

## **XV COBREAP – CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE AVALIAÇÕES E PERÍCIAS- IBAPE/SP -2009**

### **NATUREZA DO TRABALHO: AVALIAÇÃO**

#### **RESUMO**

*Os investimentos em projetos da construção imobiliária vêm sofrendo uma instabilidade econômica em razão do mercado de capitais, crédito imobiliário e políticas governamentais. Empresas utilizam o método tradicional, como Fluxo de Caixa Descontado, que é um modelo determinístico cujo processo decisório não considera os ambientes de incertezas. Essas incertezas estão relacionadas ao risco do valor do ativo e seu retorno financeiro e suas volatilidades. A estimativa da volatilidade dos projetos de empreendimentos imobiliários será por meio de três processos estocásticos: Movimento Geométrico Browniano), Movimento de Reversão à Média e o modelo de Distribuição de Variáveis Aleatórias Lognormais, baseado na volatilidade dos preços dos bens imobiliários por meio de série histórica de suas vendas como proxy e valor presente dos fluxos de caixa em simulações do método de Monte Carlos. Nesta abordagem foi utilizado como base de estudo, um prédio de apartamento, em lançamento na cidade de São Paulo (SP), que apresenta a volatilidade nos projetos em empreendimentos da construção civil é, no mínimo, 65% mais elevada que nos preços dos apartamentos que indicam subestimativa na volatilidade de projetos com os preços dos apartamentos, mostrando um equívoco na montagem de cenários nas avaliações de empreendimentos imobiliários.*

**Palavras chaves:** Valor presente líquido, Volatilidade, Incerteza.

## 1. INTRODUÇÃO

A economia brasileira – e dentro dela o ambiente dos negócios imobiliários – vem sendo alimentada desde 2005, pelo mercado de capitais com emissão de ações pelas empresas do setor de construção imobiliária (construção civil, incorporação e venda de imóveis), crédito imobiliário e fundos de investimentos. Um recurso financeiro dessa magnitude requer que os investidores tratem, detalhadamente, seus projetos de investimentos para enfrentar as incertezas, não somente na expectativa de retorno, mas também no risco financeiro.

Há um cenário de incertezas na dinâmica de comportamento de variáveis econômicas e financeiras, como preços, taxas de juros e câmbio, que são variáveis aleatórias governadas por fenômenos probabilísticos de mercado que não podem ser determinados por cálculos matemáticos tradicionais, conhecidos como modelos determinísticos, os quais são normalmente utilizados para equacionar processos sem elementos aleatórios.

Nesse quadro econômico, existe a dificuldade de obter a variância do valor das variáveis na prática porque não há estatísticas confiáveis de negociação de empreendimentos, pois os dados são insuficientes, ou devido aos empreendimentos não serem normalmente negociados ou, em geral, porque são informações reservadas às empresas.

Como alternativa temos para estimativa da variância, método analítico com tratamento matematicamente aprimorado, envolvendo considerável complexidade, o que dificulta entendimentos e aplicações além do meio acadêmico.

No mercado de *commodities*<sup>1</sup>, a variância dos preços é mensurável, sendo possível estimar indiretamente a volatilidade de projetos correlacionando-a com as oscilações de preços de produtos, como Dixit e Pindyck (1994) e Trigeorgis (2000) em projeto de petróleo (por exemplo, se assume que a volatilidade do preço seja também do projeto de 20%). Mas, conforme Costa Lima e Suslick (2005 e 2006), esse método não pode ser empregado em projetos ou empreendimentos, porque não há séries históricas do seu fluxo de caixa, uma vez que diferentes projetos de um mesmo bem mineral possuem características distintas.

De acordo com Bordieri (2004), a incerteza do valor do projeto, chamada de volatilidade (ou variância) do projeto ( $\sigma_v$ ), está associada às expectativas que existem no momento atual sobre as incertezas dos futuros resultados de investimentos, caso haja implementação deste projeto.

A valoração de um projeto é bem diversa de um empreendimento. Os projetos são replicáveis e têm vida finita, já o empreendimento é uma sequência interminável de projetos.

E essa valoração deve ser praticada por engenheiros, arquitetos e agrônomos, cada um obedecendo a suas habilitações profissionais, de acordo com as leis do Confea – Conselho Federal de Engenharia e Arquitetura.

A modelagem para determinação e aplicação da volatilidade de projeto tem sido abordada na área acadêmica de petróleo e mineração, conforme Bordieri (2004), Costa Lima, Suslick e Bordieri (2005) e Costa Lima e Suslick (2006).

A volatilidade tem grande influência na valoração, que tem por base os conceitos modernos de investimentos sob incerteza. A maioria dos modelos de

---

<sup>1</sup> Por ser de uso corrente na literatura a designação *commodity* para os ativos negociados nas bolsas de mercadorias, utilizou-se esta terminologia neste trabalho na falta de adequada tradução para o Português.

previsão da volatilidade se apoia no comportamento passado dos preços dos ativos, mas eles dependem das expectativas dos agentes econômicos quanto à volatilidade futura.

O mercado imobiliário não possui uma série histórica dos preços dos bens (terrenos, apartamentos, residências, etc.) diversificados por região geográfica, muito menos nos casos dos projetos de empreendimentos da construção civil (ECC), ou seja, não existe possibilidade de prever a volatilidade futura desses projetos.

Assim, é importante desenvolver métodos mais fáceis, rápidos e precisos, que possibilitem melhores análises, estudos de cenários e aumentem a qualidade dos investimentos nos ECC.

Neste trabalho, determina-se a volatilidade do projeto de empreendimento da construção de um prédio de apartamento pelo método desenvolvido por Copeland e Antikarov (2001) e Costa Lima (2005), a partir três modelos de processos estocásticos que simulam o comportamento dos preços: Movimento Geométrico Browniano (MGB), Movimento de Reversão à Média (MRM) e o modelo de Distribuição de Variáveis Aleatórias Lognormais, além do método de Monte Carlo para simular a dinâmica dos fluxos de caixa futuro e investigar a hipótese usual de assumir que a volatilidade de projetos seja igual à volatilidade de preços. E uma comparação do comportamento da série histórica de preços de apartamento com a simulação dos processos MGB, MRM e lognormais.

O restante desse artigo está estruturado da seguinte maneira: a segunda seção apresenta uma revisão bibliográfica básica sobre volatilidade e sua determinação pelos processos estocásticos; a terceira seção descreve a metodologia adotada por meio de série histórica de preços de apartamentos; a quarta seção analisa os resultados obtidos e finalmente, a quinta seção, as conclusões do trabalho.

## **2. INVESTIMENTOS EM CONDIÇÕES DE INCERTEZAS – VOLATILIDADE**

### **2.1 Conceitos Básicos**

Para Hull (1995), a volatilidade de preço de uma ação é a medida da incerteza quanto às suas oscilações futuras. Mais precisamente, ela é a medida da incerteza quanto a mudanças proporcionais no preço da ação. Denotaremos o parâmetro de volatilidade por  $\sigma$ . Ela é definida de modo que o desvio padrão da mudança proporcional no preço da ação num pequeno período de tempo  $\Delta t$ , seja  $\sigma \Delta t$ .

Segundo Minardi (2004), a volatilidade do preço do ativo-objeto<sup>2</sup> compreende o desvio-padrão dos retornos dos preços do ativo-objeto. Quanto maior a volatilidade, maior a probabilidade de que um ativo tenha um grande retorno positivo ou um retorno muito negativo. De fato, quanto maior a movimentação ou a “velocidade” do mercado e dos ativos que o compõem, maior será o valor da opção sobre estes ativos. A expressão que define o desvio-padrão é:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (x_j - \bar{x})^2}{N}}, \quad [01]$$

onde,  $\sigma$  = desvio-padrão,  $\bar{x}$  = média,  $x_j$  = números da série e  $N$  = total de elementos.

---

<sup>2</sup> Ações, índices, moedas estrangeiras, instrumentos de débito, *commodities* e contratos futuros.

O método mais comum para a obtenção da volatilidade histórica é o cálculo da variação do logaritmo neperiano da série de preços. A volatilidade nada mais é do que o desvio padrão desta série:

$$\text{Volatilidade estimada} = \sigma_p = \text{Desvio padrão} \left\{ \left[ \ln \left( \frac{S_i}{S_{i-1}} \right) \right]_{i=1}^N \right\} \quad [02]$$

Para Dixit e Pindyck (1994), nos processos estocásticos<sup>3</sup> uma variável desenvolve-se no tempo de um modo que é pelo menos em parte aleatório. Para Hull (1995), qualquer variável cujo valor mude ao longo do tempo de maneira incerta segue um processo estocástico.

Sob incerteza, uma variável futura não pode ser determinada por um único valor, mas por uma distribuição de probabilidade de seus possíveis valores. A volatilidade expressa a medida desta dispersão. Especificamente em aplicações econômicas, a volatilidade  $\sigma$  de um ativo é uma avaliação da incerteza sobre o retorno financeiro proporcionado por esse ativo.

Segundo Merton (1990), um processo de Markov assume que toda a informação relevante do passado já está considerada no valor corrente da variável, assim as informações do passado são redundantes.

O método de simulação de Monte Carlo é um famoso método de simulação que tem por base a geração de números aleatórios de acordo com parâmetros definidos para as variáveis que compõem o modelo a ser utilizado.

Conforme Jorion (1998), “o método de Monte Carlo aproxima o comportamento dos preços de ativos financeiros, através de simulações de computador, que geram trajetórias aleatórias”.

O conceito básico do método de *Monte Carlo* é a simulação por repetidas vezes (digamos 50.000 iterações) de um processo estocástico para uma variável financeira simulando a maior parte das situações/resultados possíveis.

Basicamente, o modelo tem como entradas, variáveis que respeitam certo padrão de distribuição. A partir disso, são gerados números aleatórios para cada uma das variáveis, seguidos dos diversos parâmetros de distribuição. A cada iteração o resultado é armazenado. Ao final de todas as iterações, a sequência de resultados gerados é transformada em uma distribuição e seus parâmetros, como média e desvio-padrão, por exemplo, podem ser calculados.

## 2.2 Determinação da volatilidade do projeto ( $\sigma_v$ )

Conforme Bordieri (2004), para determinação da volatilidade do projeto ( $\sigma_v$ ), foram realizadas simulações nos modelos de comportamento de preços, na planilha de fluxo de caixa que geram os possíveis resultados para o VPL do empreendimento. A simulação de *Monte Carlo*, conforme Costa Lima (2005), é uma ferramenta que permite incorporar incertezas econômicas, financeiras e técnicas à estimativa de volatilidade de retorno do empreendimento. Adotou-se a metodologia proposta por Copeland e Antikarov (2001), conforme o Teorema de Samuelson, que considera a volatilidade como a dispersão das amostras dos resultados de investimento em relação ao valor esperado, avaliado, pela hipótese, como o desvio-padrão dos logaritmos naturais do quociente dos valores dos empreendimentos (VPL) em dois instantes consecutivos de tempo, conforme equação 3.

<sup>3</sup> Um processo estocástico é a expressão da evolução no tempo de uma variável incerta. Não é possível, a priori, conhecer seu valor e este pode ser diferente em idênticas condições.

$$\sigma_v = \sqrt{\text{Var} \left[ \ln \left( \frac{VPL_1}{VPL_0} \right) \right]}, \quad [03]$$

onde o denominador é o valor presente do empreendimento no ano zero. O numerador é o valor presente do fluxo de caixa do empreendimento tempo 1, acrescido do fluxo de caixa do projeto do ano zero atualizado para o tempo 1.

O Teorema de Samuelson prova que a taxa de retorno de qualquer ativo seguirá um caminho aleatório, independentemente do padrão do fluxo de caixa esperado, desde que o investidor tenha informação completa sobre o fluxo de caixa. Assim, toda informação sobre o fluxo de caixa futuro já está considerada no valor atual do ativo, de forma que se todas as expectativas forem confirmadas, a remuneração do investidor será exatamente a taxa de retorno esperada. Portanto, qualquer variação no retorno esperado, provocada por eventos aleatórios que alterem o fluxo de caixa esperado, representa a incerteza do valor do ativo, que é sua volatilidade.

Na obra de Copeland e Antikarov (2001) apresentam-se as provas do Teorema de Samuelson, exemplos numéricos e evidências quantitativas. Bordieri (2004) e Lima e Suslick (2006), estimaram a volatilidade de projetos de E&P<sup>4</sup> de petróleo a partir de dados do mundo real. Os autores concluem considerando que o Teorema de Samuelson é uma hipótese suficientemente válida para ser utilizada na avaliação da volatilidade de sigma v ( $\sigma_v$ ) e apresenta aplicações da abordagem de Monte Carlo às estimativas de desvio padrão de taxas de retorno de projetos.

### 2.3 Modelos probabilísticos de volatilidade

Para estimar o comportamento da volatilidade do valor do projeto às alterações da variável crítica de entrada, este trabalho utiliza três processos estocásticos: Movimento Geométrico *Browniano* (MGB), Movimento de Reversão à Média (MRM) e Modelo de Distribuição de Variáveis Aleatórias Lognormais.

O modelo de evolução de preço ao longo do tempo, segundo o MGB, é obtido através da equação estocástica, cuja forma é:

$$dX = \alpha X + \sigma X dz, \quad [04]$$

onde  $\alpha$  é a taxa de crescimento do ativo,  $\sigma$  é a volatilidade constante e  $dz$  é o incremento de Wiener.

O MGB é um processo de difusão lognormal não estacionário, que tem como principal característica o crescimento linear da variância ao longo do tempo. Segundo Hull (1995), este é o modelo mais amplamente utilizado nas simulações de comportamento dos preços de ações. Para MGB, Bordieri(2004) mostra:

$$P_{t+1} = P_t e^{[(\alpha - 0,5\sigma^2)\Delta t + \varepsilon \sigma \sqrt{\Delta t}]}, \quad [05]$$

onde P é preço do imóvel,  $\alpha$  é o parâmetro de taxa de tendência,  $\sigma$  é o parâmetro da taxa de volatilidade e  $\varepsilon$  é a variável aleatória amostrada em uma distribuição normal reduzida,  $N \sim (0,1)$ . Observa-se que como o MGB é um Processo de Markov, o valor de  $P_{t+1}$  depende apenas de  $P_t$  e não adicionalmente do que ocorreu antes do tempo t (e que apenas um preço inicial é necessário para se obter a distribuição de probabilidade de preços futuros).

O MRM é um processo de difusão lognormal estacionário, mas com a variância crescendo não proporcionalmente ao intervalo de tempo (equação 06). As

<sup>4</sup> Exploração e Produção

principais aplicações do MRM são em modelos de preços de *commodities* e taxas de juros.

$$P_{t+1} = e^{\{[(\ln P_t)e^{-\eta\Delta t}] + [(\ln \bar{P})(1 - e^{-\eta\Delta t})] - [\frac{\sigma^2}{4\eta}(1 - e^{-2\eta\Delta t})] + \varepsilon^* \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-\eta\Delta t}}{2\eta}}\}}, \quad [06]$$

onde P é preço inicial do imóvel,  $\bar{P}$  é um patamar de preços de equilíbrio estacionário ou uma média que reflete os custos marginais de produção para o qual o preço tende a reverter,  $\eta$  é o parâmetro de velocidade de reversão e  $\sigma$  é a volatilidade de preços.

Na distribuição lognormal, os parâmetros que a especificam são: média  $\mu$  e desvio padrão  $\sigma$ , os seus preços não são dependentes enquanto no MGB e MRM são, isto é, cada preço é selecionado da distribuição lognormal e o resultado é uma ampla variação do VPL. A função de densidade de probabilidade de uma distribuição lognormal apresenta um modelo, conforme equação 7.

$$f(P) = \frac{1}{p\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(P)-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad [07]$$

O programa *Crystal Ball* da *Oracle* funciona como macro em planilha *Excel* que permite modelar distribuição randômica de uma ou mais variáveis, gerando amostras de valores possíveis segundo as definições das funções densidade de probabilidade que as caracterizam.

Assim como as funções do *Excel*, as distribuições de função contêm dois elementos, um nome da função e seus argumentos.

### 3. METODOLOGIA ADOTADA

A metodologia utilizada neste trabalho envolve a avaliação da volatilidade de projeto de empreendimento da construção civil (apartamento), mediante simulações de Fluxo de Caixa Descontado pelo método de *Monte Carlo* no aplicativo *Crystal Ball*, com a determinação da volatilidade *proxy* do preço do bem inferido através da série histórica do apartamento (tipo 2 dormitórios), medindo-se a dispersão da distribuição de probabilidades dos resultados, conforme metodologia proposta por Copeland e Antikarov (2001) para estimar a volatilidade do valor do projeto.

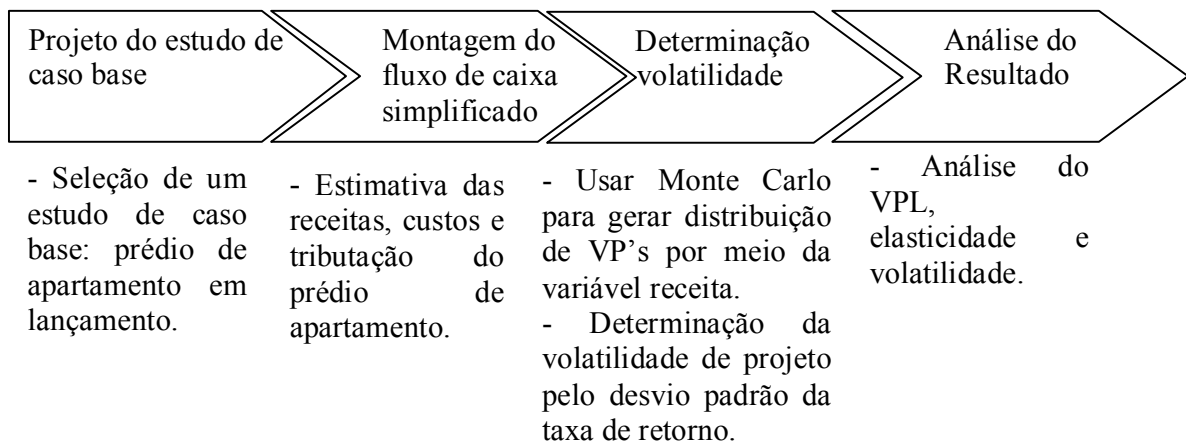


Figura 1: Etapas previstas.

#### 3.1 Avaliação e modelagens dos dados de entrada

Para aplicação do método utilizou-se como base de estudo um empreendimento da construção civil de um projeto de prédio de apartamentos em lançamento em São Paulo (SP), com os dados discriminados na tabela 1.

Tabela 1: Dados do empreendimento

Empreendimento:	Apartamentos
Cidade:	São Paulo (SP)
Áreas (m <sup>2</sup> ):	
Terreno:	1.849,25
Privada	7.778,34
Construção:	11.667,51
Estilo:	moderno
Padrão (2 dormitórios):	médio
Número de torres:	1
Número de apartamentos/andar:	6
Número de pavimentos:	24
Número total de unidades:	130
Número de vagas por unidade:	2

Dentre os métodos existentes para estimação quantitativa da volatilidade do preço do imóvel, utilizou-se o método histórico, com dados de vendas do apartamento tipo do estudo de caso e simulação *Monte Carlo* para simular a volatilidade de projeto do empreendimento analisado. Os dados históricos dos valores médios de vendas de apartamentos de 2 dormitórios na cidade de São Paulo foram obtidos por meio de dados pesquisados pelo SECOVI SP<sup>5</sup> corrigido pelo IGP-M<sup>6</sup>, conforme figura 2.

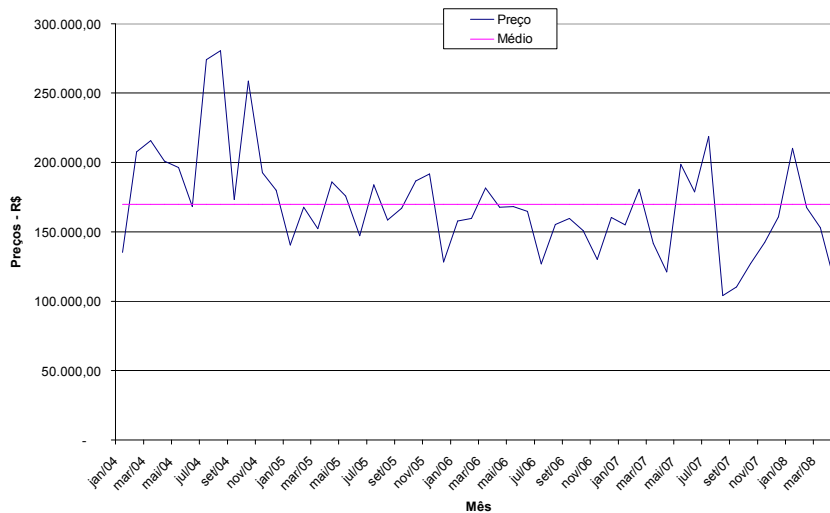


Figura 2: Preços médios de venda de apartamentos de 2 quartos em São Paulo de julho/2004 a abril/2008. Fonte: Secovi SP.

Utilizando a equação 2 pode-se obter, então, como *proxy* 21,11%, a volatilidade histórica do mercado imobiliário de apartamentos de 2 quartos na cidade de São Paulo (SP).

<sup>5</sup> Sindicato das Empresas de Compra, Venda, Locação e Administração de Imóveis Residenciais e Comerciais de São Paulo.

<sup>6</sup> Índice Geral de Preços do Mercado mede a variação de preços no mercado de atacado, de consumo e construção civil.

### 3.2 Fluxo de caixa simplificado do empreendimento

O fluxo de caixa simplificado de projetos de ECC é composto essencialmente por valores monetários de entradas e saídas de caixas, provenientes de receitas pela venda dos bens e despesas da atividade do empreendimento. A fatia governamental compreende tributos e Imposto de Renda, a Contribuição Social sobre Lucro Líquido, o COFINS e o PIS.

O próximo passo é o cálculo do fluxo de caixa descontado (FCD) do empreendimento por meio da projeção do fluxo financeiro e o VPL para o empreendimento, contemplando, assim, os resultados financeiros.

Tabela 2: Fluxo de caixa simplificado (R\$ mil).

Ano	0	1	2	3	4	5
Preço unitário - R\$/m <sup>2</sup>		3,79	3,79	3,79	3,79	3,79
Receita		5.897	5.897	5.897	5.897	5.897
Custo da obra		6.763	6.763			
despesas c/ITBI, publ. e vendas		472	472	472	472	472
COFINS e PIS		38	38	38	38	38
Resultado oper. bruto		-1.376	-1.376	5.387	5.387	5.387
custos para CS/IR		3.460	3.460	3.460	3.460	3.460
resultado líquido antes de IR/CS		2.437	2.437	2.437	2.437	2.437
CS sobre o lucro		219	219	219	219	219
resultado antes do IR		2.218	2.218	2.218	2.218	2.218
IR		366	366	366	366	366
Fluxo de caixa livre		-1.961	-1.961	4.802	4.802	4.802
CAPM		0,160	0,160	0,160	0,160	0,160
Fator de desconto		0,862	0,744	0,641	0,553	0,477
VP do fluxo de caixa livre		-1.691	-1.458	3.080	2.656	2.290
VP do projeto	4.877					
Investimento	1.969					
VPL do projeto	2.908					

### 3.3 Determinação da volatilidade do empreendimento

As simulações de Monte Carlo foram desenvolvidas em planilhas eletrônicas comuns, como a *Microsoft Excel*, e com o auxílio de ferramenta desenvolvida pela empresa americana *Oracle*, especialmente para essa finalidade: o *software Crystal Ball 7.3.1*.

No modelo de estimativa do VPL dos projetos, primeiramente trata-se de construir o fluxo de caixa por meio da projeção de custos, preços, produção, etc. Obtém-se o valor presente do fluxo de caixa do projeto conforme dados da tabela 2. Com os dados da tabela 3, equações 5,6 e 7 e fluxo de caixa simplificado, tabela 2, estimamos as volatilidades do projetos.

Tabela 3: Parâmetros de entrada do projeto, usando Distr.Lognormal, MGB e MRM.

Parâmetros	Apartamento
Preço (R\$ mil/m <sup>2</sup> )	3,79
Custo (R\$/m <sup>2</sup> )	1.739,00
Taxa de crescimento do preço ( $\alpha$ )	0,10%
Custo do Capital ( $\mu$ )	15,96%
Volatilidade do preço ( $\sigma_p$ )	21,11%
Velocidade de reversão à média ( $\eta$ )	0,139
Preço médio anual (R\$ mil/m <sup>2</sup> )- $\bar{P}$	3,39
Investimentos (I) - R\$ mil	2.583,01

Para estimar a volatilidade do valor dos projetos, foi adotada, neste trabalho, a metodologia proposta por Copeland e Antikarov (2001), que por extensão do Teorema de Samuelson, considera a volatilidade como a dispersão das amostras



dos resultados de investimento em relação ao valor esperado, avaliado, pela hipótese, como o desvio padrão dos logaritmos naturais do quociente dos valores dos projetos em dois instantes consecutivos de tempo, conforme equação 3. O denominador permanece constante, calculado para o preço inicial e equivalente a valor do projeto no ano zero. Os numeradores, que são os valores do VPL no final do primeiro ano, variam a cada passo com os dados obtidos por simulações dos processos estocásticos de fluxos de caixa com preços aleatórios.

O programa *Cristal Ball* repete as iterações, armazena os resultados do  $VPL_1$  calculados para todas as iterações (50.000), divide o valor obtido por  $VPL_0$ , calcula os logaritmos naturais do quociente em planilha com dados de saída e estima o desvio padrão da amostra ( $\sigma_v$ ). A figura 2 mostra a tela de saída de resultados.

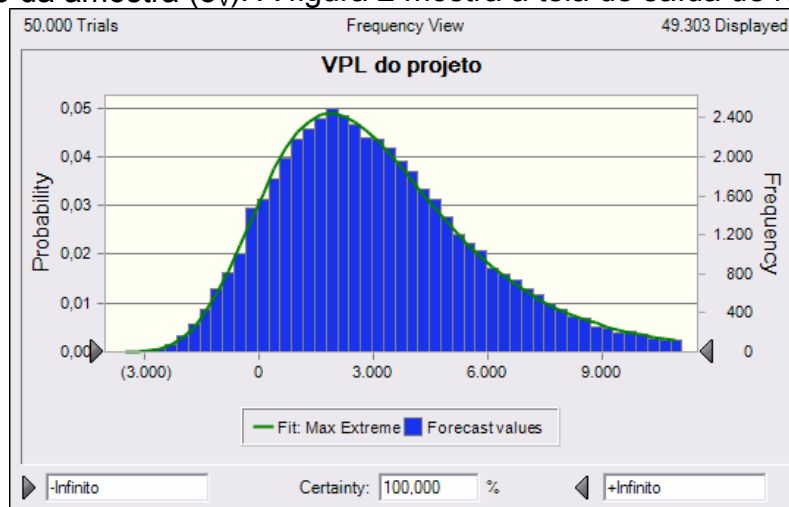


Figura 1: Interface da planilha do Cristal Ball com resultado da simulação.

Estimaram-se, então, as volatilidades dos projetos de empreendimento na construção civil ( $\sigma_v$ ) apresentados na última linha na tabela 4.

Tabela 4: Indicadores do FCD e volatilidade do projeto do estudo de caso (R\$ mil).

Indicadores	Log normal	MGB	MRM
V	4.876,92	2.594,71	2.714
I	1.968,91	1.968,91	1.968,91
VPL	2.908,01	625,80	5.693,83
E	3,09	3,11	1,72
$\sigma_v$	65,26%	65,57%	36,41%

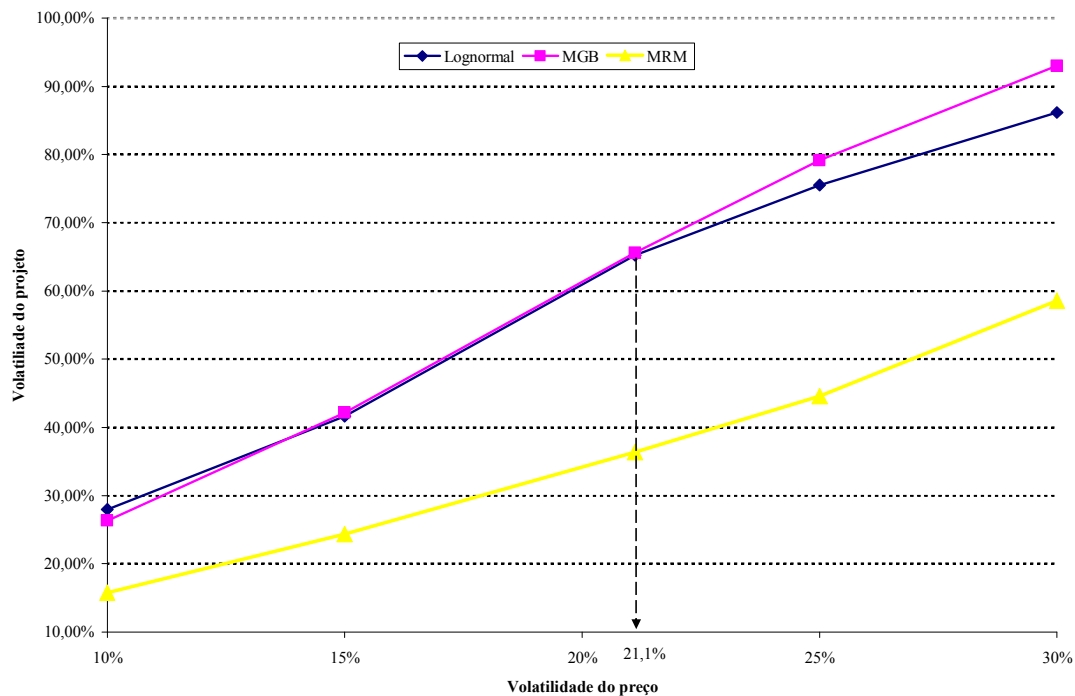


Figura 3: Sensibilidade da volatilidade de preço com volatilidade do projeto.

#### 4. RESULTADOS DA MODELAGEM

Os resultados da tabela 4 indicam que o valor de volatilidade do projeto corresponde a um aumento de 1,72 a 3,11 do preço do bem (apartamento).

Para as estimativas da elasticidade inicial  $E_0 = (\sigma_v / \sigma_p)$ , para  $\sigma_p = 21,11\%$ , conforme tabela 3, a Elasticidade ( $E$ )  $> 1$  significa que  $\sigma_v > \sigma_p$ . Portanto, a solução tradicional de adotar  $\sigma_v = \sigma_p$  tende a subestimar a incerteza real dos valores dos projetos de empreendimentos da construção civil.

Geralmente, a volatilidade do projeto aumenta se a volatilidade do preço aumenta e vice-versa, e MGB e distribuição lognormal seguem a mesma tendência e são mais sensíveis, enquanto a MRM apresenta uma tendência menos sensível.

#### 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados deste trabalho indicam que a hipótese tradicional de assumir a aproximação que a volatilidade de preços de bens imobiliários represente a volatilidade de projetos de ECC pode induzir a subestimativa nas suas valorações e tomada de decisão.

Conforme Costa Lima (2006), essas elasticidades mostram discrepâncias nas estratégias das empresas de adotarem a volatilidade dos preços para reduzirem seus riscos financeiros, seja por meio de instrumentos financeiros (*hedge*, opções, contratos futuros, etc.) como por meio de formação de parcerias (*joint-venture*).

Dentre os modelos estocásticos, utilizados conforme figura 4, o MRM mostrou melhor comportamento, graficamente, de preços que os demais, porque o mercado imobiliário não é restrito à entrada e saída de empresas, o preço não aumenta ou diminui indefinidamente, mas tende a oscilar em torno de uma medida de tendência central de longo prazo, conforme figura 2 e 4, podendo, portanto, fornecer resultados econômicos significativos, enquanto que a distribuição aleatória

lognormal apresenta variâncias expressivas no tempo (mês) que não refletem o comportamento real dos preços imobiliários; o MGB apresenta uma tendência de gerar valores altos e baixos, sem significado econômico.



Figura 4: Amostras de trajetórias de preços por Modelo de Distribuição Lognormal, MGB e MRM com 3 iterações cada.

Para Bordieri (2004), por ser um processo simples e eficiente, esta metodologia proposta para determinação da volatilidade de projetos representa uma contribuição para o aprimoramento dos processos de cálculo em avaliação moderna de investimento e gestão de risco em projetos.

A importância da simplicidade é facilitar o entendimento e aplicabilidade do método na qualidade de investimentos numa carteira destes em ECC e a utilização do MRM como previsão do comportamento estimado das variáveis preços dos imóveis nos projetos de empreendimento da construção civil.

As principais limitações deste trabalho são:

- Utilização de apenas um projeto de empreendimento e poucos trabalhos acadêmicos no setor da construção civil;
- Embasamento em simulações numéricas, cujos resultados foram obtidos para uma amostra limitada, em função dos dados disponíveis. Assim, estes

resultados não podem ser entendidos de maneira genérica para aplicação direta na análise de outros projetos com diferentes parâmetros, sendo necessário fazer uma análise específica para obter estimativas menos imprecisas dos valores prováveis para  $\sigma_v$  de cada projeto em particular (BORDIERI, 2004).

Os dados disponíveis no mercado imobiliário são escassos porque não são divulgados de forma pública, são restrito a cada empreendimento.

Novas pesquisas poderão explorar o comportamento da volatilidade de projetos sob um modelo que considere os efeitos de incertezas de custos operacionais, de custo de capital, parâmetros tributários e novas tecnologias construtivas.

Para sua continuidade, seria interessante programar uma rotina para estimativa da volatilidade de projetos de ECC, com base nos parâmetros de entrada e metodologia deste trabalho, que venha possibilitar uma rápida avaliação de projetos de forma geral.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BORDIERI, C.A. Um Método Quantitativo para Estimativa da Volatilidade de Projetos de Produção de Petróleo. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, 2004. 153 p. Dissertação de mestrado.
- COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2002. 368 p.
- COSTA LIMA, G.A.; SUSLICK, S.B. Estimation of volatility of selected oil production projects. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, n. 54, p. 129-139, jul 2006.
- COSTA LIMA, G.A.; SUSLICK, S.B. Estimating the volatility of mining projects considering price and operating cost uncertainties. **Resource Policy**, n. 31, p. 86-94, jul 2006.
- COSTA LIMA, G.A.; SUSLICK, S.B. Estimativa da volatilidade de projetos de bens minerais **REM - Revista Escola de Minas**, Ouro Preto (MG), n. 59(1), p. 37-46, jan/mar 2006.
- DIXIT, A.K.; PINDYCK, R.S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994. 468 p.
- HULL, J.C., **Introduction to Futures & Option Markets**, 2.ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice-Hall Inc. 1995, p.262
- JORION, P. Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk; tradução da Bolsa de Mercadorias & Futuros. São Paulo: BM&F, 1998.
- LUEHRMAN, T.A. Investment opportunities as real options: getting started on the numbers. **Harvard business review**, p. 51-67, jul./aug. 1998.
- MATOS, O.C. **Econometria Básica**. São Paulo: Editora Atlas, 1995. 293 p.
- MERTON, R.C. Continuous-Time Finance. Blackwell Publisher Inc, Cambridge, MA, 1990 (revised edition, 1992), 734 p.
- MERTON, R. Theory of ration option pricing. **Journal of Economy and Management**, n.4, p.141-183, spring, 1973.
- MINARDI, A.M.A.F. **Teoria de opções aplicada a projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2004. 135 p.
- TRIGEORGIS, L. **Real options: managerial flexibility and strategy in resource allocation**. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 2000. 427 p.