

Estimativa de precificação do valor da ação de uma empresa do setor de energia elétrica do Brasil através do método Black-Scholes-Merton

Brener Tadeu Rodrigues da Cruz¹; 0009-0001-5370-0612
Rodrigo da Costa Alves¹; 0000-0003-4787-4453
Bruno Campos Visconti¹; 0009-0007-8666-9694
Lucimeire Cordeiro da Silva¹; 0000-0001-8166-9803
Salette Leone Ferreira¹; 0000-0002-0937-4899

1 – UniFOA, Centro Universitário de Volta Redonda, Volta Redonda, RJ.
202120244@unifoa.edu.br@gmail.com

Resumo: O presente artigo tem como objetivo precificar as ações da empresa Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobras) no horizonte de 105 dias, utilizando o modelo de precificação de opções financeiras de Black-Scholes-Merton e o modelo binomial como forma de verificação. Dada a relevância do setor de energia elétrica na economia brasileira e a volatilidade associada ao mercado financeiro, esta pesquisa busca oferecer subsídios para a tomada de decisão de gestores e investidores. A metodologia adotada é descritiva e utiliza dados históricos extraídos do site da BOVESPA para calcular a volatilidade e aplicar os modelos mencionados. Por meio de uma abordagem bibliográfica e documental, são analisados conceitos fundamentais como mercados de capitais, opções financeiras (tipos de contratos e modalidades de exercício), estimativas de volatilidade e movimento geométrico browniano. Os resultados demonstram que o modelo binomial prevê o valor esperado da ação em R\$ 37,35 no momento do exercício da opção de compra, tendo esta opção o prêmio de R\$1,60. Já o modelo de Black-Scholes-Merton confirma o mesmo valor esperado do preço da ação, demonstrando a coerência entre os métodos, porém, o prêmio esperado da opção foi de R\$3,35. A análise dos valores obtidos demonstra a relevância dos métodos como ferramentas essenciais para subsidiar gestores e investidores na tomada de decisões estratégicas, como compra, venda ou até mesmo hedge das ações, bem como sua contribuição para reduzir riscos em um ambiente de alta volatilidade como o mercado de capitais.

Palavras-chave: Black-Scholes-Merton. precificação de ações. opções financeiras. mercado de capitais. análise financeira.

INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica consolidou-se como mercadoria estratégica para o desenvolvimento econômico, social e estatal, após sucessivas transformações estruturais (Valim, 2020). Diante das incertezas socioeconômicas, as decisões de investimento tornam-se complexas e exigem maior segurança. A análise financeira é essencial para avaliar o desempenho das empresas e a saúde do setor, contribuindo para o crescimento sustentável.

O problema de pesquisa consiste em identificar qual seria a estimativa do valor das ações da Eletrobras, maior representante do setor elétrico no mercado financeiro nacional. O objetivo geral é desenvolver essa estimativa para um horizonte de cento e cinco dias, utilizando metodologia de precificação de opções financeiras. Como objetivos específicos, busca-se investigar a aplicabilidade dos modelos de opções financeiras e analisar a dinâmica do mercado de ações e opções no setor de energia elétrica

A pesquisa se justifica pela necessidade de ferramentas que considerem a volatilidade do mercado financeiro e reduzam riscos, sendo o modelo de Black, Scholes e Merton adequado para esse fim. Para Hull (2016), as variações percentuais no preço das ações em curtos períodos seguem distribuição normal, permitindo projetar valores futuros. O mercado de capitais, por sua vez, garante liquidez por meio da negociação de valores mobiliários (Pinheiro, 2019). As opções financeiras permitem compra ou venda futura de ativos, classificadas em americanas ou europeias, com riscos avaliados por volatilidade e modelos estocásticos, como o Movimento Geométrico Browniano (Assaf Neto, 2021; Figueiredo, 2019; Hull, 2016). O modelo binomial de Cox, Ross e Rubenstein aproxima o de Black-Scholes e Merton em tempo contínuo, considerando preços lognormais e cenários de alta e baixa (Dias, 2014; Dias, 2015; Da Silva, 2023).

MÉTODOS

A pesquisa é descritiva, com base na metodologia de estimativa de opções financeiras de Black, Scholes e Merton, e caracteriza-se também como bibliográfica e documental. Serão utilizados dados históricos das ações da Eletrobras no site da BM&FBOVESPA para calcular a volatilidade diária e aplicar o modelo. O embasamento teórico será construído a partir de



artigos e literaturas sobre setor elétrico, opções financeiras, valuation e precificação de ativos.

Para calcular a estimativa serão realizadas as seguintes etapas: 1ª análise do comportamento da ação ao longo dos anos para cálculo da volatilidade

$$\text{Volatilidade } (\sigma) = \left[\frac{1}{n} \times \sum_{t=1}^n (R_t - \bar{R}_t)^2 \right]^{1/2}, \text{ onde:}$$

n = quantidade de valores da série histórica em análise;

R_t = retorno logarítmico dos preços verificados entre duas datas consecutivas. De acordo com a fórmula:

$$R_t = \ln \frac{P_t}{P_{t-1}}$$

2º. Aplicação do modelo de Black-Scholes e Merton: desenvolvido por Black e Scholes e ampliado por Merton (Black; Scholes, 1973; Merton, 1973), o modelo precifica opções europeias por meio de fórmula analítica baseada no Movimento Browniano Geométrico. A fórmula distingue o cálculo de opções de compra (call) e de venda (put)

$$C = S_0 N(d_1) - X e^{-rT} N(d_2). \quad P = X e^{-rT} N(d_2) - S_0 N(d_1); \text{ onde:}$$

C e P = Preços das opções de Compra e Venda; S_0 = Preço atual do ativo; X = Preço de exercício (strike); T = Tempo até o vencimento da opção; r = Taxa de juros livre de risco (SELIC ou a POUPANÇA); $N(d)$ = é a função de distribuição acumulada da normal padrão

d_1 e d_2 são definidos como: $d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_0}{X}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)T}{\sigma\sqrt{T}}$; $d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T}$, onde σ representa a volatilidade. O modelo de Black-Scholes-Merton pressupõe hipóteses como volatilidade constante, taxa de juros livre de risco fixa, ausência de custos de transação, inexistência de dividendos e exercício apenas no vencimento. Contudo, apresenta limitações, já que, na prática, a volatilidade varia e os preços podem sofrer saltos inesperados. Além disso, é aplicável apenas a opções europeias, pois não admite exercício antecipado, diferentemente das americanas (Hull, 2022).

3º. Estimativa do valor das ações com a propriedade lognormal de Black-Scholes-Merton: de acordo com Hull (2015, p. 344), para estimar o valor futuro das ações de forma justa os autores consideraram que as mudanças percentuais nos preços do ativo, num curto período

de tempo, são normalmente distribuídas. Com 95% de confiança é possível estimar um intervalo possível do valor esperado da ação. Para isso, utiliza-se as funções do modelo a seguir: A equação descrita em Hull (2015, p.345) para obter a distribuição de probabilidade dos preços será obtida conforme a seguir:

$$\ln S_t \sim \Phi \left[\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T, \sigma^2 T \right], \quad \text{onde:}$$

S_t = Preço da ação no tempo futuro (T); S_0 = Preço da ação no tempo presente.; $\ln S_t \sim \Phi$ = significa que a variável $\ln S_t$ é normalmente distribuída e S_t possua uma distribuição normal.

$$\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T = \text{média do } \ln S_t$$

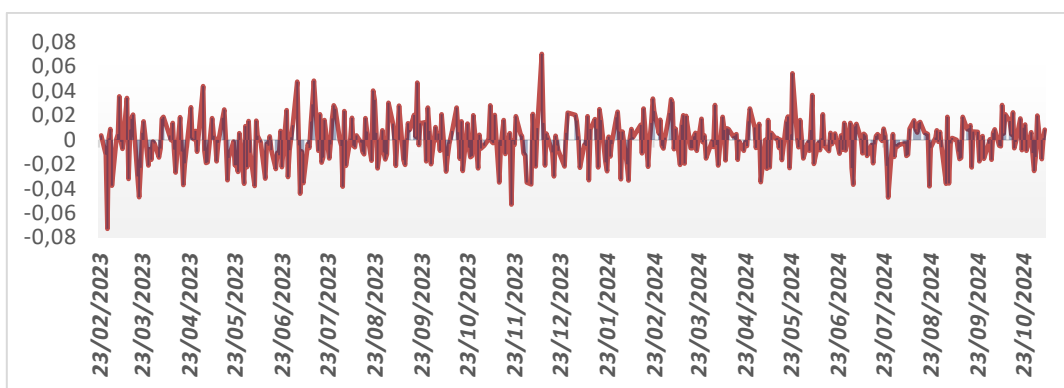
Com 95% de confiança e com 1,96 desvios padrões da média é possível a construção do intervalo de confiança conforme Hull(2015, p.345):

$$e^{\left[\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T \right] + 1,96 \times \sqrt{\sigma^2 T}} < S_t < e^{\left[\ln S_0 + \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) T \right] - 1,96 \times \sqrt{\sigma^2 T}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A variação dos preços da ação ao longo dos anos com a utilização do retorno logarítmico conforme demonstrado na figura 1.:

Figura 1 - Variação de crescimento do preço da ação da Eletrobras



Fonte: dados históricos extraídos do site da BOVESPA e calculado o retorno da ação com a função $\frac{\ln t}{\ln t-1}$

Os retornos lognormal diários da ação da empresa de energia seguem um processo de reversão à média com spikes em certos períodos, devido à característica não estocável da energia elétrica e à dependência hídrica no Brasil (Aiube, 2015). Em épocas de seca, o uso

de fontes mais caras eleva os preços da energia e impacta diretamente o valor das ações. Para simplificação da aplicação dos modelos será considerado o movimento geométrico browniano com o retorno médio anualizado de -13,32% e o desvio padrão 27,68%. Na tabela 1 é apresentado os dados levantados no site da Bovespa.

Tabela 1 - Cálculo com a base de dados levantados no site da Bovespa para aplicação dos modelos

| Itens | Valores | Itens | Valores |
|------------------|------------|------------------------|-----------------|
| Preço (S) | 35,64 | Taxa De Juros (r) | 0,1125 ano |
| Strike (X) | 35,75 | Tempo (T) | 0,416666667 ano |
| Volatilidade (σ) | 27,68% ano | Retorno Esperado (μ) | -0,13320 ano |

Fonte: autoria própria.

Seguindo a orientação de Hull (2015, p. 351), o tempo identificado para o exercício da opção de compra foi de 105 dias e foi convertido em ano.

$$T = \frac{\text{número de dias de negociação até o exercício}}{252} ; T = \frac{105}{252} = 0,4167 \text{ ano}$$

Estimativa do valor da ação no período do exercício com o modelo binomial

1ª. etapa: encontrar os fatores de subida e descida

$$u = e^{0,2768\sqrt{0,4167}} = 1,12360447; d = \frac{1}{1,12360447} = 0,8899929$$

2ª etapa: calcular o valor considerando dois cenários possíveis:

$$\begin{array}{l}
 40,05 - 35,75 = 4,30 \\
 35,64 \left\{ \begin{array}{l} \nearrow \\ \searrow \end{array} \right. \\
 31,72 - 35,75 = 0
 \end{array}$$

Considerando um ambiente neutro ao risco e dois cenários possíveis. Caso a ação suba daqui a 105 dias para aproximadamente R\$ 40,05, o investidor deverá exercer a opção de compra. Caso ocorra queda no preço da ação a opção não deverá exercida.

$$p = \frac{e^{0,1125(0,4167)} - 0,8899929}{1,12360447 - 0,8899929} = 0,6763 ; 1 - p = 1 - 0,6763 = 0,3237$$

Existe 67,63% de probabilidade do preço da ação subir e 32,37% de cair.

3ª. etapa: calcular o valor esperado da ação até o período do exercício da opção (105 dias): para cálculo do valor esperado no instante t, ou seja, para daqui a 105 dias, deverá



considerar as probabilidades de ocorrer os dois cenários possíveis e calcular a média ponderada dos possíveis preços da ação. Então,

$$E(S_t) = [(40,05 \times 0,6763) + (31,72 \times 0,3237)] = R\$ 37,35$$

O valor esperado da ação no momento do exercício da opção está estimado para R\$ 37,35 possibilitando, um prêmio estimado de R\$ 1,60 (37,35 – 35,75).

Calcula-se o preço esperado da ação no momento do exercício da opção de compra:

$$S_0 e^{rt} = 35,64 e^{0,1125(0,4167)} = R\$37,3505$$

Confirma-se a afirmativa de que a estimativa obtida do valor esperado da ação no tempo “t” (105 dias) com o modelo binomial (R\$ 37,35), aproxima-se do valor obtido com a equação de Black, Scholes e Merton. Em seguida, considerando as premissas anteriores e utilizando a propriedade lognormal dos preços de ações será estimado o intervalo de confiança com limite superior e inferior.

1ª. etapa: calcular a distribuição de probabilidade do preço da ação em 105 dias será:

$$\ln S_t \sim \mathcal{N} \left[\ln 35,64 + \left(-0,13320 - \frac{(0,2768)^2}{2} \right) 0,4167, (0,2768)^2 \times 0,4167 \right]$$
$$\ln S_t \sim \mathcal{N} [(3,573468603), (0,032596775)]$$

2ª etapa: calcular o intervalo de confiança: é correto afirmar que existe 95% de possibilidade de que uma variável com distribuição normal tenha um valor dentro de 1,96 desvios padrões da curva normal. A estimativa do desvio padrão será a $\sqrt{0,032596775} = 0,180546$.

$$e^{3,573468603+1,96 \times 0,180546} < S_t < e^{3,573468603-1,96 \times 0,180546}$$

Estima-se com 95% de confiança que o preço da ação poderá estar entre de R\$ 50,77 e R\$ 25,02.

Estimativa do apreçamento da opção de compra: 1ª. etapa: calcular a probabilidade cumulativa da opção de compra

$$d_1 = \frac{\ln \left(\frac{35,64}{35,75} \right) + \left(0,1125 + \frac{(0,2768)^2}{2} \right) 0,4167}{0,2768 \sqrt{0,4167}} = 0,332833723$$

$$d_2 = 0,332833723 - 0,2768 \sqrt{0,4167} = 0,1523 ; \quad N(d_2) = 0,5605 \text{ (probabilidade de exercício)}$$

Considerando um ambiente neutro ao risco, estima-se que existe 53,05% de chance de a opção de compra ser exercida.

2ª etapa: estimar o prêmio da opção de compra no momento do exercício do direito: para estimativa do prêmio da opção de compra é necessário considerar as probabilidades acumuladas conforme a função a seguir:

$$C = 35,64N(0,332833723) - 35,75e^{-0,1125 \times 0,416666667}N(0,1523) = R\$ 3,35$$

O exercício da opção somente acontece se o preço da ação no tempo “t” for maior que o preço do exercício. Nesse caso, é observado que se estima um prêmio no exercício da opção de compra de R\$ 3,35.

NOTA DE TRANSPARÊNCIA/DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Algumas partes deste artigo foram reestruturadas com o auxílio da ferramenta de Inteligência Artificial ChatGPT, utilizada apenas para fins de resumo e adequação ao limite de páginas estabelecido, sob revisão crítica e aprovação dos autores.

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve o objetivo de estimar o preço das ações da empresa Eletrobrás em cento e cinco dias através da aplicação do método de precificação de opções financeiras Black-Scholes-Merton e o Modelo Binomial como forma de verificação, e com isso, proporcionar base para decisão de compra ou exercer o direito da opção estimada.

Tal resultado foi alcançado e demonstrou a eficácia do método no contexto deste trabalho através da coerência dos resultados entre os métodos, uma vez que o valor encontrado foi de R\$37,35 para o preço da ação nos dois métodos. Contudo, o prêmio da opção não foi muito divergente, sendo estimado em R\$1,60 no modelo binomial, e no método Black-Scholes-Merton estimado em R\$3,35.

A análise dos resultados indicou potencial de alta nas ações e recomendação para compra ou exercício da opção no vencimento. Destaca-se, assim, a importância do método como suporte à tomada de decisão de gestores e investidores no mercado de capitais, seja para compra, venda ou proteção (hedge) dos papéis. Além de reduzir riscos em um ambiente



volátil, a metodologia aplicada reforça sua utilidade prática e contribui para a literatura acadêmica sobre precificação de ações e opções, consolidando-se como ferramenta relevante tanto para o mercado quanto para estudos acadêmicos.

REFERÊNCIAS

AIUBE, Fernando Antonio Lucena. Modelos quantitativos em finanças: com enfoque em commodities. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ASSAF NETO, Alexandre. Mercado Financeiro. 15th ed. Rio de Janeiro. Atlas, 2021.

BLACK, F., & SCHOLES, M.. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3),1983, 637-654.

DA SILVA, Lucimeire Cordeiro; BAIDYA, Tara Keshar Nanda. Investment in Generation of Photovoltaic Solar Energy: A Feasibility Study with Flexibility and Uncertainty. *Energy and Power Engineering*, v. 15, n. 7, p. 241-263, 2023. Doi: 10.4236/epe.2023.157012. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=126872>. Acesso: 12 jun 2024.

DIAS, Marco Antônio Guimarães. Análise de investimento com opções reais.v1. Rio de Janeiro: Interciencia, 2014.

FIGUEIREDO, Antonio C. Introdução aos derivativos. 4th ed. São Paulo: Cengage Learning Brasil, 2019.

HULL, John C. Opções, futuros e outros derivativos 9ª edição. Porto Alegre. Bookman, 2016.

MERTON, R. C.. Theory of Rational Option Pricing. *The Bell Journal of Economics and Management Science*, 4(1), 1973, 141-183..

PINHEIRO, Juliano Lima. Mercado de capitais. – 9. ed. - São Paulo. Atlas, 2019;

VALIM, Beijanicy Ferreira da Cunha Abadia. Aspectos relevantes da cobrança de ICMS sobre as tarifas de energia elétrica. São Paulo. Editora Almedina, 2020.