

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DO HIPERCUBO LATINO NA ANÁLISE DE RISCO DE CAMPOS DE PETRÓLEO

AUTORES:

Valmir F. Risso¹, Fernanda V. A. Risso¹ e Denis J. Schiozer¹

INSTITUIÇÃO:

Departamento de Engenharia de Petróleo - DEP
Faculdade de Engenharia Mecânica - FEM
Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 5º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás- 5º PDPEURO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás-ABPG, no período de 15 a 22 de outubro de 2009, em Fortaleza-CE. 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 5ºPDPEURO.

APLICAÇÃO DA TÉCNICA DO HIPERCUBO LATINO NA ANÁLISE DE RISCO DE CAMPOS DE PETRÓLEO

Abstract

A risk analysis can be applied to several phases of the development of a petroleum field. Techniques such as Latin Hypercube, Statistical Design and Derivative Tree can be used in this process. The attribute combination by Derivative Tree can be an alternative, but can also yield a high number of simulation runs when many attributes are considered. Alternatives to speed up the process are the reduction of the number of attributes and their discretization levels or the substitution of the conventional reservoir modeling by faster techniques (proxy models). The Latin Hypercube Technique is characterized by the division of the uncertainties range in sub-regions and the sampling of each one of these regions. This technique divides the distribution in intervals and selects values from each interval. The Latin Hypercube Technique is more precise for random samples because the full range of the distribution is sampled more evenly and consistently. The main objective of this paper is to identify the best trials distribution and the influence of the variation in the number of trials on the quality of the risk curves and the application of the Latin Hypercube in the risk analysis. It was possible to compare the Latin Hypercube and Derivative Tree techniques to reduce the number of simulation runs while maintaining the precision of the results. One case being studied represents a development field with 4 uncertain attributes: horizontal and vertical permeability, porosity and net pay. The objective functions analyzed are net present value (NPV), oil recovery factor (RF), water production (Wp) and oil production (Np). The model is a reservoir with high heterogeneity and complexity, where a sand of low quality is crossed by canals of high permeability. Three numbers of trials were tested: 9000, 3000 and 200. The results presented that the number of trials did not yield alteration in the results, because the risk curve obtained with 200 trials was very close to the curve obtained with 9000 trials. This behavior is a characteristic of the method that forces the number of trials in each range studied. The conclusion is that the method is efficient and can be adopted with a lower number of trials, and it can be used with simulation or combined with proxy models, independent of the number of attributes and levels of discretization.

Keywords: Latin Hypercube, Derivative Tree, Proxy Models, Simulation

Introdução

A proposta deste trabalho é a aplicação da técnica do Hipercubo Latino na análise de risco. A técnica do Hipercubo Latino seleciona valores aleatoriamente de forma dependente. Tal método divide a distribuição em intervalos com probabilidades iguais de sorteio e seleciona um valor aleatório pertencente a cada um dos intervalos. Este método é pouco utilizado se comparado ao método de Monte Carlo, pois poucos trabalhos utilizando esta técnica foram encontrados na literatura. Em alguns casos a técnica de Monte Carlo torna-se inviável devido ao elevado número de simulações o que ocasiona um alto custo computacional e um elevado tempo para se realizar todas as simulações, já que a base para o processo de amostragem realizado nas simulações de Monte Carlo é a geração de números aleatórios. É a partir desse mecanismo que são produzidas as distribuições das variáveis de interesse, tomando por base as premissas e as distribuições associadas às variáveis de entrada, bem como a inter-relação entre as mesmas.

Muitos métodos de avaliação de incertezas em previsões de produção são baseados na simulação de Monte Carlo (Manceau *et al* 2001 e Portella *et al* 2003). Na fase de desenvolvimento a aplicação desta técnica pode ser inviável porque exige um número de simulações relativamente grande para reproduzir a probabilidade de ocorrência dos atributos.

Com isso na prática o processo poderia ser muito lento e exigiria grande esforço computacional. Uma

maneira de viabilizar o processo é simplificar o modelo de fluxo através de modelos rápidos (Ballin, 1997), chamados de “proxy models”. Uma maneira que recentemente vem sendo pesquisada é o emprego de uma superfície de resposta para substituir o simulador de fluxo, sendo que tal superfície é obtida através da metodologia de planejamento estatístico.

Van Elk *et al* (2000) utilizaram o planejamento estatístico para realizar uma análise de sensibilidade, a fim de identificar e escolher os atributos que mais influenciavam na produção acumulada de óleo. A estimativa das incertezas foi apresentada através da curva de risco da produção e a distribuição de probabilidade necessária à curva foi obtida através da simulação de Monte Carlo.

A simulação de Monte Carlo, de acordo com Srikanta Mishra (1998), tem como desvantagem a realização de várias simulações com vários modelos, o que conduz a um esforço computacional excessivo. A técnica de Monte Carlo não é muito eficiente quando se requer a probabilidade associada a um número limitado de modelos.

Portella *et al* (2003) aplicaram o planejamento estatístico, na análise das incertezas, através de uma análise de sensibilidade e também na obtenção da superfície de resposta, a qual foi utilizada no método de Monte Carlo para gerar a curva de risco.

Enquanto que a técnica do Hipercubo Latino seleciona valores aleatoriamente de forma dependente, o método de Monte Carlo divide a distribuição em intervalos com probabilidades iguais de sorteio e seleciona um valor aleatório pertencente a cada um dos intervalos.

De acordo com Vose (2000), o método do Hipercubo Latino é mais preciso para a reprodução das distribuições de probabilidade escolhidas para as variáveis de entrada e, conseqüentemente, para o cálculo de estatísticas geradas pela simulação, uma vez que o intervalo da distribuição é utilizado de maneira mais equânime e consistente.

O objetivo principal deste trabalho foi a comparação das técnicas de Hipercubo Latino e Árvore de derivação. Foram comparados também dois métodos de distribuição dos sorteios nas faixas selecionadas pelo usuário e também foram estudadas diferentes variações no número de sorteios, procurando identificar assim a influência do número de sorteios na obtenção da curva de risco.

Metodologia

Hipercubo Latino

O método de Hipercubo Latino é caracterizado pela divisão da faixa de incertezas em sub-regiões e em cada uma destas regiões são realizados sorteios, que diferentemente do método de Monte Carlo, força que o número de sorteios esteja na faixa correspondente a ser analisada, como mostrado na Figura 1. Para 11 regiões, as probabilidades de cada região são apresentadas na Tabela 1. No presente trabalho foi utilizado 200, 3000 e 9000 sorteios.

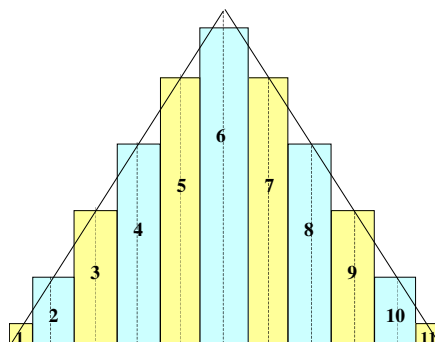


Figura 1: Sub-regiões do Hipercubo Latino.

Tabela 1: Probabilidade de cada região.

Regiões	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Probabilidade	0,5%	4,0%	8,0%	12,0%	16,0%	19,0%	16,0%	12,0%	8,0%	4,0%	0,5%

A definição do número de sorteios pode ser baseada em dois métodos:

Método 1: o número de sorteios definidos em cada região é proporcional à probabilidade da região específica e a probabilidade de ocorrência de cada modelo é definida como sendo $1/N$, onde N é o número de sorteios total (incluindo as 11 regiões).

Método 2: o número de sorteios definidos em cada região é o mesmo e a probabilidade de ocorrência de cada modelo é definida como sendo $(\text{Probabilidade_da_região})/N$, onde N é o número de sorteios de cada região. Neste caso a probabilidade acumulada deve ser normalizada para corresponder a 100%.

Curva de Risco

As curvas de risco são geradas mostrando-se os valores de uma função-objetivo no eixo das abscissas e a probabilidade de ocorrência acumulada no eixo da ordenadas. Inicialmente devem-se calcular as probabilidades de ocorrência de cada modelo (sorteio) e em seguida calcular a probabilidade acumulada e ordenar as funções-objetivo (respostas) em ordem decrescente, como mostra a Figura 2.

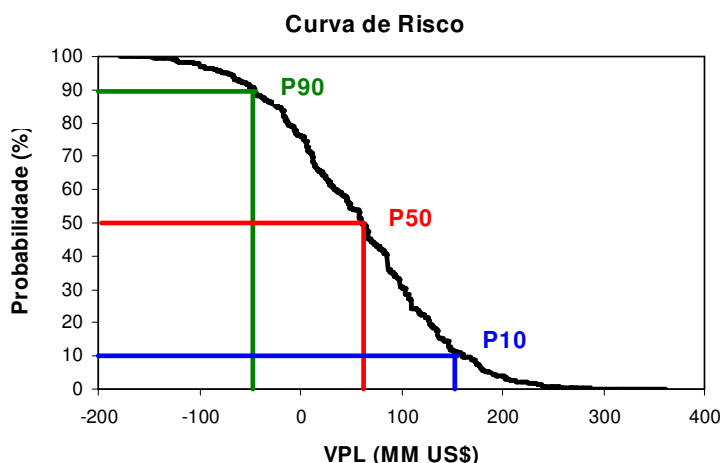


Figura 2: Curva de Risco.

As curvas de risco podem ser geradas tanto pela técnica da Árvore de Derivação ou Hipercubo Latino. Sendo que os valores de cada modelo (sorteio ou combinação) podem ser calculados tanto pela simulação, quanto por uma superfície de resposta (meta-modelo) que substitua o simulador.

Estas curvas são úteis no processo de tomada de decisões, pois permitem quantificar os valores otimistas, prováveis e pessimistas dos projetos (P10, P50 e P90).

Superfícies de Resposta

Através do planejamento estatístico e da superfície de resposta (meta-modelo) é possível obter a curva de risco, sem a necessidade de simular todos os modelos de reservatórios montados através da árvore de derivação, reduzindo assim tempo e custos de simulação. É importante ressaltar que a superfície de resposta também é empregada para o cálculo das funções-objetivo e curvas de risco através do método do Hipercubo Latino.

Para avaliar a qualidade da superfície de resposta como substituta do simulador de fluxo na análise de risco é analisada a confiabilidade desta técnica na obtenção das funções-objetivo comparando os resultados simulados com os obtidos pela superfície de resposta, obtendo-se assim um gráfico de dispersão entre os valores preditos e simulados. Para comparar as metodologias, a superfície de resposta é substituída tanto nas combinações geradas pela árvore de derivação, quanto pela técnica do Hipercubo Latino.

O planejamento utilizado para gerar as superfícies de respostas foi Box-Behnken e os polinômios das superfícies de respostas foram quadráticos.

Os atributos críticos utilizados neste trabalho foram: Espessura porosa – ntg ; permeabilidade horizontal – K_x ; permeabilidade vertical – K_z e porosidade – ϕ .

As funções objetivo estudadas foram: N_p = Produção Acumulada de Óleo do Campo; W_p = Produção Acumulada de Água do Campo; FRO = Fator de Recuperação do Óleo e VPL = Valor Presente Líquido.

Aplicação

O modelo é de um reservatório de alta heterogeneidade e de alta complexidade, onde uma areia de baixa qualidade é cruzada por canais de alta permeabilidade. Trata-se de um modelo gerado sinteticamente, mediante técnicas da Geoestatística, baseado em dados de afloramentos no Brasil.

O modelo é composto de 6 camadas cada uma com diferentes propriedades geofísicas em função da fácies observadas de areias de relativa baixa qualidade, atravessadas pelos canais de alta permeabilidade. O modelo de simulação tem $43 \times 55 \times 6$ blocos, 12 poços verticais, 7 produtores e 5 injetores conforme Becerra, 2007.

A estratégia de produção para o campo é composta por 7 poços produtores e 5 injetores, como mostrado na Figura 3. Todos os poços estão inicialmente fechados e são utilizados os mesmos controles de produção, injeção e condições de operação.

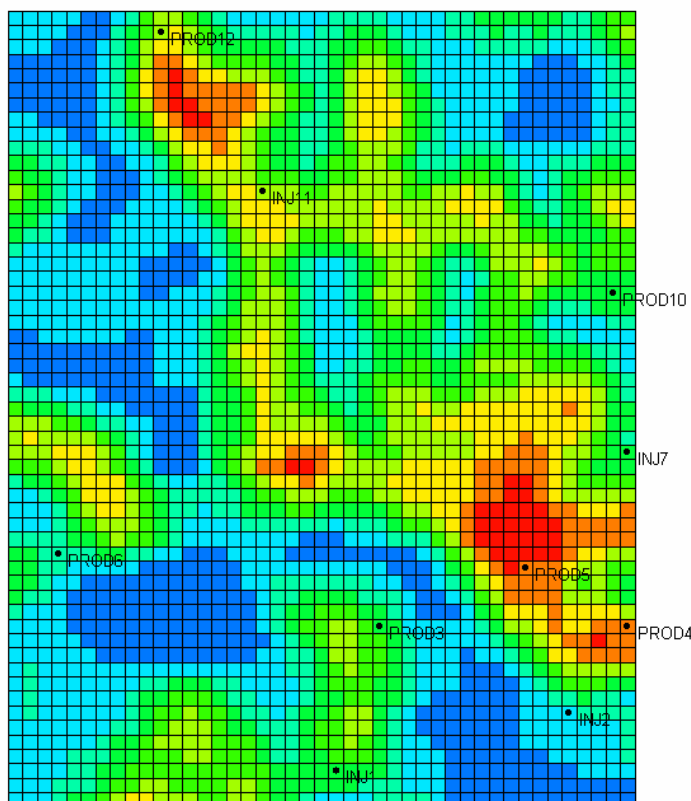


Figura 3: Estratégia de produção.

As condições de operação dos poços produtores são:

- Pressão mínima de operação no fundo do poço de 110 Kgf/cm²;
- Vazão máxima de produção de líquido de 1800 m³/dia;
- Fechamento de intervalo de produção ao atingir razão de água e líquido total maior que 90%;

Para os poços injetores as condições são:

- Vazão máxima de injeção de 1800 m³ /dia;
- Pressão máxima de fundo de 400 Kgf/cm².

Parâmetros Econômicos

A função-objetivo econômica, VPL, é obtida através do cálculo do valor resultante do fluxo de caixa de todos os custos e receitas a serem obtidos no projeto utilizando a taxa de desconto.

Os índices econômicos utilizados para o calculo do VPL foram:

- Preço de venda do óleo: US\$ 50,00 / barril;
- Taxa de atratividade: 13% ao ano;
- PIS/COFINS: 9,25%;
- IRCS: 33%;
- ROYALTY: 10%;
- Investimento na plataforma: US\$ 250 Milhões;
- Investimento na abertura e completção: US\$ 20 Milhões / poço;
- Custo de produção de óleo: US\$ 6,0 / bbl;
- Custo de produção de água: US\$ 2,0 / bbl;
- Custo de injeção de água: US\$ 1,0 / bbl.

Resultados e Discussão

Inicialmente foram testados dois métodos de distribuição dos sorteios, como mencionados na metodologia. Os sorteios para o Método 1 são apresentados na Tabela 2 e para o Método 2 na Tabela 3.

Tabela 2: Sorteios e probabilidades para o método 1.

Regiões	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Prob. Região (área)	0,5%	4,0%	8,0%	12,0%	16,0%	19,0%	16,0%	12,0%	8,0%	4,0%	0,5%
Sorteios (200)	1	8	16	24	32	38	32	24	16	8	1
Prob. Modelo (1/200)	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%

Tabela 3: Sorteios e probabilidades para o método 2.

Regiões	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Prob. Região (área)	0,5%	4,0%	8,0%	12,0%	16,0%	19,0%	16,0%	12,0%	8,0%	4,0%	0,5%
Sorteios (200)	10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	10
Prob. Modelo (Prob/N)	0,05%	0,20%	0,40%	0,60%	0,80%	0,95%	0,80%	0,60%	0,40%	0,20%	0,05%

Comparação dos Métodos 1 e 2

A seguir são apresentadas as curvas de risco obtidas para os dois métodos descritos anteriormente, combinados com as superfícies de respostas, ambos foram comparados com os resultados obtidos pela simulação (método da árvore de derivação). As curvas de risco para o Np, Wp, FRO e VPL são apresentadas na Figura 4.

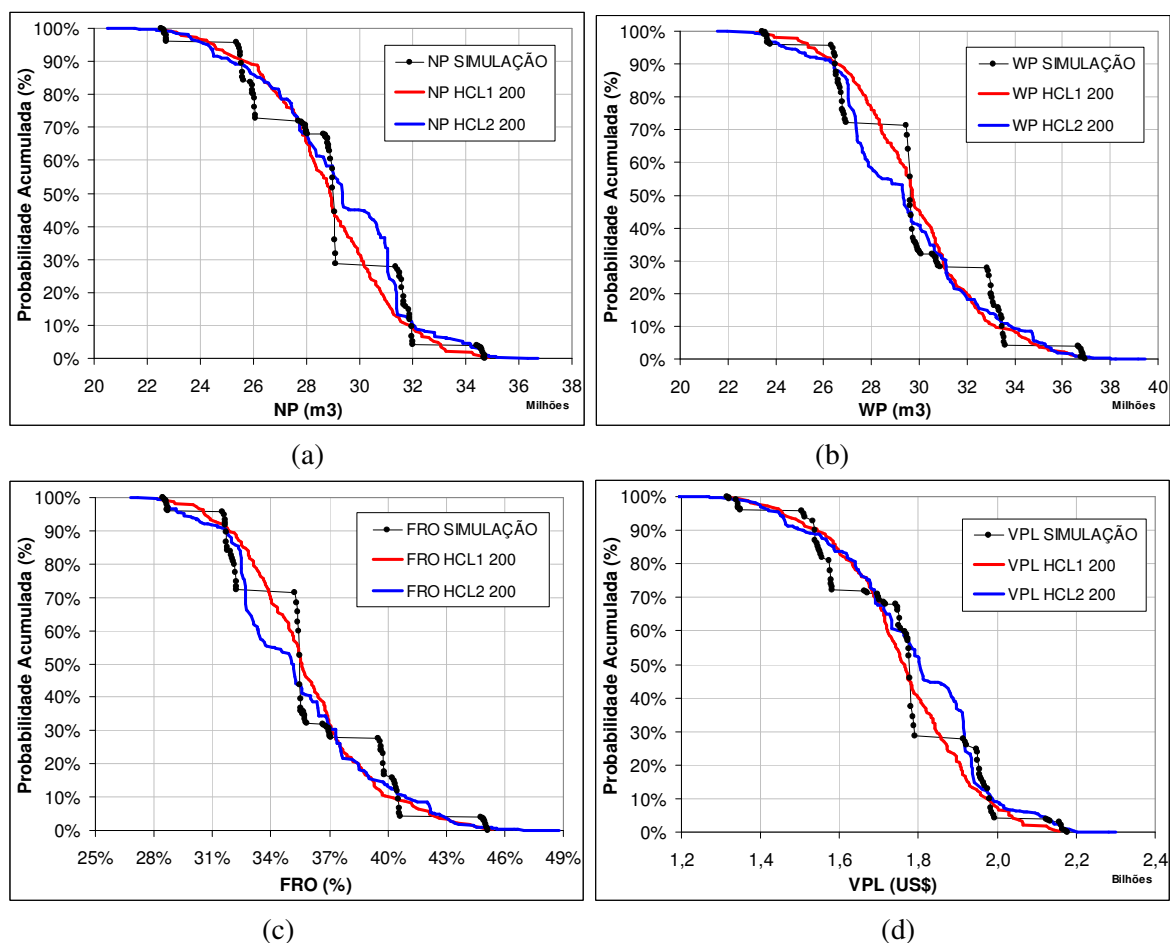


Figura 4. Curvas de risco para os métodos 1 e 2: (a) Np (b) Wp (c) FRO (d) VPL.

Observando-se os resultados conclui-se que o método que apresentou resultados mais próximos dos obtidos com a simulação foi o método 1, por isso ele será adotado nas próximas etapas do trabalho.

Efeito da Variação do Número de Sorteios

Procurando verificar a influência do número de sorteios na obtenção das curvas de risco foram testados 3 tipos de sorteios diferentes (baixo, médio e alto): (1) 200 sorteios (2) 3000 sorteios e (3) 9000 sorteios. As curvas de risco para o Np, Wp, FRO e VPL são apresentadas na Figura 5.

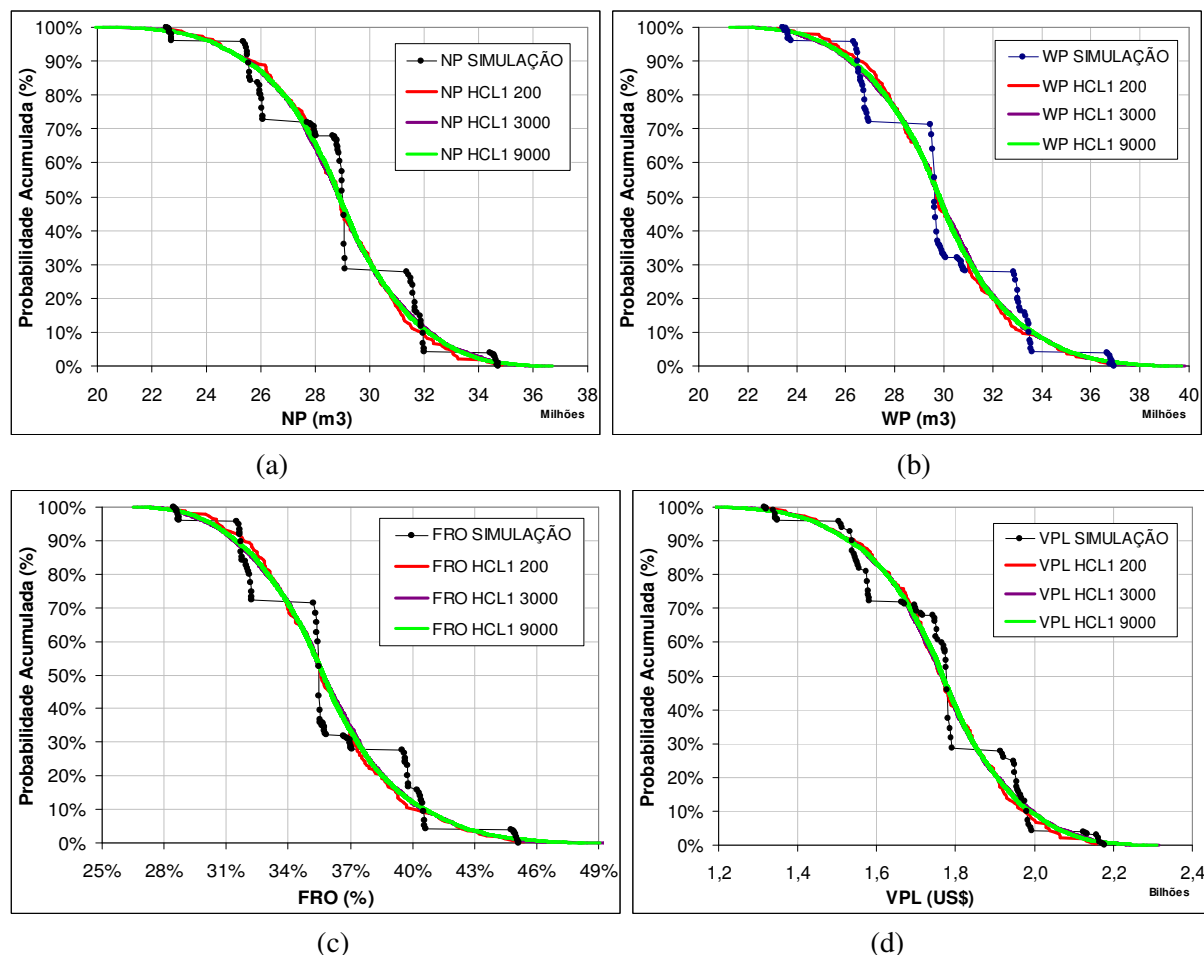


Figura 5. Curvas de risco para 200, 3000 e 9000 sorteios: (a) Np (b) Wp (c) FRO (d) VPL.

Observando-se os resultados conclui-se que a variação no número de sorteios teve pouco impacto na qualidade das curvas de risco obtidas.

Conclusões

O método da Árvore de Derivação, como já citado anteriormente, apresenta muitas limitações, principalmente para casos com muitos atributos e muitos níveis, o que torna o processo com simulação inviável, por exemplo, se fossem utilizados 10 atributos seriam necessárias 59.049 simulações, enquanto que para o método do Hipercubo Latino continuariam sendo necessárias somente 200 simulações. Outro problema da árvore de decisão para o uso de poucos atributos com poucos níveis é a obtenção de uma curva de risco irregular (com saltos ao longo da curva). O método 1 apresentou melhores resultados, ou seja, a distribuição dos sorteios deve ser proporcional à probabilidade da região específica e a probabilidade de ocorrência de cada modelo é definida como sendo $1/N$, onde N é o número de sorteios total.

Para o método de Hipercubo Latino o número de sorteios não apresentou alteração nos resultados, pois a curva obtida com 200 sorteios foi muito próxima da curva obtida com 9000 sorteios. Esse

comportamento é uma característica do método que força o número de sorteios em cada faixa estudada. Com isso, conclui-se que o método é eficaz e eficiente e pode ser adotado mesmo quando forem gerados poucos sorteios, podendo ser utilizado somente com simulação ou combinado com metamodelos, mesmo com mais atributos.

Com base nos resultados apresentados, conclui-se que o método Hipercubo Latino é o método mais eficiente, o qual pode ser adotado tanto com simulação, quanto combinado com metamodelos, independentemente do número de atributos e níveis de discretização.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a FAPESP, UNISIM, CEPETRO, DEP/FEM/UNICAMP e PETROBRAS pelo suporte para a realização deste trabalho.

Referências Bibliográficas

- BALLIN, P. R., FARIA, R. T., BECKER, M. R., CARRASCO, B. N., TEIXEIRA, P. W. “Reservoir Studies in Fluvial Deposit: From Outcrops to Stochastic Characterization and Flow Simulation”. In: Fifth Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference. Rio de Janeiro. Brazil. SPE 39000. 1997.
- BECERRA, G. G. “Mitigação de Incertezas através da integração com Ajuste de Histórico de Produção”. Campinas, 2007, 192p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo) – Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.
- MANCEAU, E., MEZGHANI, M., MEZGHANI, I. Z., ROGGERO, F., IFP “Combination of Experimental Design and Joint Modeling Methods for Quantifying the Risk Associated with Deterministic and Stochastic Uncertainties – An Integrated Test Study”, SPE 71620. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, New Orleans, Louisiana, 30 september 3 october 2001.
- PORTELLA, R. C. M., SALOMÃO, M. C., BLAUTH, M., DUARTE, R. L. B., “Uncertainty Quantification to Evaluate the Value of Information in a Deepwater Reservoir”. In: SPE Reservoir Simulation Symposium. Houston. U.S.A. SPE 79707. 2003.
- SRIKANTA MISHRA. “Alternatives to Monte-Carlo Simulation for Probabilistic reserves Estimation and Production Forecasting”. In: SPE Annual Technical Conference Exhibition. New Orleans. U.S.A. SPE 49313. 1998.
- VAN ELK, J.F., GUERRERA, L., VIJAYAN, K. E., GUPTA, R. “Improved Uncertainty management in field Development studies through the application of the Experimental Design Method Realisations Approach”. In: Annual Technical Conference and Exhibition. Dallas. U.S.A. SPE 64462. 2000.
- VOSE, D. “Risk analysis: a quantitative guide”. 2. ed. Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 2000.