

Deflacionamento do preço de exercício de opções e o modelo Black-Scholes

Antonio Zoratto Sanvicente
Professor-adjunto do Departamento de Administração
Faculdade de Economia e Administração da USP

INTRODUÇÃO

Com o advento do Plano Cruzado, em 28 de fevereiro de 1986, o mercado de opções de compra de ações em bolsa de valores foi atingido, entre outras coisas, pela determinação, contida no Decreto-Lei nº 2.283, de que todas as obrigações financeiras nominais até então assumidas fossem deflacionadas por um fator de conversão correspondente ao seu dia de vencimento¹. No caso de opções de compra de ações, o *preço de exercício*, fixado contratualmente para cada série autorizada de opções, corresponde exatamente a esse tipo de obrigação.

A direção da Bolsa de Valores de São Paulo emitiu, em 4 de março, o Ofício Circular no 024/86-SG, normatizando o deflacionamento dos preços de exercício de séries autorizadas antes do Plano Cruzado, visando regulamentar as operações, inclusive de exercício, para as posições em aberto existentes no momento da reabertura do mercado².

O presente trabalho tem como objetivo principal apresentar um levantamento do ocorrido à época do advento do Plano Cruzado, em relação ao mercado de opções de compra de ações. Mais precisamente, discute-se de início o efeito da reforma monetária sobre as condições de exercício racional de opções de compra, tendo em vista que mais adiante se procura medir o impacto da mudança de regulamentação sobre o *valor intrínseco* de uma opção. Em seguida, calcula-se esse valor utilizando o modelo *Black-Scholes* (1973), segundo duas possibilidades: (a) ajustando o preço de exercício em vista da análise efetuada quanto ao exercício racional de opções, (b) deixando de fazer qualquer ajuste, isto é, avaliando as opções como se não estivesse previsto o deflacionamento dos preços de exercício. Nesse ponto do trabalho, duas metas são perseguidas, a saber: em primeiro lugar, efetuar um teste do modelo, adaptado à discussão das novas condições ótimas de exercício (comparando as cotações ou prêmios efetivamente observados aos valores com preços de exercício ajustados); em segundo, e em função das posições em aberto em 27 de fevereiro de 1986, para as séries negociadas em 4 de março de 1986, avaliando o quanto teriam perdido (ganho) os titulares (lançadores) de opções *caso não tivesse sido aplicado o Decreto-Lei nº 2.283 ao preço de exercício de opções*.

Com este trabalho, procuramos demonstrar a utili-

dade de modelos de avaliação de contratos do tipo *contingent-claim* a uma situação real e prática. Acreditamos que, se não tivesse havido o deflacionamento, os perdedores (que no caso teriam sido os titulares de opções de compra) poderiam ter acionado legalmente a Bolsa de Valores de São Paulo para se ressarcirem de seus prejuízos, enquanto que a metodologia aqui descrita lhes teria permitido quantificar o montante a ser exigido nesse ressarcimento.

O DECRETO-LEI nº 2.283 E O EXERCÍCIO ÓTIMO DE OPÇÕES DE COMPRA DE AÇÕES

Com a aplicação do artigo 9 do Decreto-Lei nº 2.283, através do Ofício Circular nº 024/86-56 da Bolsa de Valores de São Paulo, foi alterado o valor *nominal* dos preços de exercício fixados para as séries autorizadas até 27 de fevereiro de 1986. Efetivamente, esse preço de exercício, em lugar de ser único, passou a obedecer a uma escala determinística em função do tempo. Mais concretamente, essa escala era de todos conhecida, nas divulgadíssimas "tabelas de fatores de conversão".

Como todos sabem, o Plano Cruzado envolveu uma reforma monetária, com alteração da moeda nacional, surgindo um mercado "oficial" para a conversão entre cruzeiros e cruzados. Por sua vez, a "taxa oficial de câmbio" entre a moeda antiga e a moeda nova era dada pela tabela de fatores de conversão.

A tabela de fatores de conversão determinava uma desvalorização mensal do cruzeiro, em relação ao cruzado, ao ritmo de aproximadamente 15% ao mês. Ao mesmo tempo, a política monetária executada ao início do Plano Cruzado procurou manter a taxa nominal de juros no mercado aberto a um nível pouco inferior a 2% ao mês, querendo as autoridades governamentais que essa fosse interpretada como taxa real, pois havia, na oportunidade, a intenção de incutir no público a expectativa de inflação zero.

De qualquer maneira, é evidente que a "taxa oficial de câmbio" entre cruzeiro e cruzado, em torno de 15% ao mês, era muito superior à taxa de juros (de aproximadamente 2% ao mês). Nessas circunstâncias, não podia valer a pena, para qualquer titular de opções de

compra de ações, efetuar o exercício de seus direitos a não ser no último dia possível, já que ele poderia tomar emprestado a 2% ao mês, ou um pouco mais, mas sempre a menos de 15% ao mês, para se beneficiar de um pagamento de um preço de exercício que se reduzia nessa proporção (15% ao mês). Em outras palavras, o titular de opções de compra "aplicava" a 15% ao mês adiando o exercício das opções, enquanto financiava sua posição com uma "captação" ao custo de pouco mais de 2% ao mês. Esse custo, note-se, seria incorrido: (a) se o titular efetivamente obtivesse recursos no mercado financeiro para continuar comprando em opções de compra, ou (b) por essa mesma razão, não aplicasse no mercado aberto, caso em que esses 2% ao mês representariam um custo de oportunidade.

Assim sendo, nas novas condições do mercado de opções, passamos na prática a ter opções efetivamente européias, isto é, que só seriam exercidas na data do vencimento, pois o momento ótimo de exercício ocorreria apenas no final do prazo de vencimento: Isso, portanto, tornou mais aplicável ainda a utilização do modelo *Black-Scholes* na avaliação dessas opções, já que nesse modelo subentende-se que as opções são européias (isto é, só podem ser exercidas na data de vencimento, e não antes, como ocorre com as opções do tipo americano, que são as negociadas na Bolsa de Valores de São Paulo).

Sabe-se ainda que o valor de uma opção de compra varia inversamente com o preço de exercício. Finalmente, segundo a discussão anterior, o preço de exercício relevante passou a ser o preço original deflacionado pelo fator correspondente exatamente ao dia de vencimento da série, e não qualquer outro.

A SITUAÇÃO DO MERCADO DE OPÇÕES DE COMPRA NA BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO, EM 4 DE MARÇO DE 1986

Os dados apresentados a seguir resumem a situação do mercado de opções de compra de ações em 4 de março de 1986, mas referem-se somente às séries que foram negociadas nesse dia e foram objeto de avaliação pelo modelo *Black-Scholes* neste trabalho. De qualquer forma, envolvem as séries das ações-objeto mais populares do mercado, e por isso o que é aqui analisado pode ser considerado representativo do que então ocorria.

A Tabela 1, em seqüência, apresenta dados sobre as posições em aberto em 4 de março de 1986, para as séries de quatro ações-objeto (em termos de número total de contratos em aberto nessa data). Estas quatro ações são responsáveis por 76,25%, já que o total era de 328.252 contratos.

No mesmo dia 4 de março de 1986, as séries negociadas dessas opções foram (Tabela 2):

MODELO BLACK-SCHOLES E A AVALIAÇÃO DAS SÉRIES NEGOCIADAS EM 4 DE MARÇO DE 1986

O chamado "modelo *Black-Scholes*", considerado pedra fundamental do que Brealey & Myers (1984) cha-

Tabela 1

Posições em Aberto em 4 de Março de 1986

AGROCERES PP (SAG PP)		
Preço de Exercício	Mês de Vencimento	Número de Contratos
Cr\$ 23,00	Abril	1.600
26,00	Abril	10.670
29,00	Abril	300
32,00	Abril	530
36,00	Abril	100
32,00	Junho	610
TOTAL		13.810
PARANAPANEMA PP (PMA PP)		
Preço do Exercício	Mês de Vencimento	Número de Contratos
Cr\$ 29,00	Abril	130
32,00	Abril	110.270
36,00	Abril	190
40,00	Abril	31.060
36,00	Junho	20.040
40,00	Junho	23.780
50,00	Agosto	1.000
TOTAL		166.470
SHARP PP (SHA PP)		
Preço de Exercício	Mês de Vencimento	Número de Contratos
Cr\$ 18,00	Abril	28.791
20,00	Abril	3.140
23,00	Abril	9.650
26,00	Abril	1.375
29,00	Abril	17.200
32,00	Abril	400
36,00	Abril	300
40,00	Abril	3.408
TOTAL		64.264
VARIG PP (VAG PP)		
Preço de Exercício	Mês de Vencimento	Número de Contratos
Cr\$ 14,00	Abril	1.720
16,00	Abril	20
18,00	Abril	2.095
20,00	Abril	150
23,00	Abril	1.747
TOTAL		5.732

Fonte: *Boletim Diário de Informações*, Bolsa de Valores de São Paulo, 4 de março de 1986, p. 31-6.

ma de *option pricing model* e consideram como uma das cinco idéias mais importantes em Finanças na atualidade, é uma fórmula desenvolvida para determinar o valor teórico de uma opção de compra de ações a partir das seguintes hipóteses:

- o mercado de capitais é perfeito (não há impostos, não há custos de transação, e as informações estão livremente disponíveis a todos os participantes);
- não há restrições a vendas de qualquer ativo a descoberto;
- a negociação de ativos é contínua e os preços de todos os ativos obedecem a processos estocásticos estacionários de tipo I_t^3 ;
- existe um ativo sem risco e sua taxa de retorno é constante;
- a opção é protegida contra o pagamento de dividendos aos titulares da ação-objeto.

Tabela 2

Cotações de Algumas Séries Negociadas em 4/3/86

Ação-Objeto	Preço de Exercício	Mês	Preços de Opção	Fechamento Ação
Agroceres PP	Cr\$ 26,00	Abril	Cz\$ 16,20	Cz\$ 36,00
	32,00	Abril	15,92	
Paranapanema PP	32,00	Abril	9,20	34,00
	40,00	Abril	5,30	
	36,00	Junho	17,08	
	40,00	Junho	5,00	
Sharp PP	18,00	Abril	20,00	34,50
	23,00	Abril	15,00	
	29,00	Abril	10,00	
	40,00	Abril	4,00	
Varig PP	14,00	Abril	5,82	17,00
	18,00	Abril	8,00	
	23,00	Abril	2,90	

Fonte: *Boletim Diário de Informações*, Bolsa de Valores de São Paulo, 4 de março de 1986, p. 12-3.

- No item que trata do decreto-lei nº 2.283 e exercício ótimo de opções de compra de ações deste trabalho, já tivemos ocasião de discutir como o deflacionamento do preço de exercício introduzido com o advento do Plano Cruzado e sobre as séries então existentes efetivamente tornou as opções já lançadas inexercíveis, em termos racionais, antes do vencimento. A hipótese de que há proteção contra dividendos, que parcialmente é satisfeita no Brasil graças ao esquema previsto no artigo 24º do Regulamento de Operações no Mercado de Opções⁴, torna bastante aplicável o modelo ao ambiente brasileiro. (Quanto a testes do modelo, ver Tavares (1983) e Sanvicente (1983).)

Por sua vez, a fórmula *Black-Scholes* é:

$$C = SN(d_1) - Xe^{-RT}N(d_2) \quad (1)$$

onde: C = valor teórico da opção de compra;
S = cotação da ação-objeto;
X = preço de exercício da opção;
T = prazo restante para a data de vencimento da opção;
R = taxa de retorno de aplicações sem risco.

Além disso,

$$d_1 = \frac{\ln(S/X) + RT}{\sigma\sqrt{T}} + (1/2)\sigma\sqrt{T} \quad (2)$$

$$e d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T} \quad (3)$$

onde σ = desvio-padrão da taxa de retorno da ação-objeto,

$$e N(d_j) = \int_{-\infty}^{d_j} \exp(-d_j^2/2) dd_j \quad (4)$$

ou seja, a área acumulada sob a curva da distribuição normal reduzida à esquerda do ponto d_j^* .

No caso que estamos discutindo, alguns valores (S e X) já foram fornecidos na Tabela 2. Acrescente-se ainda que o vencimento das séries de ABRIL se dava no dia 22 desse mês, e as séries de JUNHO venciam no dia 23. Além disso, a taxa de juros no mercado aberto em 4 de março de 1986 atingiu 1,82% ao mês, segundo dados da Associação Nacional das Distribuidoras do Mercado Aberto (ANDIMA).

Outros dados necessários, como se pode ver tanto pela fórmula (equações (1)-(3)) quanto pela discussão anterior, no item citado são os desvios-padrão das taxas de retorno das quatro diferentes ações-objeto, bem como os fatores de conversão para os dias 22 de abril e 23 de junho de 1986.

Quanto ao cálculo do desvio-padrão, foram utilizadas séries de taxas semanais de retorno precedendo o evento pelo período de um ano. Mais exatamente, foram calculadas as variações semanais de preço de cada ação-objeto, desde a semana encerrada em 1 de março de 1985, até a semana encerrada (efetivamente) em 27 de fevereiro de 1986, tendo sido essas variações de preço ajustadas por dividendos, bonificações e subscrições. Foram obtidas as seguintes estimativas da volatilidade da taxa de retorno das ações (Tabela 3):

Finalmente, os fatores de conversão para os preços de exercício são: 1,25169 para 22 de abril, e 1,65345 para 23 de junho. Conseqüentemente, os preços efetivos de exercício, em cruzados, e supondo uma política racional de exercício, devem ser obtidos pela divisão dos preços de exercício originais, expressos em cruzeiros, pelos fatores acima.

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

A Tabela 4 resume os resultados obtidos com o uso ►

Tabela 3

Estimativas de Volatilidade (Desvio-Padrão da Taxa de Retorno Semanal, 1/3/85 a 27/2/86)

Ação-Objeto	Desvio-Padrão (% por Semana)
Agroceres PP	12,89
Parapanema PP	12,19
Sharp PP	14,59
Varig PP	12,25

dos dados indicados acima, e com a fórmula *Black-Scholes*. Ela indica, para cada uma das séries negociadas de interesse (ver Tabela 2), não só o prêmio de fechamento, como os valores teóricos sob duas hipóteses:

- sem o deflacionamento dos preços de exercício (S/D);
- com o deflacionamento dos preços de exercício (C/D);

AVALIAÇÃO DE ALGUMAS SÉRIES NEGOCIADAS EM 4 DE MARÇO DE 1986

Um simples exame da Tabela 4 já pode indicar que os valores calculados com o deflacionamento do preço de exercício, da maneira indicada acima, se aproximam muito mais dos prêmios praticados em 4 de março de 1986. Para testar a correspondência entre os prêmios e os valores teóricos dados pela fórmula com preço de exercício deflacionado, porém, foi usado o seguinte modelo de regressão linear simples:

$$C(\text{MERCADO})_j = a + b C(\text{TEÓRICO})_j + e_j \quad (5)$$

onde os dados da variável dependente são os fornecidos na coluna (1) da Tabela 4, e os dados da variável explicativa encontram-se na coluna (3) da mesma tabela. Para que a fórmula "passe no teste", ou mais corretamente, não seja reprovada, é preciso não poder rejeitar as hipóteses nulas de que os verdadeiros valores dos parâmetros a e b sejam, respectivamente, iguais a zero e um.

A equação estimada é:

$$C(\text{MERCADO}) = 1.0343 + 0.8730 C(\text{TEÓRICO C/D}) \quad (6)$$

(1.9841) (0.1661)

$$R^2 = 0.7152 \quad \text{DURBIN-WATSON} = 2.3724$$

onde os valores entre parênteses indicam os erros-padrão das estimativas. Conseqüentemente, as hipóteses nulas não podem ser rejeitadas, e nossa aplicação do modelo *Black-Scholes*, juntamente com a conclusão da análise quanto à política ótima de exercício, também não pode ser rejeitada.

A título de comparação, regressão semelhante foi estimada usando-se, como variável independente, o valor teórico sem deflacionamento do preço de exercício (os dados relevantes estão na coluna (2) da Tabela 4). Os resultados encontrados foram:

$$C(\text{MERCADO}) = 3.5359 + 1.0279 C(\text{TEÓRICO S/D}) \quad (7)$$

(1.5941) (0.1983)

$$R^2 = 0.7095 \quad \text{DURBIN-WATSON} = 2.1926$$

De acordo com as estimativas obtidas, a hipótese nula relativa ao valor de b não seria rejeitada, indicando que o modelo *Black-Scholes* explica adequadamente as diferenças de cotação devida a variações de um fator determinante do valor, como o preço de exercício. Entretanto, a hipótese nula de que $a = 0$ é rejeitada, em virtude do erro sistemático de subavaliação perceptível na Tabela 4 (compara-se para isso as colunas (1) e (2)).

Tabela 4

Avaliação de Algumas Séries Negociadas em 4 de Março de 1986

Opção	Prêmio de Fechamento (1)	Valor Teórico		Diferença (3) - (2)
		S/D (2)	C/D (3)	
SAG PP ABR 26	Cz\$ 16,20	Cz\$ 11,37	Cz\$ 15,93	Cz\$ 4,56
ABR 32	15,92	7,13	11,72	4,59
PMA PP ABR 32	9,20	5,52	9,82	4,30
ABR 40	5,30	2,35	5,54	3,19
JUN 36	17,08	6,54	14,56	8,02
JUN 40	5,00	5,15	12,82	7,67
SHA PP ABR 18	20,00	17,10	20,54	3,44
ABR 23	15,00	12,70	16,76	4,06
ABR 29	10,00	8,32	12,56	4,24
ABR 40	4,00	3,35	6,61	3,26
VAG PP ABR 14	5,82	4,09	6,26	2,17
ABR 18	8,00	1,84	3,75	1,91
ABR 23	2,90	0,59	1,70	1,11

ESTIMATIVAS DE PERDAS, CASO NÃO TIVESSE HAVIDO DEFLACIONAMENTO DOS PREÇOS DE EXERCÍCIO

Juntando-se os dados das Tabelas 1 e 4, ou, mais precisamente, os números de contratos em aberto e a diferença entre valores teóricos com deflacionamento e sem deflacionamento do preço de exercício, podemos determinar a magnitude da perda total, para os titulares de opções de compra, caso não tivesse sido aplicado o Decreto-Lei n.º 2.283.

Para cada uma das séries negociadas que foram destacadas nas Tabelas 3 e 4, multiplicamos o número de contratos em aberto pela diferença na última coluna da Tabela 4. O resultado final é igual a Cz\$ 11.993.748.400,00 (quase doze bilhões de cruzados). Sendo validado o princípio de conversão incluído no Decreto-Lei n.º 2.283, bem como sua aplicação aos preços de exercício de opções, essa teria sido a transferência de riqueza de titulares para lançadores dessas séries, e essa quantia deveria ser a estimada em uma eventual ação de ressarcimento de perdas.

RESUMO E CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi discutido o efeito do deflacionamento de preços de exercício de opções de compra de ações, introduzido com base no Decreto-Lei n.º 2.283, que substituiu o Cruzeiro pelo Cruzado como unidade monetária nacional em fevereiro de 1986.

Esse efeito foi analisado tanto do ponto de vista da estratégia ótima de exercício de opções, como do ponto de vista de sua influência sobre o valor teórico das opções.

Em seguida, foi usado o modelo *Black-Scholes* para calcular o valor teórico das séries negociadas no pregão do dia 4 de março de 1986, com o preço de exercício ajustado pela análise da estratégia ótima de exercício, e foi efetuado um teste do modelo resultante. Os resultados do teste indicaram que o novo modelo ajustou-se muito bem aos dados de mercado, e que, portanto, os participantes do mercado de opções reagiram racional e eficientemente às novas condições introduzidas, já que as diferenças entre preço de mercado e valor teórico das opções não podem ser consideradas significativas, já para o primeiro pregão dentro do ambiente do Plano Cruzado.

Como aplicação prática, usamos os resultados do modelo em comparação com os valores teóricos que se-

riam obtidos sem o deflacionamento do preço de exercício. Nesse caso, fomos capazes de quantificar a perda que teria sido sofrida pelos titulares de opções de compra, se esse deflacionamento não tivesse sido feito, e que poderia ter provocado iniciativas na esfera judicial. Essa perda, como se constatou, alcançaria doze bilhões de cruzados, ou seja, um valor praticamente equivalente ao do volume total de negócios acumulado durante *um mês* típico de negociações no período posterior aos momentos iniciais de euforia com o Plano Cruzado, e praticamente até hoje (outubro de 1987)! Em resumo, esse cálculo foi feito para mostrar que este tipo de instrumental de avaliação, um dos mais importantes na *teoria de Finanças*, possui aplicabilidade prática indiscutível.

NOTAS

1. Este aspecto estava previsto no artigo 9º do Decreto-Lei: "As obrigações de pagamento em dinheiro expressas em cruzeiros sem cláusula de correção monetária, constituídas antes deste Decreto-Lei, deverão ser salgadas em cruzados no dia do pagamento, dividindo-se o montante em cruzeiros pelo fator de conversão fixado no art. 8º".
2. "Em complemento ao Ofício Circular 021/86-SG, reiteramos os procedimentos adotados por esta Bolsa para as liquidações dos exercícios de opções. Assim:
a) *série com posições em aberto em 27.02*
O exercício da opção será feito em cruzeiros convertidos a cruzados na data de sua liquidação financeira (D + 3 do exercício) usando-se o Fator de Conversão (artigo 9º do Decreto-Lei 2.283/86)."
3. Quanto aos aspectos matemáticos relativos a esses processos estocásticos, ver Smith (1976) e Merton (1978).
4. "Art. 24º. Para os dividendos ou qualquer outro provento em dinheiro referentes à ação-objeto da opção, aprovados durante a sua vigência, serão adotados os seguintes procedimentos:
a)...
b) se a opção for exercida após o término do período 'com' e 'ex', as ações-objeto serão entregues na forma 'ex', deduzindo-se o valor bruto do dividendo do preço unitário pago, no exercício da opção." Ver Bolsa de Valores de São Paulo (sem data), p.91-2.

Referências Bibliográficas

BLACK, F. & SCHOLES, M.J., The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, mai/jun 1973, p. 637-59.

BOLSA DE VALORES DE SÃO PAULO, *Introdução ao mercado de opções*. São Paulo sem data.

BREALEY, R. A. & MYERS, S.C., *Principles of corporate finance*, 2ª ed. New York, McGraw-Hill, 1984.

MERTON, R.C. On the mathematics and economic assumptions of continuous-time models". Working paper nr. 981-78, Alfred P. Sloan

School of Management, Cambridge, Massachusetts Institute of Technology, mar. 1978.
SANVICENTE, A.Z. *Avaliação de opções de compra de ações em condições de incerteza sobre a taxa de juros de mercado aberto*. São Paulo, 1983. Tese (livre-docência) Universidade de São Paulo.

SMITH JR., C.W. Option pricing: a Review. *Journal of Financial Economics*. 3, p.3-51.

TAVARES, M.D.F., O comportamento do mercado de opções-brasileiro''. *Revista*

Brasileira de Mercado de Capitais, jan./mar. 1983, p. 5-39.

Recebido em outubro/1987

ERRATA

Na RAUSP 23(1) — jan.mar./88 publicamos o artigo **Avaliação de desempenho em RH na pesquisa agropecuária** com o nome de uma das autoras, Odiva Silva Xavier, incorretamente escrito como Odila Silva Xavier.

No último número de 1987 — RAUSP 22(4) — o artigo do Prof. Eduardo Saliby, **Aplicações da amostragem descritiva na análise de risco**, deveria, por recomendação do Conselho Editorial, ter seu título modificado para: **A comparação da amostragem descritiva com a amostragem aleatória simples em simulação por Monte Carlo: um exemplo da análise de risco**.