de armazenamento das máquinas atuais faz com que essas simulações sejam utilizadas para resolver problemas com alto grau de complexidade. A simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação (Pegden et. al., 1995). Porém, dependendo da complexidade envolvida, dificuldades podem ser encontradas durante a simulação, como, por exemplo, a necessidade de um tempo maior para se executar modelagens mais robustas.

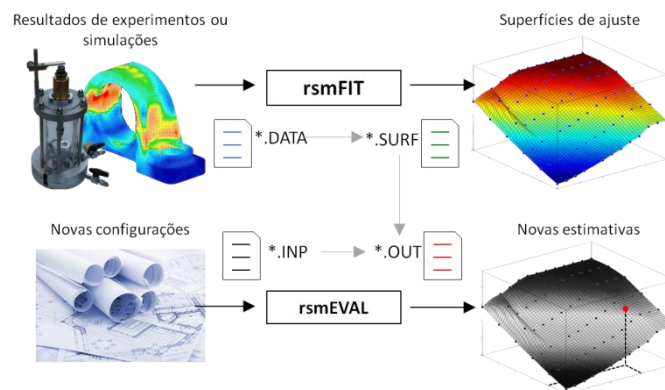
Para contornar essas dificuldades, é proposta uma estratégia alternativa, denominada superfície de respostas (RSM), em que, a partir de um banco, de dados, obtido através de experimentos numéricos ou físicos, são geradas superfícies que interpolam (ou ajustam) os resultados por meio de funções matemáticas (Lenth, 2009). Araújo et. al. (2011) descreveu a eficiência de uma estratégia similar aplicada a um problema de vigas. No entanto, é possível generalizar a estratégia proposta para se obter, instantaneamente, estimativas do comportamento de diversos tipos de problemas e/ou experimentos para novas configurações não simuladas. Com isso, pretende-se reduzir o tempo e o custo computacional para obtenção dessas respostas, fornecendo estimativas precisas do comportamento do experimento para tais configurações.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho é dividida em 3 etapas, conforme pode ser visto na Fig. 1. A primeira etapa refere-se à leitura do arquivo de entrada de dados .DATA coletados por meio de experimentos ou simulações numéricas. Esse arquivo possui os nomes das variáveis e dos resultados, as configurações das variáveis associadas aos seus respectivos resultados e o formato do polinômio desejado para realizar a interpolação ou ajuste (grau das variáveis). A segunda etapa está relacionada com a geração das superfícies polinomiais (rsmFIT). Neste trabalho, adota-se o formato polinomial, mas a inserção de superfícies com outros formatos pode ser realizada sem dificuldades. Durante a execução da segunda etapa, existe uma verificação para determinar se será realizada uma interpolação, usando a matriz de Vandermonde (Horn & Johnson, 2012), ou um ajuste, usando o método dos mínimos quadrados (Björck, 1996).

Após a geração das superfícies polinomiais, escreve-se um arquivo .SURF representativo das superfícies, com informações necessárias para avaliar novas configurações (valores limites e expoentes das variáveis, e coeficientes das superfícies polinomiais). A última etapa corresponde à avaliação de novas configurações com as superfícies geradas (rsmEVAL). Para isso utiliza-se do arquivo .SURF (gerado na etapa 2) e de um arquivo .INP que carrega as novas configurações das variáveis. Após a avaliação das novas configurações, escreve-se um arquivo de saída .OUT, com estimativas de respostas dessas configurações. As extensões dos arquivos de dados são mostradas na Fig. 1. Todos os desenvolvimentos computacionais são realizados utilizando a linguagem de programação C++ e o paradigma da programação orientada a objetos (Ellis & Stroustrup, 1993).

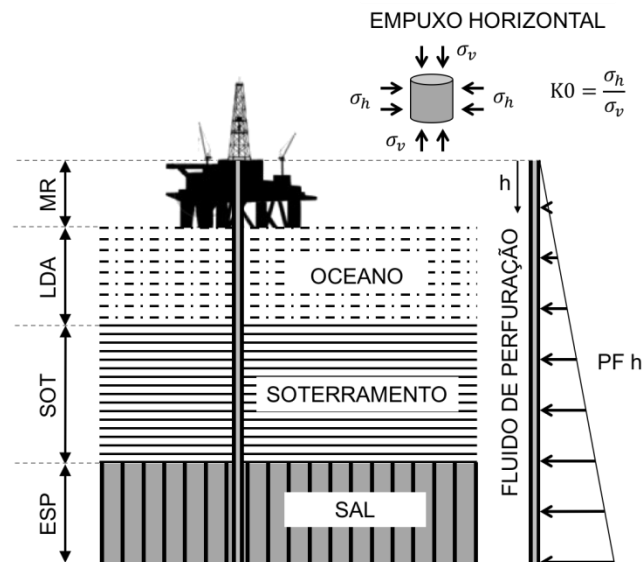
Figura 1: Metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho.



Resultados e Discussão

Para verificação e validação da metodologia proposta, são utilizados dois estudos de caso. O primeiro problema, como mostra a Fig. 2, trata da perfuração de poços verticais em rochas salinas e busca prever o tempo de fechamento do poço após a perfuração para evitar problemas operacionais. Um grande desafio na perfuração de áreas onde há formações salinas deve-se ao comportamento especial das estruturas salíferas, quando comparada a outros geomateriais (Costa et. al., 2011). Essas rochas apresentam o fenômeno de fluência - tendência de se deformar sob altos níveis de tensão desviatória e elevadas condições de temperatura - o que acelera o fechamento do poço, podendo provocar problemas operacionais como aprisionamento da coluna de perfuração

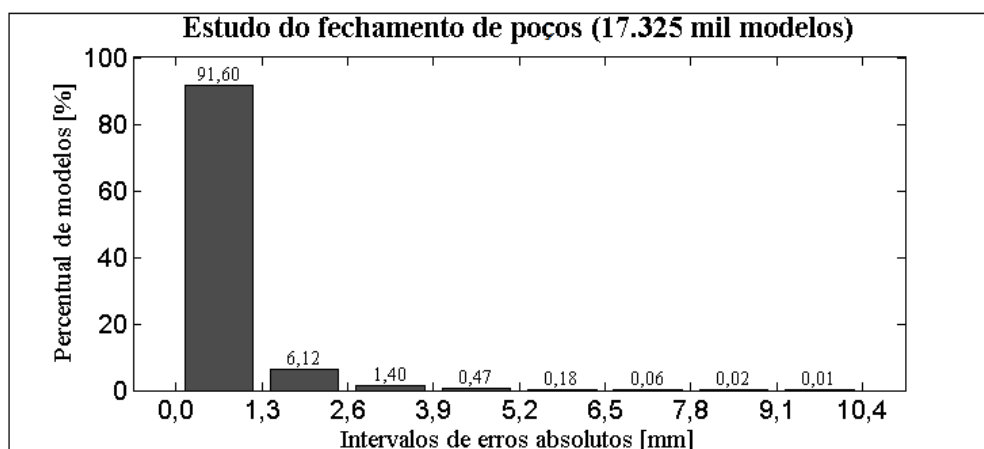
Figura 2: Perfuração de poços verticais em rochas salinas.



As variáveis escolhidas para caracterização do problema são: lâmina d'água (LDA), soterramento (SOT), coeficiente de empuxo horizontal (K_0) e peso do fluido de perfuração (PF). Adota-se, respectivamente, 5, 8, 3 e 4 valores distintos para as variáveis supracitadas, onde as combinações de todos os valores resultam em 480 configurações. Cada configuração está associada a 7 resultados distintos que correspondem aos fechamentos diametrais do poço, referentes a diferentes instantes de tempo após a perfuração (0h, 24h, 48h, 72h, 128h, 256h e 480h). É gerada uma superfície interpolante com 4 variáveis e 480 coeficientes, utilizando dados obtidos através de simulações numéricas.

Antes da geração das superfícies, os dados referentes aos valores das variáveis consideradas são normalizados. Dessa forma, tenta-se minimizar anomalias provenientes de manipulações numéricas e assim garantir maior robustez à metodologia apresentada. Em seguida, para que seja possível validar as rotinas desenvolvidas, são realizadas simulações numéricas para gerar resultados associados a novas configurações de projeto, verificando a diferença entre o fechamento diametral fornecido pela metodologia proposta e o valor obtido através das novas simulações numéricas para cada tempo de fechamento. O valor absoluto da diferença dessas grandezas é o erro absoluto cometido pela metodologia proposta para esse estudo de caso (ver Figura 3).

Figura 3: Gráfico de erros absolutos de ~18 mil configurações de fechamento de poços.



O gráfico de barras mostrado na Fig. 3 representa a quantidade de modelos associada a determinados intervalos de erros. Analisando os resultados, observa-se que a grande maioria dos

modelos apresenta erros menores que 1,3 mm e que o maior erro é de 10,4 mm. Nota-se, portanto, que os valores dos erros absolutos são reduzidos quando comparados ao valor do diâmetro do poço (26 polegadas ou 660,4 mm). O resultado pode ser considerado satisfatório, visto que através da metodologia proposta obtêm-se respostas suficientemente próximas às obtidas através das novas simulações numéricas.

O segundo estudo de caso refere-se ao problema de fluxo de gases em meios porosos (ver Fig. 4). Nesse estudo busca-se avaliar a solução para a equação da difusividade de um gás específico. Assume-se fluxo linear de gás, sujeito a regime permanente, onde não há alteração da massa específica ao longo do tempo, para um gás ideal (baixas pressões).

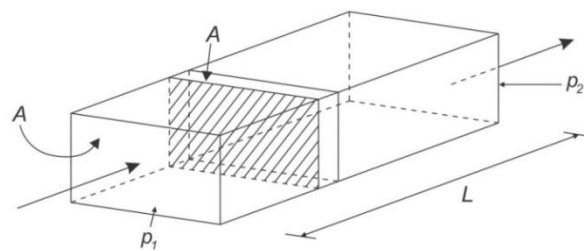
Nesse estudo, tanto as propriedades do gás quanto as propriedades do reservatório influenciam diretamente no valor da vazão q_0 , conforme equação a seguir:

$$q_0 = c \frac{k}{\mu} \frac{A}{L} \frac{T_0}{T} \frac{p_1^2 - p_2^2}{2p_0} \quad (1)$$

onde μ , T_0 e p_0 representam as respectivas propriedades do gás: viscosidade, temperatura e pressão; k , T , A , L , p_1 e p_2 representam as respectivas propriedades do reservatório: permeabilidade efetiva, temperatura, área, comprimento, pressão de entrada e pressão de saída.

Admitindo-se o valor da constante $c = 6,328 \times 10^{-9}$, as medidas de comprimento em pés [ft], de pressão em PSIA, de temperatura em Fahrenheit [°F], viscosidade em centipoise [cP] e a permeabilidade efetiva do reservatório em milidarcy [md], obtém-se a vazão q_0 em condições padrão de pés cúbicos por dia [SCF/d].

Figura 4: Fluxo linear de gases em meios porosos (Adaptado de Rosa et al. (2006).



Com o intuito de simplificar o problema, as propriedades do reservatório são fixadas e, para caracterização do problema, as propriedades do gás são definidas como variáveis: temperatura (T_0), pressão (p_0) e viscosidade (μ). Os valores usados, tanto para as propriedades do reservatório quanto para as do gás, são estabelecidos utilizando como referência exemplos encontrados em Rosa et. al. (2006) (ver Tabela 1).

Tabela 1: Valores adotados para os parâmetros.

T	A	L	p_1	p_2	k	T_0	p_0	μ
$^{\circ}\text{F}$	ft^2	Ft	PSIA	PSIA	md	$^{\circ}\text{F}$	PSIA	cP

150	1250	1250	4000	1750	150	50 a 100	14,7 a 17,7	0,01 a 0,05
-----	------	------	------	------	-----	----------	-------------	-------------

Para gerar um arquivo com os dados de entrada (valores das variáveis e respectivos resultados), elabora-se uma rotina adotando para os parâmetros de determinado gás ideal: 2 valores para temperatura, 4 valores para a pressão e 4 valores para a viscosidade. Esses valores são igualmente espaçados de acordo com os limites apresentados na Tabela 1, o que resulta em 32 configurações. Cada configuração está associada a um resultado de vazão.

Em seguida, são realizadas diversas interpolações, variando-se o número de configurações utilizadas (combinações dos valores das variáveis), permitindo o estudo dos erros associados à relevância de cada grandeza envolvida.

Como a temperatura do gás é um termo polinomial na Eq.(1), o número de valores escolhido é baseado na ordem da potência que ele aparece na solução exata. Neste caso, são adotados apenas 2 valores de temperatura do gás para todas as configurações. Em relação aos valores de pressão e viscosidade, consideram-se variações de 4 a 8 valores, conforme é mostrado Tabela 1.

São gerados cinco polinômios utilizando diferentes números de configurações. Cada polinômio é avaliado cem vezes, adotando valores randômicos para os parâmetros, mas dentro dos limites estabelecidos. Os resultados dos testes são comparados com as respectivas soluções analíticas e calculam-se os erros relativos a cada caso. A Tabela 2 apresenta a variação do número de valores de cada parâmetro e o erro relativo máximo correspondente.

Tabela 2: Número de valores adotados e erro relativo máximo referente.

Número de combinações	Número de Amostras			Erro relativo máximo
	T_0	p_0	μ	
32	2	4	4	4,15%
50	2	5	5	3,03%
72	2	6	6	0,39%
98	2	7	7	0,60%
128	2	8	8	0,06%

Assim, é possível perceber a influência do número de configurações na obtenção de melhores resultados. Ao aumentar o grau do polinômio e, conseqüentemente, o número de amostras, diminuimos os erros. Mas, é importante salientar que existem outros parâmetros mantidos constantes na equação (parâmetros do reservatório) e que em trabalhos futuros, pode-se investigar suas influências na solução da equação da difusividade. Através do exposto, é possível obter reduções significativas de erros, alcançando bons resultados.

Conclusões

De acordo com os resultados alcançados, percebeu-se que a utilização da metodologia proposta pode ser uma ferramenta útil e confiável para acelerar a estimativa de soluções de problemas quando previsões imediatas são necessárias.

No primeiro estudo de caso, os maiores erros cometidos foram da ordem de 1,57% do diâmetro perfurado. Dessa forma, a metodologia proposta pode ser utilizada como uma ferramenta auxiliar que fornece instantaneamente boas estimativas para o fechamento do poço. Já no segundo estudo de caso, observa-se que aumentando o número de pontos reduziu-se o erro relativo máximo a 0,06%, de forma que é possível obter uma equação polinomial que aproxime bem a equação do fluxo linear de gases em meios porosos.

A continuidade desse trabalho prevê o desenvolvimento de uma interface gráfica para que a utilização dessa metodologia seja mais intuitiva e prática, auxiliando em outros trabalhos que demandam o seu uso. Também existe possibilidade da introdução de funções não polinomiais, visando melhorar a qualidade dos resultados.

Referências Bibliográficas

ARAÚJO, I. N.; ARAÚJO, C. N.; FERNANDES, R. A.; LIRA, W. W. M. Uma estratégia alternativa para a rápida estimativa de soluções de problemas de engenharia In ANAIS DO X SIMPÓSIO DE MECÂNICA COMPUTACIONAL – SMMEC, 10, 2011. Belo Horizonte.

BJORCK, A. Numerical methods for least squares problems. Siam, 1996.

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, 2011.

HORN, R. A.; JOHNSON, C. R. Matrix analysis. Cambridge university press, 2012.

LENTH, R. Response-surface methods in r, using rsm. Journal of Statistical Software. v. 32, n. 1, pp. 1–17, 2009.

PEGDEN, C. D.; SADOWSKI, R. P.; SHANNON, R. E., Introduction to Simulation Using SIMAN. 2 ed. Nova York: McGraw-Hill, 1995.

ROSA, A. J.; DE SOUZA CARVALHO, R.; XAVIER, J. A. D. Engenharia de Reservatório de Petróleo. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

ELLIS M. A.; STROUSTRUP B. The C++ Programming Language. Estados Unidos: Addison-Wesley, 1993.