

## **APLICAÇÃO DO PLANEJAMENTO ESTATÍSTICO NA SIMULAÇÃO NUMÉRICA DE RESERVATÓRIOS DE PETRÓLEO**

**LETÍCIA SANTOS<sup>1</sup>; PAULINE REIS<sup>2</sup>; CAROLINA MAGALHÃES<sup>2</sup>; VALMIR  
RISSO<sup>2</sup>; FERNANDA RISSO<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas – leticiasiqueirads@gmail.com;

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – reispauline@hotmail.com;

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – cxmagalhaes@gmail.com;

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas – vfrisso@gmail.com;

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas – fvarisso@gmail.com;

### **1. INTRODUÇÃO**

Entende-se por simulação numérica de reservatórios a utilização de cálculos para previsão do comportamento de um reservatório de petróleo, a fim de avaliar possíveis estratégias para otimizar os processos de produção (MEZZOMO, 2005). Para a simulação utilizam-se modelos físicos e matemáticos baseados na geologia, na geometria, nas propriedades petrofísicas, na profundidade do reservatório e nas propriedades dos fluidos. Assim, quanto mais precisas as informações, melhores serão as previsões (SOUZA, 2013).

Grande parte das informações usadas na simulação de reservatórios está sujeita a incertezas, como é normalmente o caso das propriedades de rocha (a exemplo da porosidade e da permeabilidade). Consequentemente, o perfil de produção associado com qualquer esquema de desenvolvimento do reservatório não pode ser predito com exatidão (MOURA, 2006).

Para otimizar os processos de simulação, que podem ser lentos e de grande esforço computacional, técnicas de planejamento estatístico são utilizadas para construir superfícies de resposta que mantenham um padrão de previsões confiáveis, reduzindo o número de simulações. Para realização dessas previsões, realizou-se neste trabalho a Análise de Sensibilidade por Plackett-Burmann e a Análise de Risco utilizando o Planejamento Fatorial Box-Behnken, que construiu uma superfície de resposta eficaz para as simulações utilizando um curto espaço de tempo, tornando assim possível a utilização desta para substituição do simulador de fluxo.

### **2. METODOLOGIA**

O planejamento Plackett-Burmann se mostra de grande utilidade em investigações preliminares para se fazer uma triagem inicial dos atributos incertos por meio da análise de sensibilidade (RISSO, 2007). Nesta etapa inicial foram realizadas 12 simulações utilizando a matriz pré-determinada por este planejamento, onde os atributos permeabilidade I, J e K, porosidade e densidade do óleo, foram variados em cenários otimistas e pessimistas. Seus valores variaram entre 120% e 80% do valor inicial, respectivamente. A cada simulação foram obtidos os valores de produção acumulada de óleo (Np). Em seguida com o auxílio de um software matemático foram determinados coeficientes utilizados na análise de sensibilidade.

Para realização desses cálculos a matriz Plackett-Burmann foi denominada “matriz A”, os valores de Np foram denominados de “matriz B” e a matriz dos coeficientes foi dada calculando a “matriz x” por meio da relação matemática  $Ax=B$ , concluindo-se  $x=B/A$ . A partir do cálculo dos coeficientes, foi construído um gráfico para facilitar a visualização dos atributos de maior sensibilidade no presente projeto. Os atributos escolhidos na presente análise de sensibilidade foram porosidade, permeabilidade I e permeabilidade J.

A segunda etapa do trabalho se deu na construção de curvas de risco pelo processo de simulação. Nesta etapa realizou-se 27 simulações para obtenção dos valores de produção acumulada de óleo. Estes valores foram obtidos pela combinação dos três atributos incertos, escolhidos anteriormente em uma árvore de derivação. Após este processo, realizou-se o cálculo da probabilidade acumulada de ocorrência de cada uma das simulações para construção das curvas de risco simuladas para produção de óleo.

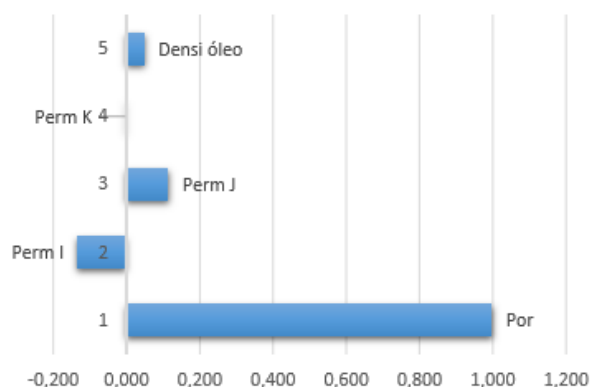
A terceira etapa consistiu na construção de curvas de risco por planejamento Box-Behnken. Nesta etapa realizou-se apenas 13 simulações, e a partir dos resultados destas construiu-se uma superfície de resposta na forma de um polinômio pelo planejamento Box-Behnken. Obteve-se por meio desta superfície 14 valores de produção acumulada de óleo. Foram calculadas as probabilidades acumuladas de cada simulação e construídas as curvas de risco.

As curvas de risco obtidas pelo processo de simulação e as obtidas com auxílio do planejamento estatístico foram plotadas em gráficos comparativos, afim de analisar a eficácia dos planejamentos.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da análise dos coeficientes foi feita a seleção dos três atributos que apresentaram maior influência sobre a produção de óleo. Os atributos escolhidos foram porosidade, permeabilidade I e permeabilidade J.

**Análise dos coeficientes X para Np**



*Gráfico 1: Análise de sensibilidade por Plackett-Burman para Np.*

Para comparação entre os valores de produção simulados e preditos pelo planejamento, construiu-se gráficos do tipo “crossplot”, encontrando o valor do coeficiente de determinação, denominado  $R^2$ , que é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado, em relação aos valores observados. O  $R^2$  varia entre 0 e 1, indicando o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto mais próximo de 1 o  $R^2$ , mais eficaz é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra. Os modelos encontrados para produção acumulada de óleo ( $N_p$ ) tiveram bom índice de correlação, sendo ele 0,997.

### Correlação Np simulado e Np predito

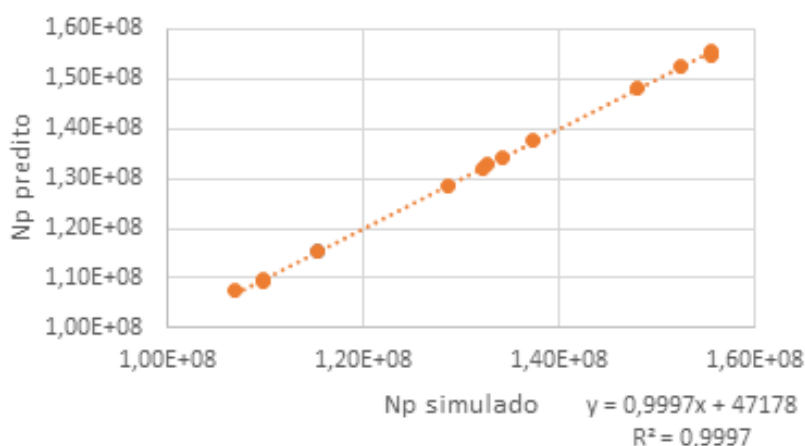


Gráfico 2: Curvas crossplot para produção de óleo.

As curvas de risco geradas pelo uso das simulações e pelo uso do planejamento estatístico Box-Behnken para produção acumulada de óleo foram plotadas juntas para efeito de comparação entre elas.

### Sobreposição das curvas de risco Np por simulação e por planejamento

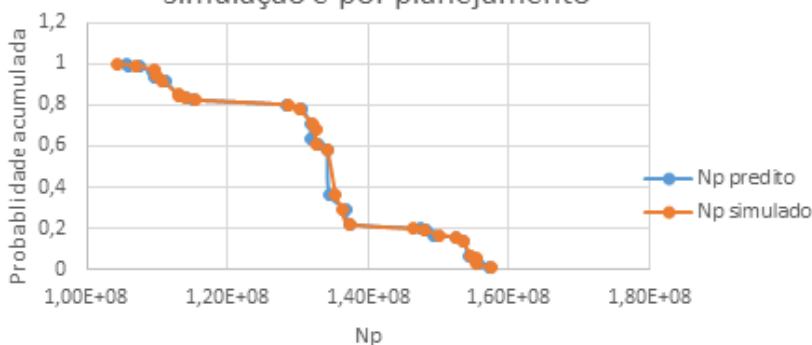


Gráfico 3: Sobreposição das curvas de risco de produção acumulada de óleo por simulação e planejamento estatística.

## 4. CONCLUSÕES

Os resultados dos processos de planejamento estatístico realizados no decorrer do trabalho mostraram que um planejamento realizado de forma correta é confiável e vantajoso quando comparado aos processos de simulação. No presente trabalho utilizaram-se 3 níveis de incerteza, e usando a simulação com a árvore de derivação  $2^3$  realizaram-se 27 simulações, enquanto utilizando o planejamento estatístico Box-Behnken foram realizadas apenas 13 simulações. A diferença de 14 simulações pode parecer pequena, mas quando o número de parâmetros aumenta, a quantidade de simulações aumenta exponencialmente, e a partir disso se tem uma economia de simulações bastante significativa. Em suma, comprovou-se nesse trabalho que o planejamento estatístico pode substituir um número excessivo de simulações.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, B.; SCARMINIO, I.; BRUNS, R. **Planejamento e otimização de experimentos**. Campinas. 2009.

BRASIL, J. L. et al. Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu(II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente. **Química Nova**. v.30, n.3, p.548-553, 2007.

MEZZOMO, C.C. **Seleção de Projetos de Desenvolvimento Integrada à Análise de Risco**. 2005. Tese (Doutorado). UNICAMP.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. New York: John Wiley & Sons, 2009.

MOURA, M.A.B. **Integração de Análise de Incertezas e Ajuste de Histórico de Produção**. 2006. Tese (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Mecânica.

RISSO, V.F. **Utilização de Planejamento Estatístico em Ajuste de Mapas de Saturação**. UNISIM Online, Campinas, jun. 2008. Acessado em 06 abr. 2015. Online. Disponível em: <http://www.unisim.cepetro.unicamp.br/online/UNISIM-ON-LINE-N28.PDF>

RISSO, F. V. A., RISSO, V. F. e SCHIOZER, D. J. **Risk Assessment of Oil Fields using Proxy Models: A Case Study**. In: Canadian International Petroleum Conference, 8., Calgary, Alberta, Canada, 12-14 Junho, 2007.

SOUZA, B.G. **Simulador Numérico Bidimensional para Escoamento Monofásico em Meios Porosos**. 2013. Monografia-Universidade Estadual do Norte Fluminense - Laboratório de Engenharia e Exploração de Petróleo.