

Limites de Preço Mínimo e Máximo para Registro de Opções Flexíveis *Caps, Floors, Knock-ins, Knock-outs e Rebates*

Verdi Rosa Monteiro
Cícero Augusto Vieira Neto
Regiane Toledo Paneczko
Alexandre de Salles Oliveira

1. Introdução

A Clearing de Derivativos da BM&F aceita o registro de negócios de opções flexíveis de Dólar e Ibovespa, realizados em mercado de balcão. Os contratos de opção flexível possuem parâmetros que são definidos diretamente entre as contrapartes, tais como:

- opção de compra ou de venda (*call* ou *put*)
- possibilidade ou não de exercício antecipado (americana ou européia)
- preço de exercício
- data de vencimento
- data de pagamento do prêmio
- preço de barreira do tipo *cap* ou *floor*
- preço de barreira do tipo *knock-in*
- preço de barreira do tipo *knock-out*
- preço de rebate

Em 25/10/02, a Clearing de Derivativos estabeleceu limites de preço para a aceitação do registro de negócios com opções flexíveis através do ofício circular 143/2002. Em outras palavras, todos os negócios com opções flexíveis submetidos à BM&F passaram a ser precificados de acordo com modelos teóricos consagrados na literatura de finanças e largamente utilizados pelo mercado. Em função desses modelos, a BM&F passou a calcular dois preços teóricos para cada negócio submetido, um mínimo e um máximo, ficando a aceitação da operação condicionada à observância desses limites.

Este artigo apresenta e discute parte dos modelos teóricos empregados pela Clearing de Derivativos para a precificação das operações com opções flexíveis a ela submetidas.

O trabalho foi dividido da seguinte forma: a parte 2 descreve as fórmulas de precificação empregadas para opções européias, a parte 3 descreve os modelos de árvore binomial empregados para opções americanas e a parte 4, por fim, apresenta o método utilizado para a determinação da volatilidade bem como para a determinação dos limites de preço em si.

2. Fórmulas para Precificação de Opções Européias com Barreira

As fórmulas utilizadas para a precificação de opções européias com barreira foram desenvolvidas por Merton (1973) e Reiner e Rubinstein (1991). Um excelente resumo pode ser encontrado em Haug (1998).

Primeiramente, são definidas as fórmulas das variáveis auxiliares A, B, C, D, E e F. Conforme será visto mais adiante, os prêmios de distintas opções européias contendo

características complexas tais como *cap*, *floor*, *knock-in*, *knock-out* e rebate podem ser obtidos por meio da “combinação” dessas variáveis.

$$A = \phi.S.e^{(b-r)T} N(\phi.x_1) - \phi.X.e^{-rT} N(\phi.x_1 - \phi.\sigma.\sqrt{T})$$

$$B = \phi.S.e^{(b-r)T} N(\phi.x_2) - \phi.X.e^{-rT} N(\phi.x_2 - \phi.\sigma.\sqrt{T})$$

$$C = \phi.S.e^{(b-r)T} (H/S)^{2(\mu+1)} N(\eta.y_1) - \phi.X.e^{-rT} (H/S)^{2\mu} N(\eta.y_1 - \eta\sigma\sqrt{T})$$

$$D = \phi.S.e^{(b-r)T} (H/S)^{2(\mu+1)} N(\eta.y_2) - \phi.X.e^{-rT} (H/S)^{2\mu} N(\eta.y_2 - \eta\sigma\sqrt{T})$$

$$E = Ke^{-rT} \left[N(\eta.x_2 - \eta\sigma\sqrt{T}) - (H/S)^{2\mu} N(\eta.y_2 - \eta\sigma\sqrt{T}) \right]$$

$$F = K \left[(H/S)^{\mu+\lambda} N(\eta.z) + (H/S)^{\mu-\lambda} N(\eta.z - 2\eta\lambda\sigma\sqrt{T}) \right]$$

onde

$$x_1 = \frac{\ln(S/X)}{\sigma\sqrt{T}} + (1+\mu)\sigma\sqrt{T}, \quad x_2 = \frac{\ln(S/H)}{\sigma\sqrt{T}} + (1+\mu)\sigma\sqrt{T}$$

$$y_1 = \frac{\ln(H^2/SX)}{\sigma\sqrt{T}} + (1+\mu)\sigma\sqrt{T}, \quad y_2 = \frac{\ln(H/S)}{\sigma\sqrt{T}} + (1+\mu)\sigma\sqrt{T}$$

$$z = \frac{\ln(H/S)}{\sigma\sqrt{T}} + \lambda\sigma\sqrt{T}, \quad \mu = \frac{b - \sigma^2 / 2}{\sigma^2}, \quad \lambda = \sqrt{\mu^2 + \frac{2r}{\sigma^2}}$$

S = preço do ativo objeto;

X = preço de exercício da opção

T = prazo para o vencimento;

r = taxa de juros livre de risco;

b = custo de “carregamento”;

σ = volatilidade do ativo objeto

H = preço de barreira (knock-in ou knock-out)

K = preço de rebate

2.1 Barreiras do tipo *Knock-in*

Nas opções com cláusula de *knock-in*, o direito de exercício passa a existir somente se o preço do ativo-objeto S atingir o preço da barreira H antes da data de vencimento T . Existe a possibilidade de incluir um prêmio de compensação ou rebate K , que será pago na data de vencimento caso a barreira *knock-in* não seja atingida durante a existência da opção.

As opções com *knock-in* podem ser classificadas como *in-and-down* ($S > H$) ou *in-and-up* ($S < H$). O *payoff* e o prêmio dessas opções são obtidos conforme demonstrado abaixo:

- *Knock-in-and-down* – indica que o preço do ativo-objeto na data de lançamento da opção está acima do preço de barreira, ou seja, $S > H$. O *payoff* da opção é dado por:

Call: $Pay-Off = Máx(S - X ; 0)$, se $S \leq H$ antes do vencimento T e $Pay-Off = K$ (rebate) caso contrário;

Put: $Pay-Off = Máx(X - S ; 0)$, se $S \leq H$ antes do vencimento T e $Pay-Off = K$ (rebate) caso contrário;

As fórmulas para o cálculo do prêmio dessas opções são obtidas por meio da combinação das variáveis A, B, C, D, E e F anteriormente definidas:

$$\begin{array}{ll}
 call_{in-and-down(X>H)} = C + E & \eta = 1, \quad \phi = 1 \\
 call_{in-and-down(X<H)} = A - B + D + E & \eta = 1, \quad \phi = 1 \\
 put_{in-and-down(X>H)} = B - C + D + E & \eta = 1, \quad \phi = -1 \\
 put_{in-and-down(X<H)} = A + E & \eta = 1, \quad \phi = -1
 \end{array}$$

- *Knock-in-and-up* – indica que o preço do ativo-objeto na data de lançamento da opção está abaixo do preço de barreira, ou seja, $S < H$. O *payoff* da opção é dado por:

Call: $Pay-Off = Máx(S - X ; 0)$ se $S \geq H$ antes do vencimento T e $Pay-Off = K$ (rebate) caso contrário;

Put: $Pay-Off = Máx(X - S ; 0)$ se $S \geq H$ antes do vencimento T e $Pay-Off = K$ (rebate) caso contrário;

As fórmulas para cálculo do prêmio são dadas por:

$$\begin{array}{ll}
 call_{in-and-up(X>H)} = A + E & \eta = -1, \quad \phi = 1 \\
 call_{in-and-up(X<H)} = B - C + D + E & \eta = -1, \quad \phi = 1 \\
 put_{in-and-up(X>H)} = A - B + D + E & \eta = -1, \quad \phi = -1 \\
 put_{in-and-up(X<H)} = C + E & \eta = -1, \quad \phi = -1
 \end{array}$$

Exemplo:

Suponha-se uma opção de compra européia com os seguintes parâmetros:

S = preço do ativo objeto (variando entre 5,00 e 12,00)

X = preço de exercício da opção = 10,00

T = prazo para o vencimento = 1 ano

r = taxa de juros livre de risco = 25% aa

b = custo de “carregamento” = 0

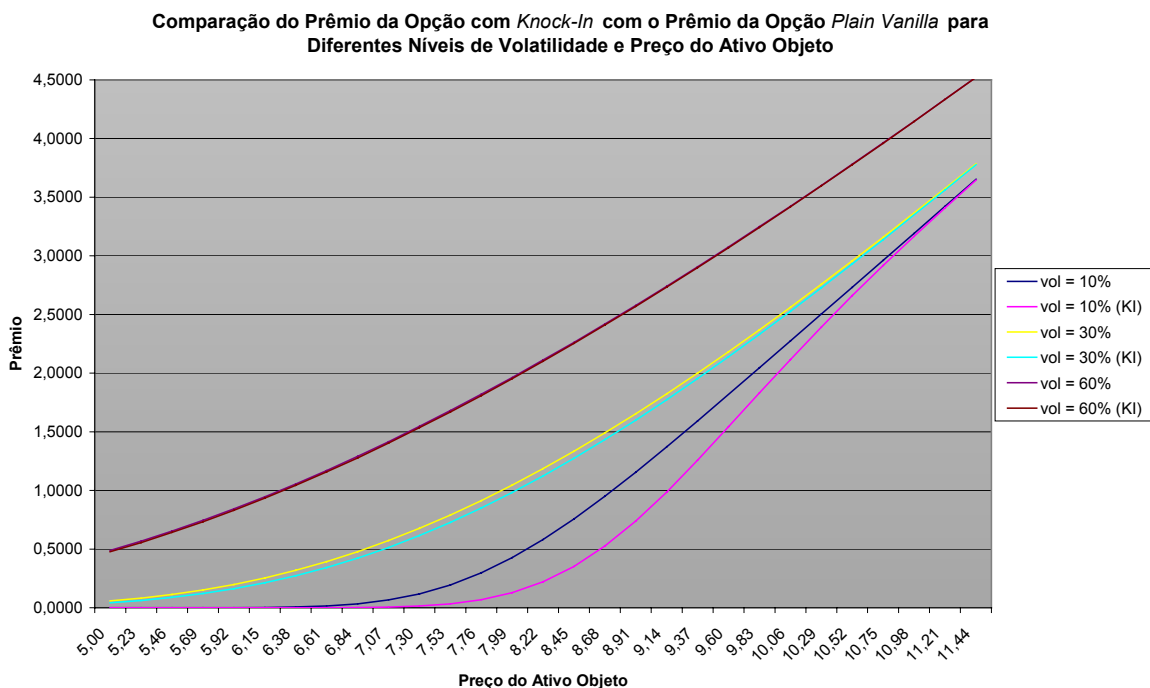
σ = volatilidade do ativo objeto (variando entre 10% e 60% aa)

H = preço de barreira knock-in = 12,00

K = preço de rebate = 0

O gráfico apresentado a seguir mostra o prêmio da opção com *knock-in* (KI), calculado a partir da fórmula apresentada, para valores do ativo objeto variando entre 5,00 e 12,00 e para valores da volatilidade entre 10% e 60% aa. Para efeito de comparação, o gráfico também mostra o prêmio de uma opção *plain vanilla* (sem barreira) calculado a partir dos mesmos parâmetros.

Conforme é possível perceber, quanto maior a volatilidade maior é a proximidade entre os prêmios das opções com *knock-in* e *plain vanilla*. De fato, a probabilidade da barreira ser atingida aumenta com a volatilidade, razão pela qual ocorre a convergência dos dois prêmios conforme o valor desta variável aumenta.



2.2 Barreiras do tipo *Knock-out*

As opções com barreira do tipo *knock-out* são similares às opções tradicionais, exceto pelo fato das primeiras deixarem de existir caso o preço do ativo-objeto S atinja a barreira *knock-out* antes da data de vencimento. Similarmente às *knock-in*, existe a prerrogativa do rebate (K), o qual é pago no caso da opção deixar de existir antes do vencimento. A barreira *knock-out* pode ser do tipo *out-and-down* ou *out-and-up*. O *payoff* e o prêmio são calculados segundo as fórmulas abaixo:

- *Knock-out-and-down* – indica que o preço do ativo-objeto na data de lançamento da opção está acima do preço de barreira, ou seja, $S > H$. O *payoff* será:

Call: $Pay-off = Máx(S - X ; 0)$ se $S > H$ antes de T e $Pay-Off = K$ (rebate) caso contrário;

Put: Pay-off = $\text{Máx}(X - S ; 0)$ se $S > H$ antes de T e *Pay-Off* = K (rebate) caso contrário;

As fórmulas para cálculo do prêmio são dadas por:

$$\begin{aligned} call_{out-and-down}(X>H) &= A - C + F & \eta = 1, \quad \phi = 1 \\ call_{out-and-down}(X<H) &= B - D + F & \eta = 1, \quad \phi = 1 \\ put_{out-and-down}(X>H) &= A - B + C - D + F & \eta = 1, \quad \phi = -1 \\ put_{out-and-down}(X<H) &= F & \eta = 1, \quad \phi = -1 \end{aligned}$$

- *Knock-out-and-up* – indica que o preço do ativo-objeto na data de lançamento da opção está abaixo do preço de barreira, ou seja, $S < H$. O *payoff* será dado por:

Call: Pay-off = $\text{Máx}(S - X; 0)$ se $S < H$ antes de T e *Pay-Off* = K (rebate) caso contrário;

Put: Pay-off = $\text{Máx}(X - S ; 0)$ se $S < H$ antes de T e *Pay-Off* = K (rebate) caso contrário;

As fórmulas para cálculo do prêmio são dadas por:

$$\begin{aligned} call_{out-and-up}(X>H) &= F & \eta = -1, \quad \phi = 1 \\ call_{out-and-up}(X<H) &= A - B + C - D + F & \eta = -1, \quad \phi = 1 \\ put_{out-and-up}(X>H) &= B - D + F & \eta = -1, \quad \phi = -1 \\ put_{out-and-up}(X<H) &= A - C + F & \eta = -1, \quad \phi = -1 \end{aligned}$$

Exemplo:

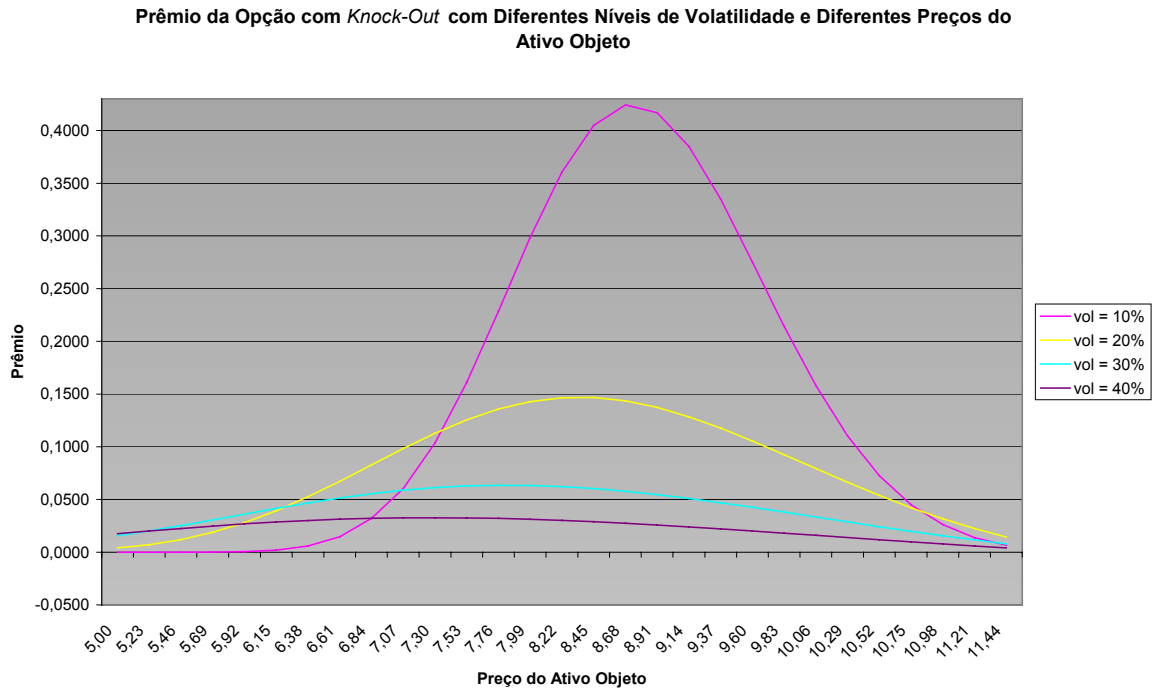
Suponha-se uma opção de compra europeia com os seguintes parâmetros:

- S = preço do ativo objeto (variando entre 5,00 e 12,00)
- X = preço de exercício da opção = 10,00
- T = prazo para o vencimento = 1 ano
- r = taxa de juros livre de risco = 25% aa
- b = custo de “carregamento” = 0
- σ = volatilidade do ativo objeto (variando entre 10% e 60% aa)
- H = preço de barreira knock-out = 12,00**
- K = preço de rebate = 0

O gráfico apresentado a seguir mostra o prêmio da opção com *knock-out*, calculado a partir da fórmula apresentada, para valores do ativo objeto variando entre 5,00 e 12,00 e para valores da volatilidade entre 5% e 40% aa.

Conforme é possível perceber, quando a opção encontra-se relativamente distante da barreira, aumentos da volatilidade causam aumentos de seu prêmio. Quando o preço do ativo objeto aproxima-se da barreira, no entanto, aumentos de volatilidade se traduzem em

acentuada probabilidade de rompimento da barreira e acionamento da cláusula de *knock-out*, razão pela qual o prêmio passa a ser uma função decrescente da volatilidade.



3. Modelos para Precificação de Opções Americanas com Barreira

O modelo utilizado para precificação de opções americanas é o de árvores binomiais, desenvolvido por Cox, Ross e Rubinstein (1979). Na abordagem proposta por CRR, as variações sofridas pelo preço do ativo objeto a cada instante são dadas por:

$$\text{Variação "up"} = u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

$$\text{Variação "down"} = d = \frac{1}{u}$$

Além disso, a probabilidade do preço sofrer uma variação u é dada por P e a probabilidade de sofrer uma variação d é dada por $(1 - P)$, onde¹

$$P = \frac{e^{r\sqrt{\Delta t}} - d}{u - d}$$

σ = volatilidade do ativo objeto;

Δt = espaço de tempo compreendido entre dois instantes consecutivos da árvore binomial;

r = taxa de juros livre de risco;

¹ Vale notar que P representa a medida de probabilidade martingal equivalente.

A seguir considera-se uma árvore binomial com n passos, sendo $x(i, j)$ o valor da variável x no instante i e estado da natureza j .

3.1 Barreiras Simples (*cap* ou *floor*)

Call

O valor da call no instante final $i = n$ em cada um dos estados da natureza j é dado por:

$$c_{i,j} = \max\{0; \min(S_{i,j} - X; H - X)\}$$

Nos instantes intermediários ($i < n$) o valor da call é dado por:

$$c_{i,j} = \max\left\{e^{-r\Delta t} \times [P \times c_{i+1,j+1} + (1-P) \times c_{i+1,j}], \min(S_{i,j} - X; H - X)\right\}$$

Put

O valor da put no instante final $i = n$ em cada um dos estados da natureza j é dado por:

$$p_{i,j} = \max\{0; \min(X - S_{i,j}; X - H)\}$$

Nos instantes intermediários ($i < n$) o valor da put é dado por:

$$p_{i,j} = \max\left\{e^{-r\Delta t} \times [P \times p_{i+1,j+1} + (1-P) \times p_{i+1,j}], \min(X - S_{i,j}; X - H)\right\}$$

3.2 Barreiras do tipo *Knock-out*

Conforme já dito anteriormente, as opções com barreira do tipo *knock-out* deixam de existir quando o preço do ativo objeto alcança a barreira. Assim, a precificação destas opções em cada nó envolve uma verificação sobre se a barreira foi ou não atingida, retornando valor “zero” em caso afirmativo.² Tal procedimento é executado da seguinte forma:

Se a barreira for *knock-out-and-up* ($S_0 < H$) define-se a variável $x=1$ e, no caso de *knock-out-and-down*, define-se $x=-1$.

Call

O valor da call no instante final $i = n$ em cada um dos estados da natureza j é dado por:

Se $(S_{i,j} - H) \cdot x > 0$ (barreira foi atingida):

$$c_{i,j} = K$$

caso contrário:

² Caso a opção envolva rebate, o detentor da posição receberá o valor de rebate (K) quando a barreira for atingida. Neste caso, o prêmio da opção valerá K , ao invés de zero.

$$c_{i,j} = \max(0; S_{i,j} - X)$$

Nos instantes intermediários ($i < n$) o valor da call é dado por:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$c_{i,j} = K$$

caso contrário:

$$c_{i,j} = \max\left\{e^{-r\Delta t} \times \left[P \times c_{i+1,j+1} + (1-P) \times c_{i+1,j} \right]; S_{i,j} - X \right\}$$

Put

O valor da put no instante final $i = n$ em cada um dos estados da natureza j é dado por:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$p_{i,j} = K$$

caso contrário:

$$p_{i,j} = \max(0; X - S_{i,j})$$

Nos instantes intermediários ($i < n$) o valor da put é dado por:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$p_{i,j} = K$$

caso contrário:

$$p_{i,j} = \max\left\{e^{-r\Delta t} \times \left[P \times p_{i+1,j+1} + (1-P) \times p_{i+1,j} \right]; X - S_{i,j} \right\}$$

Como é possível perceber no procedimento acima, enquanto a barreira não é atingida a opção é precificada da mesma forma que uma opção *plain vanilla* (sem barreira).

3.3 Barreiras do tipo *Knock-in*

As opções com barreira do tipo *knock-in* passam a “existir” apenas depois do preço do ativo objeto ter atingido o preço de barreira. Para estas opções, a árvore binomial é construída duas vezes. A primeira árvore precifica uma opção *plain vanilla* (sem barreira) enquanto que a segunda se baseia na primeira para precificar a opção com *knock-in*.

Sejam $c^*_{i,j}$ e $p^*_{i,j}$, respectivamente, os preços de uma call e uma put sem barreira no instante i , estado da natureza j .

Analogamente às opções com barreira do tipo *knock-out*, em cada um dos pontos intermediários da árvore é feita a verificação do rompimento da barreira. Em caso afirmativo, o prêmio da opção naquele ponto será igual ao prêmio de uma opção *plain vanilla* (c^* ou p^*) e, caso contrário, será dado pelo valor presente da expectativa do pay-off no instante seguinte, conforme demonstrado nas fórmulas abaixo:

Se a barreira for *knock-in-and-up* ($S_0 < H$) define-se a variável auxiliar $x=1$ e, no caso de *knock-in-and-down*, define-se $x=-1$.

Call

O valor da call no instante final $i = n$ em cada um dos estados da natureza j é dado por:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$c_{i,j} = c^*_{i,j}$$

caso contrário:

$$c_{i,j} = K$$

Nos instantes intermediários ($i < n$) o valor da call é dado por:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$c_{i,j} = c^*_{i,j}$$

caso contrário:

$$c_{i,j} = e^{-r\Delta t} \times [P \times c_{i+1,j+1} + (1-P) \times c_{i+1,j}]$$

Put

O valor da put no instante final $i = n$ em cada um dos estados da natureza j é dado por:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$p_{i,j} = p^*_{i,j}$$

caso contrário:

$$p_{i,j} = K$$

Nos instantes intermediários ($i < n$) o valor da put é dado por:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$p_{i,j} = p^*_{i,j}$$

caso contrário:

$$p_{i,j} = e^{-r\Delta t} \times [P \times p_{i+1,j+1} + (1-P) \times p_{i+1,j}]$$

3.4 Barreira do tipo *Knock-out* + Barreira simples

Existe a possibilidade de se incluir mais de um tipo de barreira na mesma opção. Na hipótese de se utilizar uma barreira do tipo *knock-out* e uma barreira simples, obviamente a barreira simples deverá ser inferior à *knock-out*, quando esta for *knock-out-and-up*, e superior, quando for *knock-out-and-down*.³

A precificação desta opção é feita utilizando-se, conjuntamente, a limitação do prêmio da opção à diferença entre o preço de exercício e o preço de barreira e a contínua verificação do rompimento da barreira, como demonstrado a seguir:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

$$c_{i,j} = K$$

$$p_{i,j} = K$$

caso contrário:

³ De outra forma a barreira simples nunca seria relevante, perdendo o sentido a sua utilização.

Call

$$c_{i,j} = \max\left\{e^{-r\Delta t} \times \left[P \times c_{i+1,j+1} + (1-P) \times c_{i+1,j} \right], \min(S_{i,j} - X; H - X)\right\}$$

Put

$$p_{i,j} = \max\left\{e^{-r\Delta t} \times \left[P \times p_{i+1,j+1} + (1-P) \times p_{i+1,j} \right], \min(X - S_{i,j}; X - H)\right\}$$

3.5 Barreira do tipo *Knock-in* + Barreira simples

No caso das opções com barreira do tipo *knock-in* e barreira simples, a precificação se dá em duas etapas, como no caso das opções que possuem apenas uma barreira de *knock-in*.

Na primeira etapa calcula-se o prêmio de uma opção com barreira simples em cada um dos pontos da árvore binomial, desconsiderando a barreira de *knock-in*. Posteriormente, numa nova árvore, faz-se a verificação do rompimento da barreira em cada ponto, retornando o prêmio calculado para a opção com barreira simples caso o preço de barreira tenha sido atingido. Caso isto não ocorra, o prêmio será dado pelo valor presente do *pay-off* esperado no instante seguinte, conforme demonstrado nas fórmulas abaixo:

Se $(S_{i,j} - H).x > 0$ (barreira foi atingida):

A opção é precificada como uma opção *plain vanilla* com barreira simples;
caso contrário:

Call

$$c_{i,j} = e^{-r\Delta t} \times \left[P \times c_{i+1,j+1} + (1-P) \times c_{i+1,j} \right]$$

Put

$$p_{i,j} = e^{-r\Delta t} \times \left[P \times p_{i+1,j+1} + (1-P) \times p_{i+1,j} \right]$$

Assim como no caso das opções que possuem apenas barreira de *knock-in*, no último instante da árvore, se a barreira não houver sido atingida, $(S_{i,j} - H).x < 0$, então o prêmio da opção será igual ao valor de rebate K .⁴

Vale notar que a precificação de opções com barreira por meio de árvores binomiais costuma apresentar problemas de convergência. Em outras palavras, o prêmio calculado pela árvore binomial costuma ser muito sensível em relação à variável N , isto é, o número de passos da árvore binomial. Além disso, aumentos de N não conduzem, necessariamente, a valores mais precisos, podendo aumentar o erro do modelo em relação ao valor correto do prêmio. Com o intuito de minimizar este problema, Haug (1998) sugere utilizar valores de N obtidos a partir da seguinte fórmula:

$$N = N(i) = \frac{i^2 \times \sigma^2 \times T}{\ln(S/H)}$$

Onde i é um parâmetro definido pelo usuário. O objetivo da fórmula proposta em Haug é fazer com que o grau de precisão do modelo de precificação seja uma função

⁴ Caso a opção envolva rebate, caso contrário, o prêmio em tal ponto será zero.

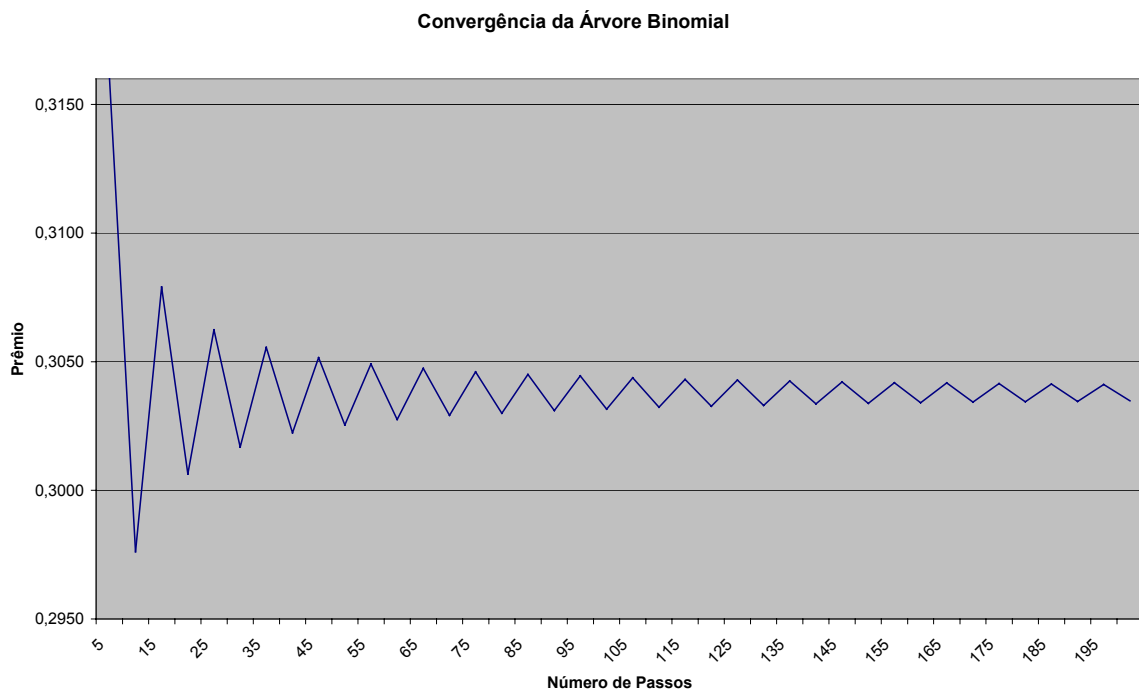
crecente de i . Em outras palavras, para uma seqüência do tipo $i = 1, 2, \dots, 10$, a precisão do modelo binomial aumentará conforme forem utilizados os números de passos $N(1), N(2), \dots, N(10)$.

Exemplo: Problema de Convergência da Árvore Binomial

Suponha-se uma opção de compra americana com os seguintes parâmetros:

S = preço do ativo objeto = 10,00
 X = preço de exercício da opção = 10,00
 T = prazo para o vencimento = 0,1 ano
 r = taxa de juros livre de risco = 10% aa
 b = custo de “carregamento” = 0
 σ = volatilidade do ativo objeto = 20% aa
 H = preço de barreira simples (cap) = 12,00
 K = preço de rebate = 0

O gráfico apresentado a seguir ilustra o problema da convergência da árvore binomial em direção ao prêmio correto da opção. Ele mostra o prêmio da opção com barreira simples (*cap*), calculado a partir da árvore binomial com números de passos variando entre 5 e 200:



4. Determinação da Volatilidade e dos Limites de Preço

A Clearing de Derivativos calcula o desvio padrão da variação percentual diária do preço do ativo objeto utilizando 5 amostras de tamanhos diferentes:

σ_{30} = desvio padrão calculado com janela de 30 dias;
 σ_{60} = desvio padrão calculado com janela de 60 dias;
 σ_{90} = desvio padrão calculado com janela de 90 dias;
 σ_{180} = desvio padrão calculado com janela de 180 dias;
 σ_{360} = desvio padrão calculado com janela de 360 dias;

Sejam σ_{\max} e σ_{\min} o máximo e o mínimo desvios padrão calculados, multiplicados por um “fator de segurança” γ , isto é,

$$\sigma_{\max} = (1+\gamma).\text{Max}(\sigma_{30}, \sigma_{60}, \sigma_{90}, \sigma_{180}, \sigma_{360})$$

$$\sigma_{\min} = (1-\gamma).\text{Min}(\sigma_{30}, \sigma_{60}, \sigma_{90}, \sigma_{180}, \sigma_{360})$$

onde γ é determinado pela Clearing de Derivativos.

Além disso, sejam S_{\min} e S_{\max} o mínimo e máximo valores atingidos pelo preço do ativo objeto durante o dia, respectivamente.

Os limites de preço máximo e mínimo das calls e puts são calculados através dos modelos apresentados neste trabalho, da seguinte forma:

$$\text{Limite Máximo} = \text{Max} [f(S_{\max}, \sigma_{\max}), f(S_{\max}, \sigma_{\min}), f(S_{\min}, \sigma_{\max}), f(S_{\min}, \sigma_{\min})]$$

$$\text{Limite Mínimo} = \text{Min} [f(S_{\max}, \sigma_{\max}), f(S_{\max}, \sigma_{\min}), f(S_{\min}, \sigma_{\max}), f(S_{\min}, \sigma_{\min})]$$

Onde $f(S, \sigma)$ denota o modelo de precificação de opção apropriado para o caso em questão e cujo resultado é função dos parâmetros S e σ .

5. Conclusão

Este trabalho apresentou os modelos utilizados pela Clearing de Derivativos para determinação dos limites de preço mínimo e máximo para registro de opções flexíveis. De forma geral, as opções européias são precificadas por meio de fórmulas fechadas, enquanto que o preço das opções americanas é calculado através de método numérico.

Os limites de preço são determinados em função dos modelos de precificação e também em função de um *range* de volatilidade e outro de preço do ativo objeto. A BM&F procura determinar um *range* de volatilidade que seja suficientemente amplo, de forma a acomodar eventuais diferenças existentes nos critérios de precificação e estimação de volatilidades utilizados pelo mercado. O *range* de preço do ativo objeto, por sua vez, é utilizado em virtude da possibilidade do horário de registro da opção flexível ser substancialmente distinto do horário de negociação.

Referências Bibliográficas

Haug, Espen Gaarder (1998), "The Complete Guide to Options Pricing Formulas", McGraw-Hill

Merton, R. C. (1973), "Theory of Rational Option Pricing", Bell Journal of Economics and Management Science", 4, 141-183

Reiner, E. and M. Rubinstein (1991) "Breaking Down the Barriers", Risk Magazine 4(8)