

Procedimento para Automatizar a Integração entre Simulação de Reservatórios e Modelagem Geostatística Célio Maschio

“O procedimento apresentado facilita a integração entre o Petrel e simuladores de reservatório.”

Interesses especiais:

- [UNISIM](#)
- [Publicações UNISIM](#)
- [Portal de Simulação de Gerenciamento de Reservatórios](#)
- [UNIPAR](#)
- [Edições anteriores](#)

Links:

- [Unicamp](#)
- [Cepetro](#)
- [Dep. Eng. Petróleo](#)
- [Fac. Eng. Mecânica](#)
- [Ciências e Eng. de Petróleo](#)

Pós-Graduação:

Ciências e Engenharia de Petróleo: interessados em Mestrado e Doutorado na área de Simulação e Gerenciamento de Reservatórios de Petróleo [cliquem aqui](#).

1. Introdução

A integração entre geofísica, geologia e engenharia nos estudos de reservatório tem sido alvo de constantes esforços de pesquisa na indústria do petróleo. Mas ainda existem muitos desafios a serem vencidos.

O objetivo desta edição é mostrar um procedimento para facilitar a automatização da integração entre simuladores de reservatório e a modelagem geostatística por meio do *software* Petrel no sentido de flexibilizar o acoplamento entre essas ferramentas.

2. Fluxos de trabalho no Petrel

O Petrel permite definir fluxos de trabalho para a geração de incertezas nas diferentes etapas da modelagem, como por exemplo, na modelagem geostatística. Cada passo do fluxo de trabalho é conhecido como *workstep*. Uma ou mais variáveis de incerteza podem ser definidas através do nome da variável precedido pelo símbolo \$.

A execução de um determinado fluxo de trabalho pode ser feita por meio da chamada do Petrel via linha de comando. Isso permite a automatização de processos que envolvem múltiplas realizações e permite integrar o Petrel com outras ferramentas e *softwares*, como o MatLab, por exemplo.

De acordo com a forma de execução que está documentada no manual do Petrel (exemplo mostrado na Figura 1a) os valores das variáveis são passados na própria linha de comando. Por esse método, cada realização envolve uma chamada do Petrel, o que torna o processo ineficiente para muitas execuções, devido ao tempo envolvido na inicialização do mesmo.

3. Procedimento proposto

O procedimento proposto (Figura 2) consiste na inserção de um conjunto de *worksteps* (*Load output sheet* e *Read output sheet*) para ler os valores das variáveis de um arquivo texto. Esse arquivo pode ser gerado automaticamente por um algoritmo de otimização, por exemplo, ou manualmente. O arquivo deve conter os valores na forma de colunas separadas por tabulação, no qual o número de linhas equivale ao número de realizações. Após a leitura desse arquivo o Petrel cria um objeto com os dados, os quais são usados a seguir para vincular aos nomes das variáveis. A sequência de *worksteps* que vem a seguir (*Read Output Sheet*) varre a matriz com os dados, os quais são passados para os respectivos campos com os nomes das variáveis (iniciados com \$, como por exemplo \$MaxCorrF na Figura 2).

Na sequência, são executados os próximos *worksteps*. Nos processos nos quais estão definidas as variáveis (no exemplo, *Petrophysical Modeling*) o Petrel atribui os valores das variáveis armazenados em memória. O conjunto de imagens (facies, porosidade, permeabilidade etc.) gerado em cada realização é exportado para arquivos texto que são usados como arquivos de inclusão de um arquivo de simulação de reserva-

tório. Isso torna o processo bastante flexível, pois é possível usar qualquer simulador. Apesar do formato de exportação ser para o Eclipse, a conversão para outros formatos é relativamente simples. Basta uma rotina que leia os arquivos e remova os cabeçalhos.

A grande vantagem desse procedimento é que o Petrel é inicializado uma única vez para cada conjunto de realizações. A linha de comando é bem simples, como pode ser visto na Figura 1b, bastando informar o nome do fluxo de trabalho a ser executado.

O número de realizações (definido no *workstep* “For loop”) também pode ser lido de um arquivo texto. Isso torna possível o uso do procedimento em processos iterativos nos quais o número de realizações pode mudar ao longo das iterações. Dessa forma, basta escrever o número em um arquivo texto o qual é lido pelo Petrel (linhas 2 e 3 no exemplo da Figura 2). Recomenda-se colocar o caminho completo dos arquivos texto lidos pelo Petrel.

```
C:\...Petrel 2013\Petrel.exe /licensePackage Package1 ...  
"D:\D2\projeto.pet" /runWorkflow geralM /nparam ...  
var1=1300 /sparm nome_perm=perm1.dat /quiet/exit
```

(a)

```
C:\...Petrel 2013\Petrel.exe /licensePackage Package1 ...  
"D:\D2\projeto.pet" /runWorkflow geralM /quiet/exit
```

(b)

Figura 1: Exemplos de linha de comando

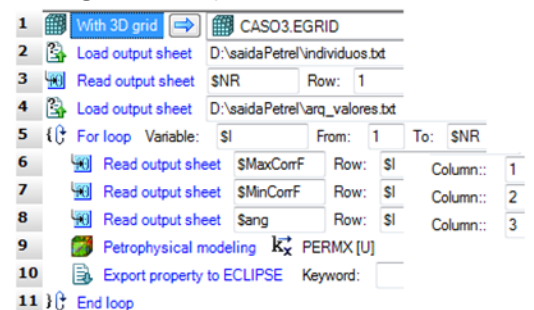


Figura 2: Trecho de um workflow do Petrel com o procedimento proposto

4. Exemplo de aplicação

O procedimento proposto, implementado em MatLab, foi aplicado em um processo de ajuste de histórico (mostrado de forma simplificada na Figura 3) utilizando um algoritmo genético disponível no MatLab como método de otimização. Foi utilizado o modelo de reservatório sintético mostrado na Figura 4. Trata-se de um reservatório com duas facies (arenito intercalado com folhelho).

Foram definidas 8 variáveis de otimização conforme a Tabela 1, sendo 4 delas relacionadas às facies (alcances do variograma nas direções principal e secundária - MaxCorrF e MinCorrF, direção dos canais - ang e proporção de facies - FProp) e as outras 4 relacionadas aos alcances do variograma da porosidade e permeabilidade (MaxCorrP, MinCorrP, MaxCorrK e MinCorrK). A geração da permeabilidade foi condicionada à porosidade e a geração da porosidade e permea-

“As grandes vantagens do método proposto são a flexibilidade e a facilidade de automatização, pois ele pode ser aplicado a diversos estudos de reservatório, principalmente em ajuste de histórico.”

Oportunidades no UNISIM:

Se você tem interesse em trabalhar ou desenvolver pesquisas no UNISIM, entre em contato conosco. Interesse imediato em:

- Pesquisador na área de simulação, gerenciamento e caracterização de reservatórios.

Para mais detalhes, [clique aqui](#).



Grupo de Pesquisa em Simulação e Gerenciamento de Reservatórios

Dep. Eng. Petróleo
Fac. Eng. Mecânica
Centro de Estudos de Petróleo
Univ. Estadual de Campinas
Campinas - SP

Tel.: 55-19-3521-1220
Fax: 55-19-3289-4916

unisim@dep.fem.unicamp.br

bilidade foi condicionada às facies. Uma combinação de variáveis foi escolhida ao acaso para gerar um modelo de referência, o qual foi utilizado para gerar um histórico sintético. Foi considerada uma ampla faixa de variação para tornar o espaço de busca mais complexo com o objetivo de testar a robustez do método de otimização. Na prática, a incerteza desses parâmetros pode ser mais restrita, principalmente a direção dos canais.

A função objetivo foi composta pela diferença entre histórico e simulação de dados de poços (vazão de óleo, água e pressão) e mapas de diferença de saturação de água (ΔS_w) entre o tempo 2250 dias e o tempo zero. Para o algoritmo genético, foram utilizadas 15 gerações (mais a população inicial) com 50 indivíduos cada. Na Figura 5 está a evolução das componentes da função objetivo ao longo das gerações, na qual é possível observar uma boa taxa de convergência.

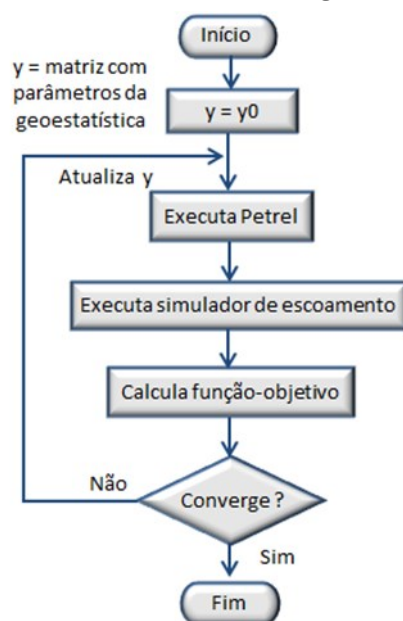


Figura 3: Fluxograma do processo de otimização

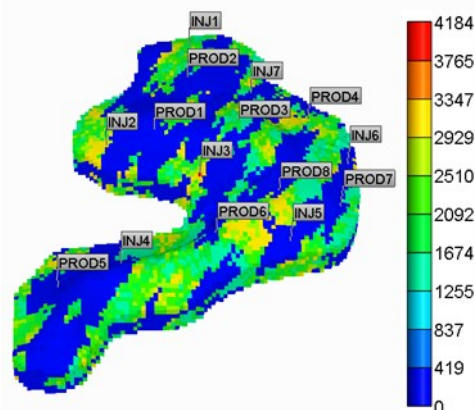


Figura 4: Permeabilidade horizontal (mD) do modelo de referência

Tabela 1: Parâmetros da geoestatística usados na otimização

Parâmetro	Limites		Referência
	Min	Max	
MaxCorrF (m)	400	1500	1200
MinCorrF (*)	0.30	0.95	0.33
ang (°)	-90	90	30
FProp (%)	30	70	47
MaxCorrP (m)	300	900	600
MinCorrP (*)	0.30	0.95	0.67
MaxCorrK (m)	300	900	600
MinCorrK (*)	0.30	0.95	0.67

(*) fração da direção principal

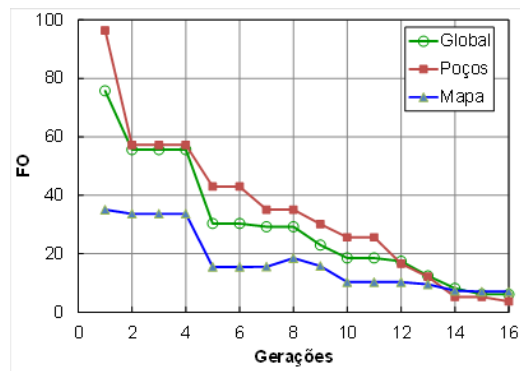


Figura 5: Evolução da função objetivo

5. Considerações finais

O procedimento apresentado nesse trabalho é bastante flexível e permite executar diversos processos que envolvem a modelagem geoestatística e a simulação de reservatório de uma forma integrada e automática. Permite a integração com diversos tipos de ferramentas, ambientes e linguagens de programação, como por exemplo o MatLab, C++, Java, e também o uso de diferentes métodos de otimização em processos de ajuste de histórico por exemplo.

Embora o exemplo apresentado tenha sido no contexto da modelagem geoestatística, o procedimento permite a automatização de outros processos. Um exemplo poderia ser o estudo de transferência de escala, no qual o Petrel seria executado em um processo de otimização cujo objetivo seria reduzir a diferença entre a solução de referência (malha fina) e a solução da malha grossa para a seleção da melhor alternativa.

Os próximos passos consistem em aplicar o procedimento em casos mais complexos.

Informações sobre o autor:

Célio Maschio é engenheiro mecânico pela Unesp, mestre e doutor em Engenharia Mecânica pela UNICAMP e pesquisador do UNISIM.

Para maiores informações, visite

<https://www.unisim.cepetro.unicamp.br>

O UNISIM é um grupo de pesquisa da UNICAMP (Departamento de Engenharia de Petróleo, Faculdade de Engenharia Mecânica, Centro de Estudos de Petróleo - CEPETRO) que tem como objetivo desenvolver trabalhos e projetos na área de simulação e gerenciamento de reservatórios.