

## ESCOLHA DE ATRIBUTOS NA ANÁLISE DE RISCO EM CAMPOS DE PETRÓLEO NA FASE DE DESENVOLVIMENTO

**Ana Paula de Araújo Costa**

Departamento de Engenharia de Petróleo – Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP  
Caixa Postal 6122 – Cep 13081-970  
Campinas – SP – Brasil  
[paula@dep.fem.unicamp.br](mailto:paula@dep.fem.unicamp.br)

**Denis José Schiozer**

Departamento de Engenharia de Petróleo – Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP  
Caixa Postal 6122 – Cep 13081-970  
Campinas – SP – Brasil  
[denis@dep.fem.unicamp.br](mailto:denis@dep.fem.unicamp.br)

**Resumo:** O trabalho proposto apresenta alguns detalhes de uma análise de risco aplicada a um campo de Petróleo na fase de desenvolvimento, com ênfase na análise do impacto de incertezas geológicas. A importância de tal estudo requer uma confiabilidade que pode ser conseguida através da simulação numérica de reservatório. Entretanto, a utilização de tal ferramenta pode aumentar o tempo computacional inviabilizando o processo. Para viabilizá-lo, foram criadas metodologias que possibilitam o processo de análise de risco com simulação baseado em simplificações. O objetivo desse trabalho é a quantificação do impacto de tais simplificações na análise de risco. A análise para definição do processo de simplificação concentra-se na quantificação de incertezas relativas à geologia e parâmetros rocha - fluido através da caracterização de atributos e seus respectivos níveis de incerteza. Os principais itens analisados são: (1) número de atributos incertos, (2) número de níveis relativos ao atributo, (3) análise de sensibilidade para redução do número de atributos, (4) impacto da agregação de atributos. Os resultados das simulações são combinados através de um tratamento estatístico para determinação da Curva de Risco de projetos. Tal análise é feita para o índice econômico VPL (Valor Presente Líquido) que indica o resultado financeiro caso um projeto seja executado. Utilizado na comparação da atratividade de projetos de mesmo porte.

**Palavras chave:** Incertezas, Simulação Numérica, Análise de Risco, Desenvolvimento de Campos de Petróleo.

### 1. Introdução

No cenário atual da Exploração e Produção (E&P) de Petróleo no Brasil, decisões devem ser tomadas dentro de um processo de Análise de Risco onde se avalia o impacto de incertezas no desempenho de cada campo de petróleo onde o objetivo é maximizar o lucro das empresas e minimizar o risco envolvido nos projetos.

A previsão de produção sob um enfoque probabilístico permite quantificar a análise de incertezas. Tais incertezas encontram-se relacionadas com o desempenho do reservatório, com o volume de óleo produzido, com o fator de recuperação, com o cálculo de reservas de um campo e na obtenção de indicadores econômicos como VPL (Valor Presente Líquido), etc. As incertezas são analisadas sob uma visão parcial do reservatório, visto que, na fase de exploração e descoberta de um campo utilizam-se muitos dados indiretos e poucos e esparsos dados diretos. O enfoque probabilístico reflete a iteração das diversas incertezas consideradas relativas as propriedades do reservatório, características operacionais e econômicas. Tais resultados podem influenciar as decisões, muitas vezes irreversíveis, relativas a campanhas exploratórias, estratégias de recuperação, aquisição de dados sísmicos, dimensionamento de facilidades de produção, etc.

A utilização do risco nas previsões de produção, ao invés de uma resposta determinística, tem sua utilização crescente nas áreas de E&P devido ao elevado grau de incertezas que acompanham projetos. O termo risco de produção está relacionado às incertezas geradas na estimativa probabilística das previsões de produção. Por meio das simulações de fluxo as incertezas são expressas no modelo através dos atributos que caracterizam o modelo geológico, as propriedades de fluido e as propriedades de iteração rocha-fluido. Na fase de desenvolvimento de campos de petróleo, o uso da simulação torna possível mesclar informações relativas a heterogeneidades do campo com propriedades relativas ao fluxo de fluidos, bem como a incorporação dos parâmetros operacionais do campo. Contudo, a utilização de tal ferramenta pode aumentar o tempo computacional inviabilizando o processo.

O objetivo do presente trabalho é um estudo detalhado de metodologia para quantificação do impacto de incertezas e análise de risco na fase de delimitação em campos de petróleo para avaliar o impacto de simplificações adotadas por metodologias vigentes de maneira a permitir agilidade nos processos de decisão e respostas mais precisas

relacionando a utilização da simulação numérica de fluxo dentro de um contexto que viabilize a utilização da mesma na análise de risco.

A metodologia de análise de risco utilizada no presente trabalho é a mesma adotada por Steagall (2001) que consiste nos seguintes tópicos: definição de atributos incertos e seus respectivos níveis de incerteza, modelagem do reservatório, estudo de sensibilidade para definição dos atributos críticos, simulação de fluxo dos modelos em análise, tratamento estatístico, análise de risco (P10, P50 e P90). A metodologia de análise do impacto das simplificações adotadas no processo, objeto desse trabalho, concentra-se na escolha dos atributos de relevância e no número de níveis de incerteza na caracterização do reservatório na fase de desenvolvimento, como tratar tais atributos, análise de sensibilidade para redução do número de atributos, impacto da combinação gradativa dos atributos menos expressivos no estudo de sensibilidade, impacto da agregação de atributos. Este trabalho visa mostrar qual a influência de tais simplificações no processo e como escolher o número ideal de atributos.

## 2. Análise de Risco nas Previsões de Produção

Até a década de 80 era comum a adoção de uma única curva de previsão de produção de um modelo de reservatório no processo decisório de desenvolvimento de um campo. Tal aplicação era baseada em valores médios estimados ou valores avaliados a partir de informações limitadas sobre as diversas variáveis envolvidas, tais como: características geológicas, operacionais ou econômicas. O segundo grande choque dos preços de petróleo teve grande impacto na redução da rentabilidade de projetos. Tornou-se então, imprescindível que decisões estratégicas de E&P fossem fundamentadas em uma análise de risco acurada. A avaliação de risco requer uma análise mais abrangente dos diversos cenários razoavelmente possíveis gerando um espectro de estimativas do volume de hidrocarbonetos *in situ* e de parâmetros de desempenho de reservatório. O risco é função de 1) Incertezas geológicas, 2) Incertezas econômicas, e 3) Incertezas tecnológicas. Contudo, a quantificação do risco é afetada não apenas pelas incertezas mas também pelo modelo de estratégia de produção e processo de gerenciamento de decisão. No estágio de exploração, volume *in place* e fator de recuperação são suficientes na análise de risco. Contudo, no estágio de desenvolvimento é também necessário uma informação detalhada sobre a sensibilidade da recuperação, os investimentos necessários, número de poços, produção de água e gás, custos operacionais, etc.

### 2.1. Importância de quantificar incertezas

As decisões relativas a desenvolvimento de campos e gerenciamento de reservatórios são sempre associadas ao Risco devido as incertezas presentes no processo. O processo é sempre muito crítico porque muitos dos investimentos são realizados durante a fase onde as incertezas são maiores.

A quantificação da incerteza com relação ao desempenho de um campo permite uma melhor análise econômica de projetos de E&P, possibilita a obtenção das reservas sob uma ótica probabilística, auxilia na otimização dos planos de desenvolvimento e nas tomadas de decisão no gerenciamento dos reservatórios. Quantificar o impacto das incertezas do meio físico permite a obtenção da probabilidade nas estimativas do Valor Presente Líquido (VPL), possibilitando uma melhor comparação da atratividade destes projetos.

As incertezas com relação ao meio físico são provenientes de dúvidas com relação ao modelo estrutural do reservatório, propriedades dos fluidos, rocha e interação rocha-fluido. O conhecimento e modelagem do reservatório provêm de escassos dados diretos advindos de poços perfurados, de dados indiretos, principalmente sísmicos, da comparação com outros reservatórios ou mesmo afloramento apresentando um mesmo contexto geológico. As principais fontes de obtenção de dados são:

- Poços perfurados testemunhados: obtenção de amostras de rocha que permitem ensaios laboratoriais de porosidade, permeabilidade, pressão capilar, compressibilidade e permeabilidade relativa;
- Testes de formação e produção com coletas de amostras de fluidos para cálculo da transmissibilidade e IP do poço;
- Poços Perfurados fornecendo o tipo de rocha, porosidade, etc.

### 2.2. Simulação Numérica de Fluxo

A grande vantagem da utilização da simulação de fluxo é a incorporação da dependência entre as incertezas do volume *in situ* e sua distribuição, com incertezas relativas a heterogeneidades geológicas do reservatório e ao fluxo de fluidos que estão intimamente associadas. Na simulação numérica com incerteza é possível incorporar parâmetros de produção e operação do campo, como: datas de aberturas e fechamentos dos poços, restrições de produção, vazões limites e recompletações tornando as previsões mais realistas.

Os preceitos matemáticos que regem a simulação numérica adotada neste trabalho baseiam-se no tratamento numérico do sistema de equações que regem o problema físico onde o reservatório é discretizado em forma de malha. O método de discretização utilizado é o de diferenças finitas e o simulador adotado para as realizações das simulações, baseado no modelo Black-Oil.

### 3. Metodologia de Análise de Risco

A metodologia de análise de risco adotada neste trabalho tem como base os trabalhos desenvolvidos por Loschiavo *et al* (2000) e Steagall e Schiozer (2001), baseando-se na simulação numérica de fluxo dos modelos que representam os possíveis cenários do reservatório através da combinação dos atributos incertos que caracterizam o reservatório. A quantidade de modelos a simular é função do número de atributos e dos seus respectivos níveis de incerteza. Para redução do número de modelos simulados é realizado um estudo de sensibilidade na identificação dos atributos críticos, objetivando um direcionamento mais criterioso dos esforços relativos à redução da incerteza visando não apenas a quantificação da mesma, mas também a redução dos riscos de produção e econômico. Tal análise é efetuada com relação à função-objetivo VPL (Valor Presente Líquido), possibilitando uma melhor comparação da atratividade econômica entre projetos. Para os atributos selecionados para a análise foram atribuídos valores que representem sua incerteza e probabilidades de ocorrência associadas. Os modelos de simulação são construídos através da combinação de tais atributos. A probabilidade de cada modelo é equivalente ao produto das probabilidades de cada atributo que o compõe. O tratamento estatístico dos resultados possibilita a obtenção das previsões de produção com incerteza e risco.

Os trabalhos que utilizaram a metodologia de Análise de Risco com simulação de fluxo por questões de viabilidade práticas no que tange ao tempo computacional e de recursos humanos adotaram procedimentos de simplificações dentro desse processo. Procedimentos estes baseados no critério de identificação dos atributos críticos, do número de níveis de incerteza e na agregação de atributos.

### 4. Descrição da metodologia

A metodologia proposta objetiva quantificar o impacto das simplificações adotadas nos trabalhos vigentes permitindo agilidade nos processos de decisão e respostas mais precisas. Os critérios adotados baseiam-se:

- Escolha dos atributos importantes na caracterização do reservatório na fase de desenvolvimento;
- Como tratar tais atributos;
- Análise de sensibilidade - Escolha dos críticos;
- Influência do número de níveis para atributos críticos;
- Impacto da combinação gradativa dos atributos menos expressivos no estudo de sensibilidade;
  - Influência da Agregação X Desagregação de atributos.

#### 4.1-Atributos incertos adotados para análise:

Um campo na fase de desenvolvimento caracteriza-se por um forte cenário regido por incertezas. As mesmas provêm de dúvidas relativas ao modelo estrutural do reservatório, às propriedades de fluidos, às propriedades de rocha e interação rocha-fluido.

Os atributos incertos utilizados no presente trabalho estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 –Atributos incertos adotados

<b>Modelo Geológico</b>	<b>Parâmetros Rocha - Fluido</b>
<b>1- Geometria Externa:</b>	Permeabilidade horizontal
Limites	Porosidade
Espessura total	Compressibilidade da rocha
<b>2- Geometria Interna:</b>	Compressibilidade da água
Espessura porosa	Compressibilidade do óleo
Contato	Curvas de Permeabilidade relativa (o-w)
Permeabilidade vertical	Dados PVT

#### 4.2 Tratamento dos atributos:

Uma vez definidos os atributos incertos a serem analisados, faz-se necessário a descrição de sua incerteza. O ideal é o conhecimento de toda distribuição de probabilidade para o atributo. Usualmente os dados são insuficientes para a determinação da fdp (função distribuição de probabilidade). Muitas vezes dispõe-se da modelagem determinística do reservatório, através de mapas geológicos mais prováveis das características de rocha, fluido e rocha-fluido. O presente estudo encontra-se inserido na disposição dos mapas geológicos mais prováveis para atributos contínuos. A incorporação da incerteza é feita através de fatores multiplicativos e de escala baseada no conhecimento especialista para definição dos valores otimistas e pessimistas com referência à probabilidade associada. Para atributos discretos, tais como: (dados PVT de análises de poços diferentes, curvas de permeabilidade relativas originadas de ensaios de laboratório), a definição dos valores otimista e pessimista é obtida posteriormente a simulação.

#### 4.2.1- Caracterização dos níveis de incerteza para os atributos e suas respectivas probabilidades associadas.

Para cada atributo selecionado são atribuídos valores que representam os níveis de incerteza e suas probabilidades associadas em função do conhecimento especialista. Para atributos contínuos considerou-se uma probabilidade padronizada de 15% para os níveis otimista e pessimista para uma comparação não-tendenciosa na análise de sensibilidade. As Tabelas 2 e 3 caracterizam os níveis de incerteza para os atributos selecionados com suas respectivas probabilidades associadas.

Tabela 2-Níveis de incerteza e probabilidades associadas para atributos contínuos.

Atributos Contínuos		
Atributos	Níveis	Probabilidades associadas
<b>Espessura total (dk)</b>	<b>Base</b>	0.7
Otimista	(*1.15)	0.15
Pessimista	(*0.85)	0.15
<b>Espessura porosa (netpay)</b>	<b>Base</b>	0.7
Otimista	(*1.10)	0.15
Pessimista	(*0.90)	0.15
<b>Permeabilidade Horizontal (kh)</b>	<b>Base</b>	0.7
Otimista	(*1.50)	0.15
Pessimista	(*0.67)	0.15
<b>Permeabilidade vertical (Kv)</b>	<b>Base</b>	0.7
Otimista	(*2.0)	0.15
Pessimista	(*0.50)	0.15
<b>Contato óleo-água</b>	<b>Base</b>	0.7
Otimista	(+5m)	0.15
Pessimista	(-5m)	0.15
<b>Porosidade</b>	<b>Base</b>	0.7
Otimista	(*1.15)	0.15
Pessimista	(*0.85)	0.15
<b>Compressibilidade (óleo,água,rocha)</b>	<b>Base</b>	0.7
otimista	(*1.20)	0.15
pessimista	(*0.80)	0.15

Tabela 3-Níveis de incerteza e probabilidades associadas para atributos discretos.

Atributos	Níveis	Probabilidades associadas
<b>Limite</b>	<b>Base</b>	0.5
Otimista	(+7%)	0.3
Pessimista	(-7%)	0.2
<b>Dados PVT</b>	<b>Base</b>	0.4
Otimista	PVT1	0.4
Pessimista	PVT2	0.2
<b>Curvas de permeabilidade (krow)</b>	<b>Base</b>	0.34
Otimista	Krow1	0.33
pessimista	Krow2	0.33

#### 4.3- Modelo Adotado

A conotação adotada para o modelo base é a de modelo determinístico onde os atributos que o caracterizam são definidos supostamente como mais prováveis. O modelo utilizado é composto por dados reais e sintéticos. A estratégia de produção é baseada no esquema *five-spot* para distribuição dos poços, com 45 poços. É importante destacar que não se considerou a estratégia de drenagem como atributo incerto. A estratégia foi otimizada para o caso base com relação a função- objetivo VPL (Valor Presente Líquido) para um período de 20 anos de produção. O VPL indica qual o retorno financeiro caso o projeto seja executado e é muito utilizado na comparação de atratividade de projetos de mesmo porte. Os custos de implantação do desenvolvimento e de produção utilizados sem incerteza foram baseados em Pedroso (1999) e listados abaixo:

- Preço do óleo: US\$ 18,00 / barril;
- Preço do gás: US\$ 113 / Mm<sup>3</sup>;
- Taxa de atratividade: 15% ao ano;
- Tributação total: 45%;
- Custos de plataforma e de Facilidades de Produção: MM US\$ 360;
- Custo de produção de óleo: US\$ 3,2 / bbl;
- Custo de produção de água: US\$ 0,31 / bbl;
- Custo de injeção de água: US\$ 0,31 / bbl.

## 5- Aplicações e Resultados:

### 5.1- Estudo de Sensibilidade

O principal objetivo do estudo de sensibilidade é a redução do número de atributos incertos através da escolha dos críticos. Pode ser realizada através da substituição dos níveis de incerteza no caso base e análise através da simulação de fluxo. No caso do presente trabalho foi utilizada como função-objetivo principal o VPL (20 anos) e como função-objetivo secundária o VOIS (volume de óleo *in situ*) e o Np (Produção acumulada de óleo). Os resultados para duas das funções adotadas estão apresentados nas Figuras 1 e 2. A análise do VOIS é uma característica do reservatório e não um parâmetro de produção. Portanto, independe da estratégia de produção e representa as condições iniciais do reservatório.

A nomenclatura usada segue as seguintes regras:

- Índice 1 para valores otimistas e Índice 2 para valores pessimistas.
- Índice de propriedades: porosidade (por), espessura total (dk), espessura porosa (netpay), contato óleo-água (cont), limites (limit), permeabilidade horizontal (Kh), permeabilidade vertical (Kv), permeabilidade relativa (Kr), Tabela PVT (pvt), compressibilidades da rocha, óleo e água (cr, co, cw).

Após análise da sensibilidade, pode-se mostrar que a ordem de expressividade para os atributos incertos (ordem dos críticos) está diretamente relacionada com a função-objetivo adotada na análise para um determinado tempo de simulação.

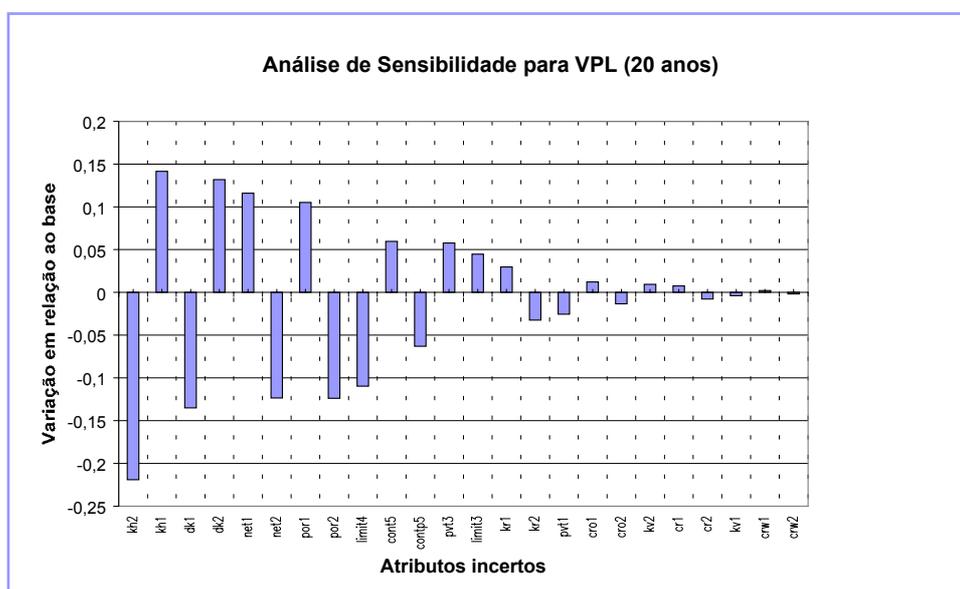


Figura 1. Análise de sensibilidade para o VPL (20 anos)

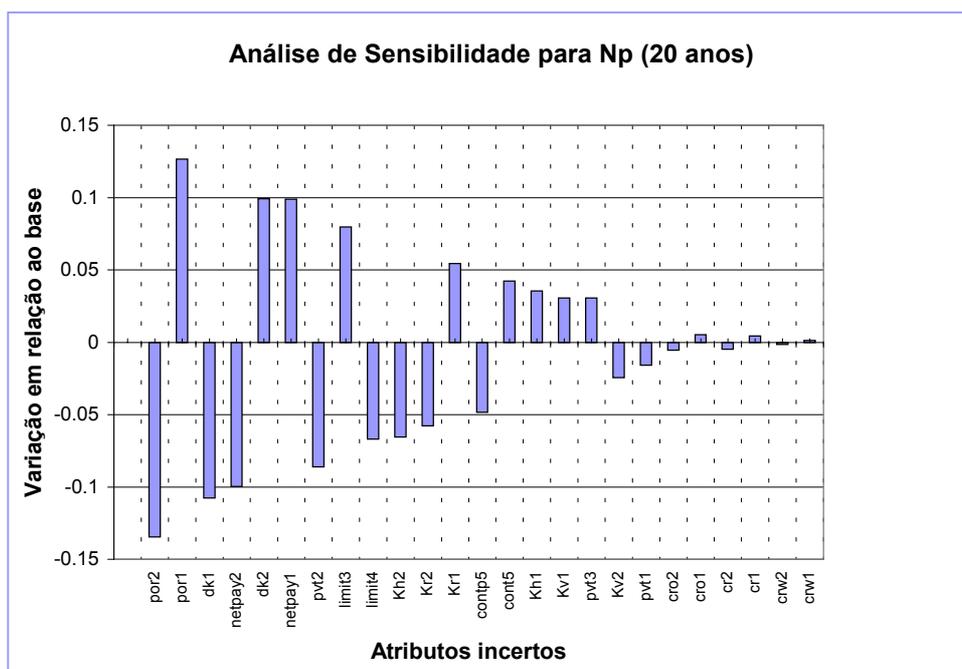


Figura 2. Análise de sensibilidade para o Np (20 anos)

### 5.2- Impacto da Combinação gradativa dos atributos menos expressivos no Estudo de sensibilidade

Através do estudo de sensibilidade é possível a identificação dos atributos críticos cujo objetivo é a redução do número de incertos. Após a análise de sensibilidade os atributos incertos são combinados com suas respectivas probabilidades para montagem dos modelos na construção da curva de risco. O somatório das probabilidades dos modelos combinados perfaz a unidade, mostrando que todas as possíveis realizações baseadas nos dados de entrada são consideradas. Esta etapa é o primeiro tópico do tratamento das simplificações adotadas por metodologias vigentes, em que o procedimento adotado pelas mesmas define uma variação em (%) para caracterização dos atributos críticos onde os valores abaixo desse percentual são descartados. No presente trabalho, a proposta é combinar gradativamente os atributos incertos e seus respectivos níveis e probabilidades associadas pela ordem de expressividade e avaliar o impacto dessa combinação gradativa, com a inclusão dos menos expressivos na obtenção da curva de risco através da simulação numérica. O número de atributos escolhidos pode ser definido pela influência da adição de cada atributo na análise. A função – objetivo adotada foi o VPL (20 anos). As Figuras 3 e 4 mostram a diferença na curva de risco quando o número de atributos aumenta. Pode-se observar que do 5º para o 6º atributo, a diferença nos percentis é pequena com relação ao tempo de montagem dos modelos e ao aumento do número de simulações em 3 vezes.

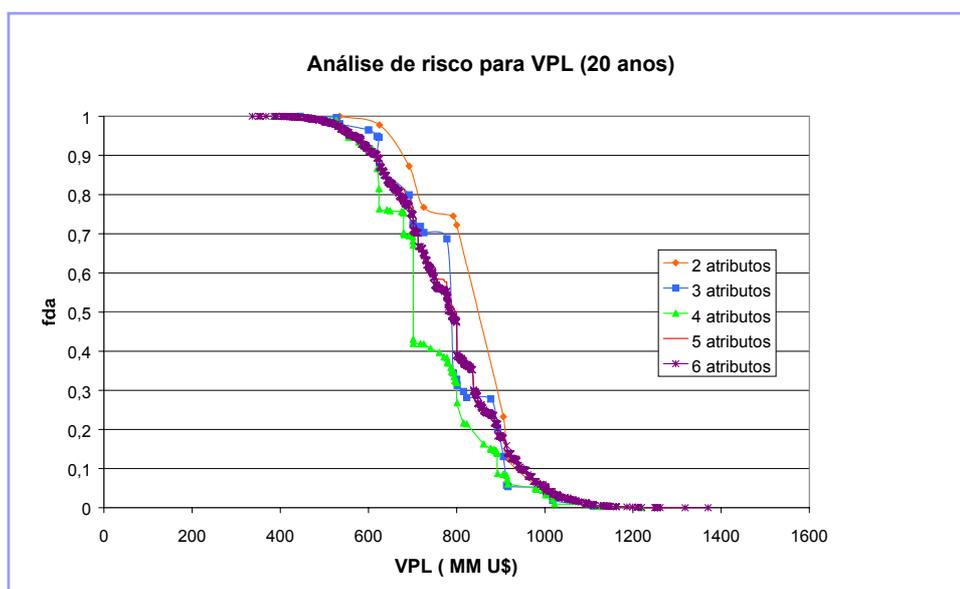


Figura 3. Curvas de Risco para combinação gradativa dos 6 atributos mais críticos.

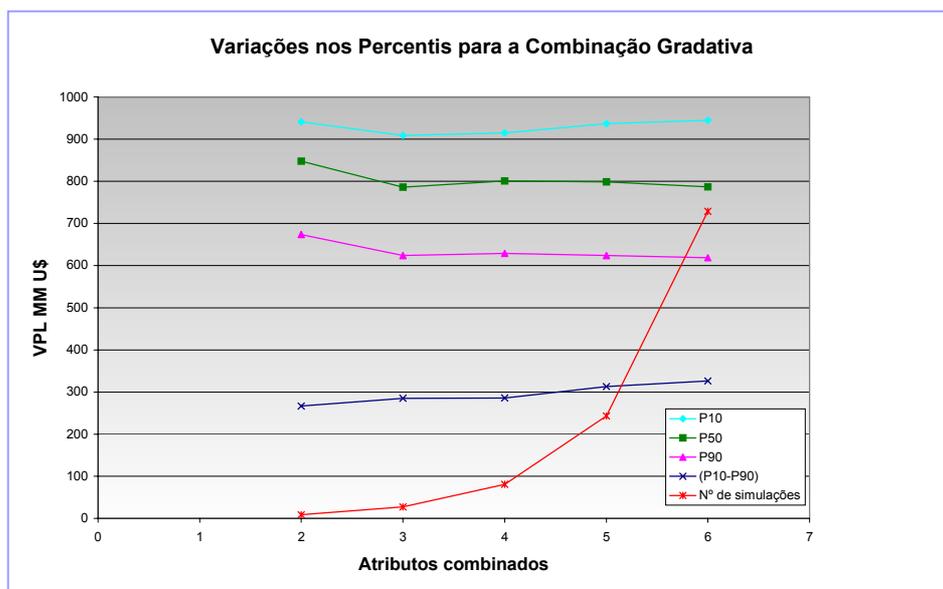


Figura 4. Variações no P10, P50 e P90 para o VPL e número de simulações quando o número de atributos aumenta.

### 5.2.1. Influência do Número de níveis incertos para atributos críticos

O objetivo desse tópico é avaliar qual o impacto na obtenção dos percentis otimista e pessimista ao considerar para o atributo crítico limite : 1) Seus dois níveis incertos; 2) Apenas o nível mais crítico, o pessimista , fazendo nesse caso a redistribuição de probabilidade entre o nível adotado e o caso base com relação ao nível descartado. Pode-se observar através da Figura 5 uma melhor distribuição próxima aos percentis P10 e P90 para a curva que considera os dois níveis incertos. Tal fato deve-se, a um maior número de modelos combinados diminuindo as variações entre as probabilidades dos mesmos . A Tabela 4 mostra que embora a continuidade para a curva que considera os 2 níveis incertos seja mais expressiva a variação quantitativa dos percentis foi pequena com relação ao aumento do número de simulações 2 vezes maior .

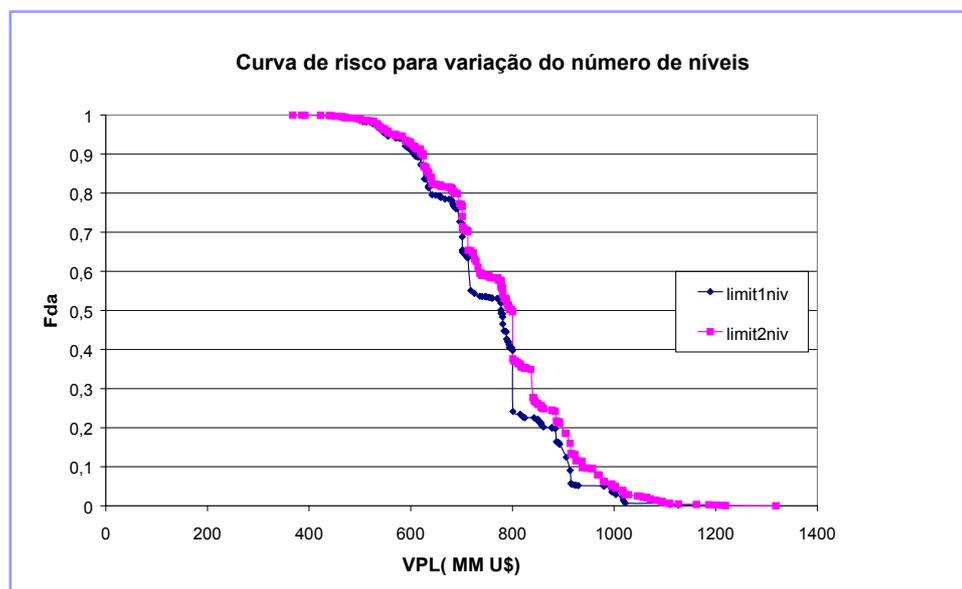


Figura 5. Curva de risco do VPL para variação de níveis de incerteza para o atributo limite.

Tabela. 5- Valores para os percentis do VPL com a variação no número de níveis incertos para o atributo limite.

Variação no nível incerto	P10	P50	P90
Limit2níveis	937	799	624
Limit1nível	911	788	609

### 5.3. Influência da Agregação x Desagregação de atributos

A agregação de atributos visa a redução do número de variáveis na análise de sensibilidade reduzindo o número de simulações no processo. Este ponto é mais um tópico do tratamento das simplificações adotadas nas metodologias vigentes. O objetivo desse tópico é avaliar qual o impacto nos valores dos percentis otimista e pessimista para a função -objetivo VPL quando atributos relativos ao volume encontram-se agregados na presença dos demais atributos envolvidos no estudo. Os atributos analisados foram: porosidade, espessura porosa, limites, contato e espessura total. O tópico subdividiu-se nas seguintes etapas: 1) Estudo de sensibilidade para o VOIS para os atributos descritos; 2) Construção da curva de distribuição para o VOIS na obtenção dos percentis otimista e pessimista; 3) Determinação de modelos representativos para atributos agregados; 4) Análise de sensibilidade para o VPL com relação aos demais atributos envolvidos no estudo; 4) Construção da curva de risco para o VPL considerando os atributos agregados e os demais atributos envolvidos no processo .

#### 5.3.1. Estudo de sensibilidade e construção da Curva de distribuição para o VOIS

Através do Estudo de sensibilidade os atributos listados foram combinados gradativamente para a obtenção da curva de distribuição do VOIS para agregação como mostra a Figura 6.

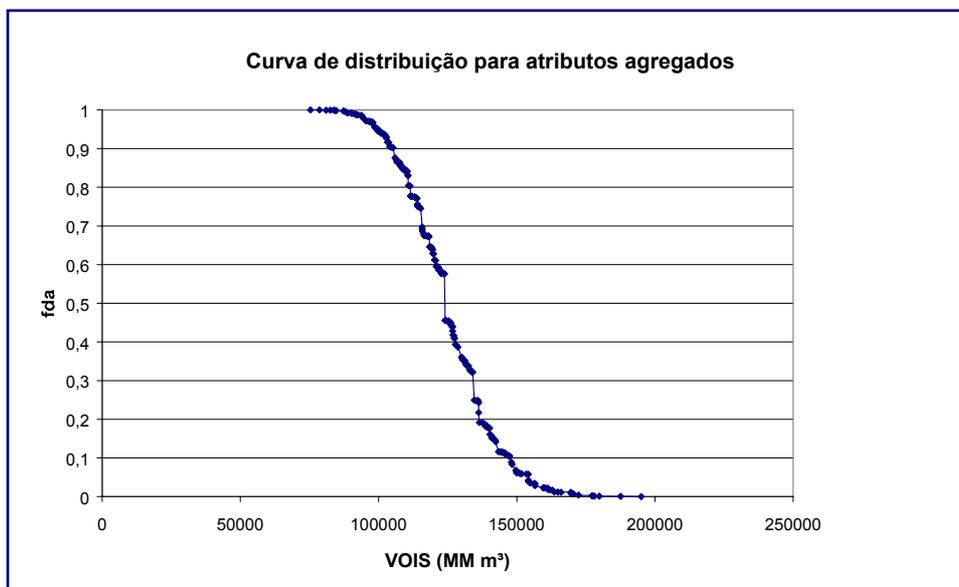


Figura 6. Curva de distribuição do VOIS para a Agregação de atributos.

Os valores para os percentis P10, P50 e P90 para o VOIS na distribuição da agregação foram respectivamente:

P10 = 147600 MMm³, P50 = 124000 MMm³, P90 = 105500 MMm³.

#### 5.3.2. Modelos representativos da Agregação

O objetivo nesse tópico é verificar quais modelos obtidos pela combinação dos atributos possam representar os casos otimista e pessimista para o tratamento da agregação. Os modelos representativos podem ser selecionados baseados no volume in place, fator de recuperação e VPL. O critério de seleção foi baseado nas informações das relações entre VOIS X Fr(%) e VOIS X VPL para cada modelo combinado. A Figura 7 mostra um exemplo de caso na seleção dos representativos para os percentis otimista e pessimista. Cruzando as informações entre as relações, foram definidos os modelos representativos mais expressivos. Os mesmos foram renomeados como AGREGA1-para o caso otimista e AGREGA2- para o caso pessimista para uma probabilidade de ocorrência de 15%.

**AGREGA1 (Caso otimista) = Limit2+cont1+dk1+por1 – VPL= 880.6 MM US**

**AGREGA2 (Caso pessimista) = Limit2+dk2+por1 – VPL = 685.9 MM US**

Em seguida foi realizada uma nova análise de sensibilidade para o VPL considerando os atributos agregados com relação aos demais atributos, como mostra a Figura 8. Observa-se que a agregação alterou a ordem dos atributos críticos, bem como diminuiu o número de incertos envolvidos no processo diminuindo dessa forma, o número de modelos combinados e de simulações. Através da combinação gradativa dos atributos da Figura 8, foi construída a curva de risco do VPL para a obtenção dos percentis otimista e pessimista. A Tabela 6 apresenta as variações nos percentis otimista e pessimista para a combinação com e sem atributos agregados. Pode-se observar que as variações são pequenas em comparação com a redução do número de modelos combinados e simulações para o processo.

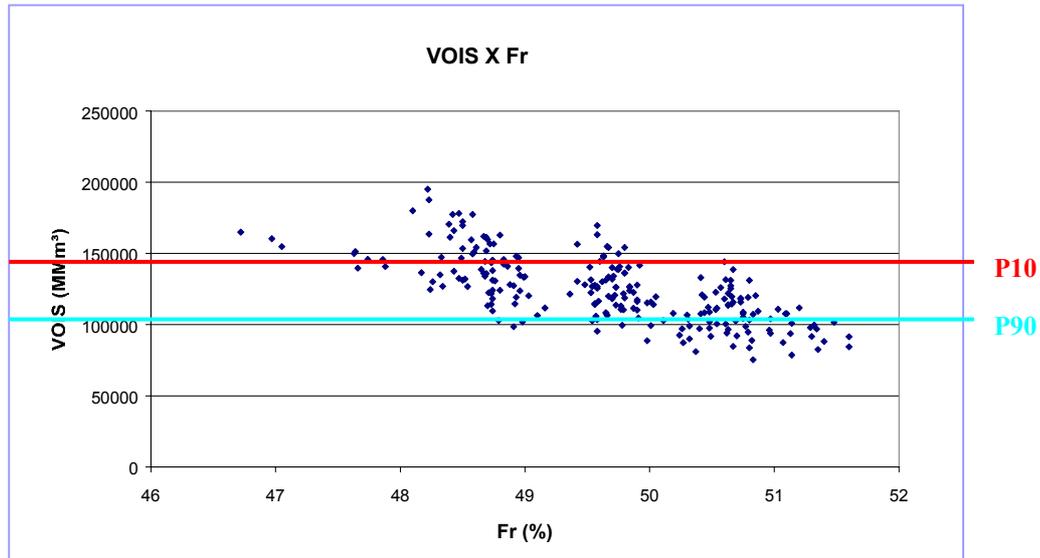


Figura. 7. Gráfico do VOIS x Fr (%) para determinação dos modelos representativos para Agregação.

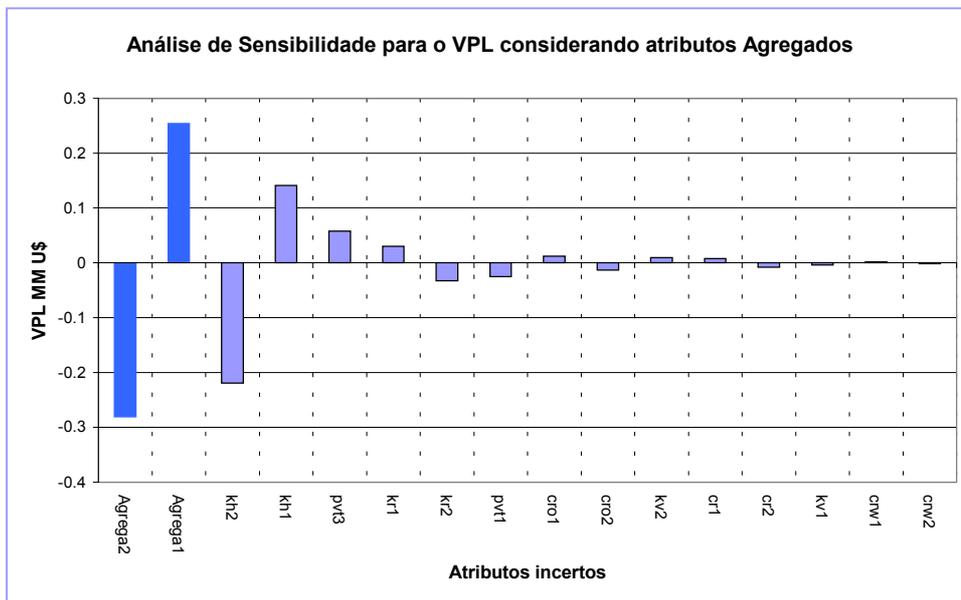


Figura. 8. Análise de sensibilidade para o VPL para todos os atributos envolvidos considerando os agregados.

Tabela 6. Variação nos percentis para o processo com e sem agregação.

Processo	P10	P50	P90
Com Agregação	917	858	678
Sem Agregação	908	786	624

#### 5.4. Discussão dos resultados

- A ordem dos atributos críticos está relacionada com a função - objetivo adotada para um determinado tempo de simulação;
- A descontinuidade acentuada apresentada na Figura 3 para as primeiras combinações, deve-se ao fato de que a distribuição da “*fda*” entre os modelos ocorre devido às baixas probabilidades dos seus níveis incertos. Tal descontinuidade, entretanto não implica necessariamente em perda de informações;
- No caso estudado, embora as pequenas variações apresentadas nos percentis na Figura 4 tenham mostrado que a combinação do 5º para o 6º atributo aumentasse o tempo desprendido na montagem dos modelos e no número de simulações, fica difícil a priori, estabelecer um critério de parada. Vale destacar, que tal comportamento não se trata de uma generalização. Cada caso deve ser diferente e portanto, faz-se necessário o acréscimo gradativo dos parâmetros incertos. O critério de parada dependerá fortemente do caso analisado, do tempo e precisão desprendidos ao projeto, etc. A proposta é automatizar o processo para incluir atributos até que a diferença entre os percentis não seja significativa;
- A redistribuição da probabilidade de ocorrência para o atributo limite apresentou pequenas variações para os percentis com relação ao VPL, na ordem de -1%, como mostra a Tabela 5. Tal redistribuição reduziu o número de modelos combinados em 50% e conseqüentemente, o tempo computacional;
- A relação entre as informações do VOIS x VPL e VOIS X Fr (%) para definição dos representativos, como mostrou um exemplo na Figura 7, proporcionou uma análise mais acurada para o processo, pois o gráfico VOIS X Fr(%) expressa a eficiência de drenagem e é decorrente das propriedades de fluxo associadas ao esquema de produção e o VOIS X VPL a análise econômica da modelagem;
- A análise de sensibilidade para avaliar a influência da agregação de atributos apresentou alteração na ordem dos atributos críticos em relação aos atributos desagregados, como mostra a Figura 8. Observou-se ainda, que após construção da curva de risco incluindo os atributos agregados, as variações nos percentis foram pequenas, como mostra a Tabela 6.

#### 6. Conclusões

- A análise de sensibilidade seguida da utilização da combinação gradativa permite uma análise mais detalhada do processo de obtenção da curva de risco permitindo adequar o problema à precisão e tempo desejados;
- Processo de análise de risco utilizando simulação de fluxo pode requerer grande esforço computacional e tempo montagem dos modelos. Contudo, o avanço da velocidade dos computadores e programas, a automatização do processo e a utilização da computação paralela distribuída permitem viabilizar a análise resultando em maior confiabilidade e precisão;
- A utilização da simulação de fluxo permite que os modelos encontrem-se disponíveis para estudos mais detalhados com relação ao plano de desenvolvimento, incluindo condições de vazão, pressão, restrições operacionais, etc., o que muitas vezes é fundamental para o cálculo completo dos indicadores financeiros;
- A agregação de atributos reduz o número de modelos combinados e o tempo de processamento para a análise de risco.

#### 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Petróleo pelo apoio financeiro.

## 7. Referências

- Campozaña, F. P. Ballin, P. R. Incerteza na Produção de Petróleo - Uma proposta simplificada. PETROBRAS. Documento Interno , 1998.
- Campozaña, F. P. Incorporating Dynamic Data into Geostatistics Reservoir Modeling. Austin, EUA. The University of Texas, 1997, 281p, Doutorado.
- Cruz, P. S. Reservoir Management Decision-Making in the presence of geological uncertainty. Stanford, EUA: Stanford University, 217p, 2000 Doutorado.
- Guedes, S. S., Pinto, A. C. C., Pizzaro, J. S. e Bittencourt, A. F. Aplicação de Análise de incertezas no desenvolvimento de acumulações petrolíferas marginais em águas profundas. Rio Oil & Gás Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2000.
- Loschiavo, R. Steagall D. E., Schiozer D. J. “Estudo do impacto de incertezas no desempenho de reservatórios de petróleo”. ENCIT, Rio Grande do Sul, 2000.
- Newendorp, P. D. Decision Analysis for Petroleum exploration. Penn well Publishing Co., Tulsa, Oklahoma, 1975.
- Steagall, D. E. e Schiozer D. J. Uncertainty Analysis in Reservoir Production Forecast during the Appraisal and Pilot Production Phases. SPE 66399, 16<sup>th</sup> SPE Reservoir Simulation Symposium, Dallas, Texas. 11-14. February 2001.

## SELECTION OF ATRIBUTES IN THE RISK ANALYSIS APPLIED TO THE APPRAISAL PHASE OF PETROLEUM FIELD.

### **Ana Paula de Araújo Costa**

Departamento de Engenharia de Petróleo – Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP  
Caixa Postal 6122 – Cep 13081-970  
Campinas – SP – Brasil  
[paula@dep.fem.unicamp.br](mailto:paula@dep.fem.unicamp.br)

### **Denis José Schiozer**

Departamento de Engenharia de Petróleo – Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP  
Caixa Postal 6122 – Cep 13081-970  
Campinas – SP – Brasil  
[denis@dep.fem.unicamp.br](mailto:denis@dep.fem.unicamp.br)

**Abstract:** *The present work show some details of the Risk Analysis applied to the appraisal phase of petroleum field with emphasis in the analysis of the geological impact uncertainties. This situation requires a detailed study using numerical flow simulation. However, the utilization of this tool can be increase the computacional time and invalidate the process. To make this process possible, some methodologies was developed to use some simplification in the Risk Analysis. The principal objective of this work is to quantify the impact of these simplifications, mainly, by the selection to the ideal number attributes. The procedure do define a simplifying criterion in a process is included in the quantification of the geological uncertainties through the description of the uncertainties attributes and its levels. The simplification procedure treatment in a Risk Analysis process is based on: (1) definition of the uncertainty attributes number, (2) sensibility study, (3) gradual combination influence analysis of the less critical attributes in sensibility study, (4) Aggregation attributes influence. The simulations results in these processes are combined to calculate the VPL (Liquid Present Value). After the statistical treatment of the results it is possible to define the Risk Curve.*

**Keywords:** *Uncertainty, Numerical Simulation, Risk Analysis, Appraisal phase.*