

AValiação DAS ESTIMATIVAS DE PREÇOS FUTUROS DE MINÉRIO DE FERRO ATRAVÉS DO MODELO DO MOVIMENTO BROWNIANO

André L. Ramos, Dep. de Engenharia de Minas - UFMG, andrelubene@gmail.com

Douglas B. Mazinghy, Dep. de Engenharia de Minas – UFMG

Viviane da S. B. Barbosa, Dep. de Engenharia de Minas – UFMG

Michel Melo Oliveira, Dep. de Engenharia de Minas – UFMG

RESUMO

Projetos de mineração são orçados quase sempre em milhões de dólares e é de interesse do investidor medir as incertezas e riscos do projeto, os quais englobam o preço da commodity. A simulação de preços de ativos financeiros é válida, pois possibilita visualizar com certo grau de certeza qual será o comportamento do ativo. Um dos modelos de previsão mais usados é o modelo do movimento browniano geométrico (MBG). O presente trabalho objetiva simular a previsão de preço da commodity minério de ferro, elaborando uma planilha eletrônica com o método (MGB) a partir da série histórica de preços. O modelo possui limitações que devem ser consideradas, contudo é uma boa ferramenta que se somada a outras, pode auxiliar na avaliação de viabilidade econômica de um projeto.

PALAVRAS-CHAVE: Commodity; Projetos de Mineração; Modelos Matemáticos; Movimento Browniano Geométrico.

ABSTRACT

Mining projects are budgeted at more than millions of dollars most of the time, and it is important for investors to quantify uncertainties and risks in a project, which are associated, among other factors, with the commodities price. Modelling the price of financial assets is valid, because it provides a representation of the trend of an asset with relative certainty. The Geometric Brownian Motion (GBM) model is one of the most widely used models to forecast prices. The present work aims to modelling the iron ore future prices by developing an spreadsheet using the GBM method for the iron ore historical price data. There are limitations to the model that must be taken into account; however, it is a useful tool that, in addition to others, can be helpful in assessing the project economic feasibility.

KEYWORDS: Commodity; Mining projects; Mathematical Models; Geometric Brownian Model.

INTRODUÇÃO

Investimentos destinados aos projetos de extração de recursos minerais, normalmente atingem valores na casa de milhões ou até bilhões de dólares. Na tomada de decisão de investir ou não em um projeto, o investidor carece não só de estimativas de retorno, mas também da exposição ao risco financeiro inerente à dinâmica dos preços dos bens minerais (*commodities*).

Há um grande interesse em prever como evoluiria o preço das *commodities*, pois seria, obviamente, vantajoso para o investidor ser capaz de prever o comportamento dos preços e assim reduzir o seu risco [1]. A simulação de preços de ativos financeiros é relevante para a avaliação de projetos de investimento e o uso de modelos matemáticos para simulações deste parâmetro é recorrente [2].

Em 1900, Louis Bachelier propôs um dos primeiros modelos para previsão de preços que possuía como premissa a evolução do preço do ativo financeiro como um processo aleatório, idêntico a jogar um dado não enviesado. Ele sugeriu que o preço de uma ação em um dado instante t , denotado por S_t , seria, para cada $t \geq 0$, uma variável aleatória que obedecia a certa distribuição de probabilidade [3].

O fenômeno físico denominado como Movimento Browniano foi observado pelo botânico Robert Brown, que ao microscópio notou o fato de que pequenos grãos de pólen em solução aquosa têm um movimento incessante e com trajetória irregular. Muitas proposições para esse fenômeno foram feitas, porém Einstein em 1905 e Smoluchowsky em 1906 conseguiram explicar o fenômeno por meio de argumentos probabilísticos e que este resultava de incessantes choques aleatórios das moléculas de água contra os grãos de pólen. Portanto, a proposição de Bachelier era que os preços das ações se comportavam de maneira análoga ao Movimento Browniano, ou seja, de forma errática e imprevisível [4].

O modelo de Bachelier, chamado de Movimento Browniano Aritmético (MBA), recebeu nova atenção na década de 60, quando alguns economistas suspeitavam que os preços de ações comportavam de forma aleatória devido à hipótese de mercado eficiente. Segundo o qual, num dado instante, o movimento seguinte dos preços depende somente do preço naquele instante e não da sua história prévia de variações.

O entendimento econômico desse conceito é de que um mercado eficiente só reage imediatamente à novas informações, independentemente do que ocorreu no passado. Samuelson, em 1965, notou uma limitação do modelo de Bachelier, uma vez que com este modelo era possível prever preço das ações negativos. Essa possibilidade fere o princípio de responsabilidade limitada a qual determina que o acionista pode no máximo perder o montante financeiro que investiu de início, portanto não podendo arcar com prejuízos devido ao mau desempenho da empresa. Também, se observou que não é tão importante o valor absoluto S_t , mas sim o chamado *retorno* $\frac{\Delta S}{S_t}$, ou seja, a variação relativa de preços [3].

Samuelson propôs o modelo do Movimento Browniano Geométrico (MBG), que associa a descrição matemática desse fenômeno físico, à hipótese de eficiência de mercado que gera um processo aleatório e respeita o princípio de responsabilidade limitada [5].

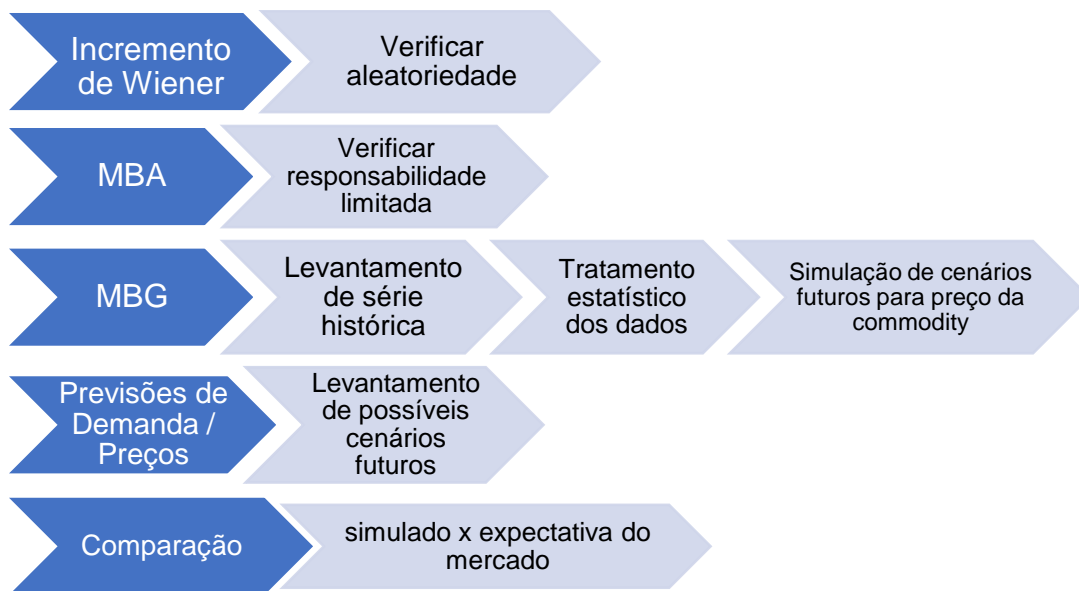
O presente trabalho tem como objetivo implementar e testar o método (MBG) utilizando a série histórica do preço da commodity minério de ferro e compará-las às previsões feitas por agentes financeiros.

METODOLOGIA

Para execução do trabalho, foi coletada a série histórica do preço do minério de ferro dos últimos 20 anos (1997-2017) retirada do site: < <http://www.indexmundi.com> >. Essa série histórica foi tratada estatisticamente, a fim de obter a média e o desvio padrão da variação do preço ao longo da série.

Testou-se: o incremento de Wiener com o objetivo de verificar a aleatoriedade do processo; movimento browniano aritméticos com intuito de averiguar o princípio de responsabilidade limitada; movimento browniano geométrico para previsão do preço do minério de ferro em série temporal futura predeterminada; levantamento de previsões, de demanda e preço para os próximos anos, de especialistas; e os resultados das simulações serão comparados com as previsões de preços de minério de ferro feito por especialistas.

Um Resumo esquemático dos objetivos do presente trabalho é apresentado a seguir.



DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Processo de Wiener

Processo estocástico é entendido como uma coleção de variáveis aleatórias ($S_t, t \geq 0$) que evolui ao longo do tempo de maneira, ao menos em parte, aleatória, ou seja, dada uma condição inicial S_0 , há diversas trajetórias possíveis para a evolução da coleção. O movimento browniano, também chamado de processo de Wiener, é um processo estocástico no tempo contínuo possuindo três importantes propriedades [6-7].

- Segue um processo de Markov, ou seja, a estimativa do instante seguinte é feita apenas com a informação atual, e não baseado no histórico;
- Seus incrementos são independentes, não dependendo das variações em outros intervalos de tempo;
- As variações seguem uma distribuição normal [8].

O incremento de Wiener teve sua formulação matemática expressa usando o software Excel® pelo comando: INV.NORM.N com probabilidade “aleatória”, média “0” e desvio padrão “1”.

A Figura 1 mostra que o incremento de Wiener segue um processo estocástico, ou seja, sua evolução no tempo tem caráter aleatório. Quanto as suas propriedades estatísticas (média e desvio padrão), o processo pode ser classificado como estacionário, quando mantém constantes essas propriedades ao longo do tempo.

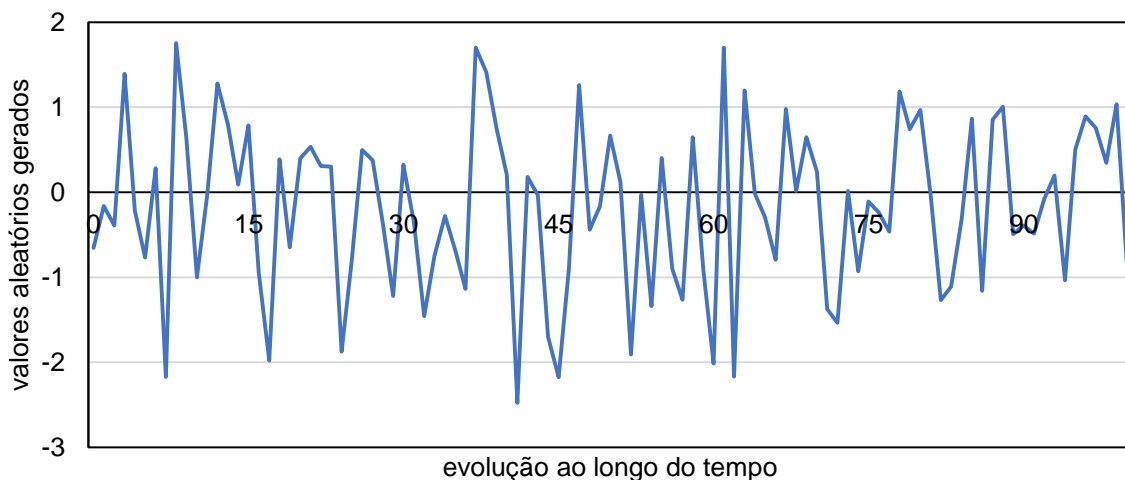


Figura 1. Valores aleatórios gerados em função do tempo

A figura 2 mostra que as variações ao longo do tempo seguem uma distribuição normal $\epsilon \sim N(0;1)$.

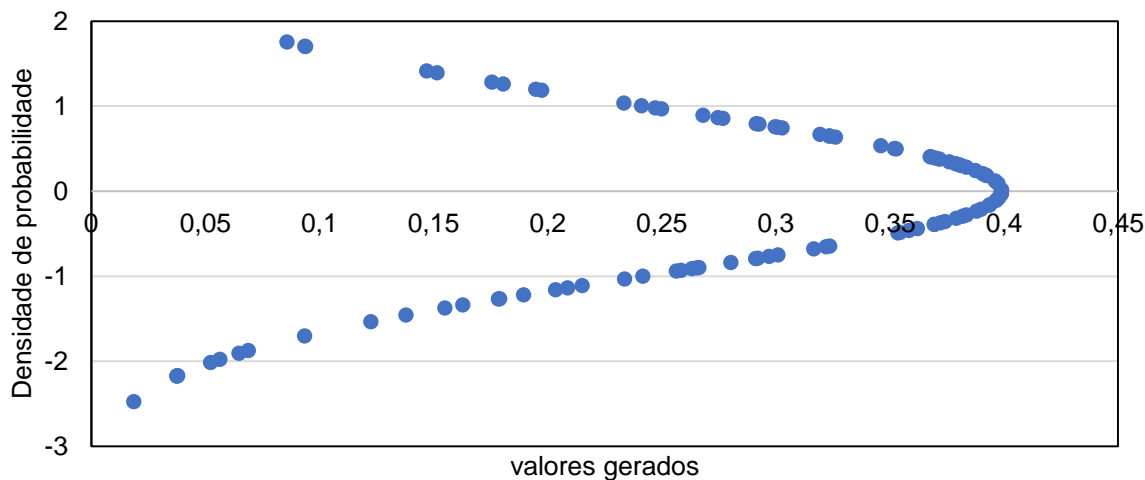


Figura 2. Distribuição normal dos valores gerados para Figura 1.

Movimento Browniano Aritmético (MBA)

O modelo matemático proposto por Bachelier considera que evolução temporal dos preços é uma solução de uma equação diferencial estocástica, conforme Equação 1.

$$dSt = \mu dt + \sigma dWt \quad (1)$$

Onde: St = preço da ação no instante de tempo t ; μdt = taxa de crescimento do ativo; σ = volatilidade; Wt = processo de Wiener.

A volatilidade (σ) é determinada, no mercado financeiro, devido às interações entre oferta e demanda. Commodities que são transacionadas em bolsas mercantis, normalmente

possuem séries históricas longas. Neste caso, a volatilidade futura é obtida por meio da volatilidade histórica da commodity a partir do desvio padrão da série histórica [1], conforme Equação 2.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (St - \bar{S})^2} \quad (2)$$

A taxa de crescimento do ativo (μdt) descreve a evolução no tempo (dt) de um montante que rende continuamente a uma taxa de juros constante (μ), a qual pode ser expressa pela média de uma determinada série histórica ou predeterminada por outros fatores [3].

A limitação do MBA é não respeitar ao princípio de responsabilidade limitada, onde um acionista pode no máximo perder o montante que investiu inicialmente, logo o preço das ações não poderia ser negativo. Essa limitação pode ser observada na Figura 3.

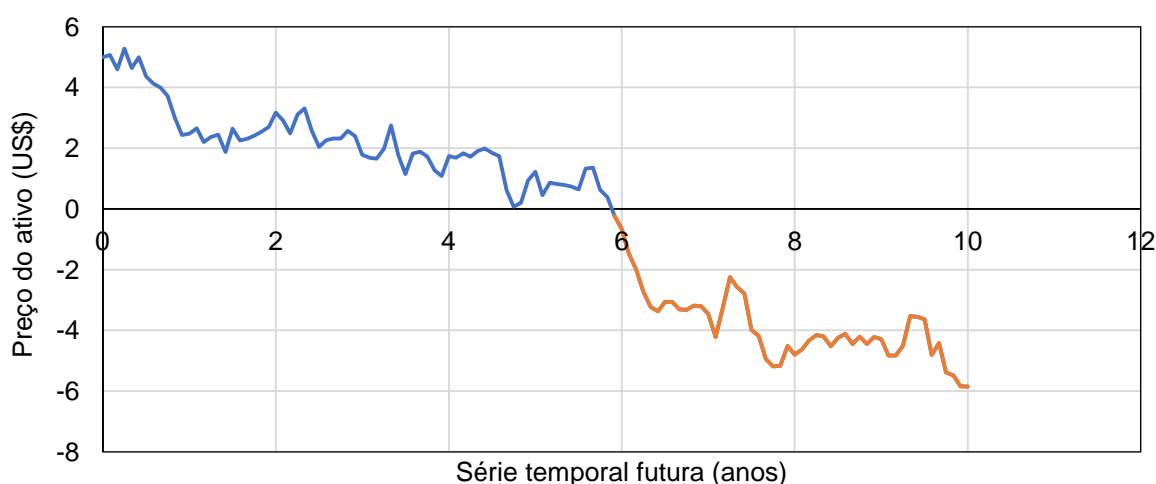


Figura 3. Simulação do preço do ativo em função do tempo com valores negativos

Movimento Browniano Geométrico (MBG)

No modelo browniano geométrico, a equação que descreve o processo estocástico de uma variável aleatória S (preços) é dada pela equação 3 [9]:

$$\frac{dSt}{St} = \mu dt + \sigma dWt \quad (3)$$

Onde: $\frac{dSt}{St}$ = retorno (variação relativa de preços); μdt = taxa de crescimento do ativo; σ = volatilidade Wt = processo de Wiener.

A Equação 3 no tempo contínuo é expressa pela Equação 4.

$$St = S_0 \cdot e^{\left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma Wt\right]} \quad (4)$$

Onde: St = Valor da ação no instante de tempo (t); S_0 = Valor da ação no instante anterior; μdt = taxa de crescimento do ativo; σ = volatilidade; Wt = processo de Wiener.

O modelo (MBG) possui a limitação de, no curto prazo, o caráter aleatório destacar-se, portanto não sendo possível verificar alguma tendência de comportamento. Já no longo prazo, isso não acontece e se pode observar uma linha de tendência. As Figuras 4 e 5

ilustram essa limitação, apresentando o caráter mais aleatório no curto prazo (6 meses) e uma tendência no longo prazo (6 anos) para uma mesma simulação.

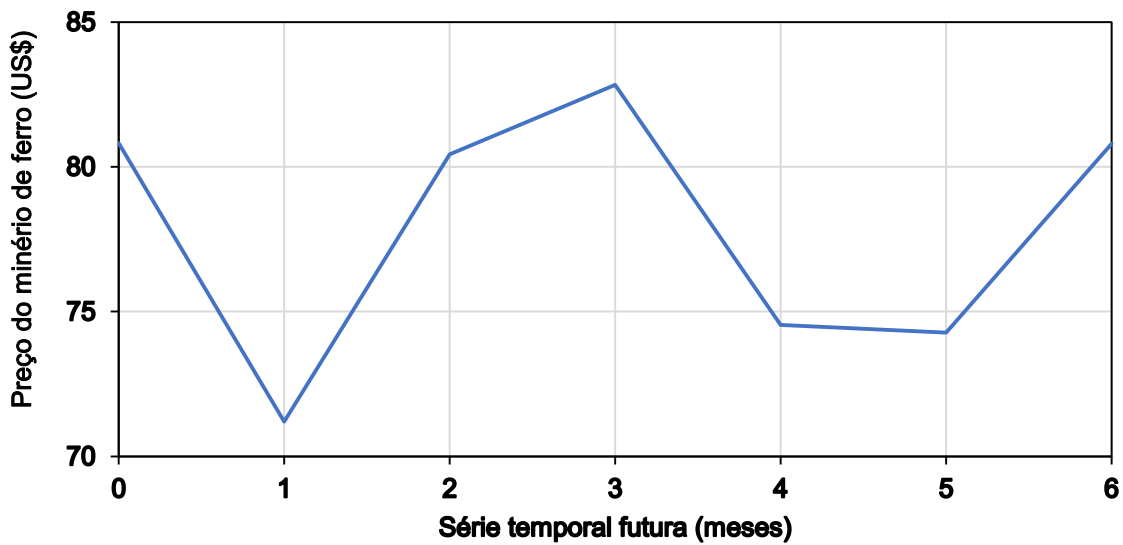


Figura 4. Intervalo de seis meses para simulação realizada na Figura 5

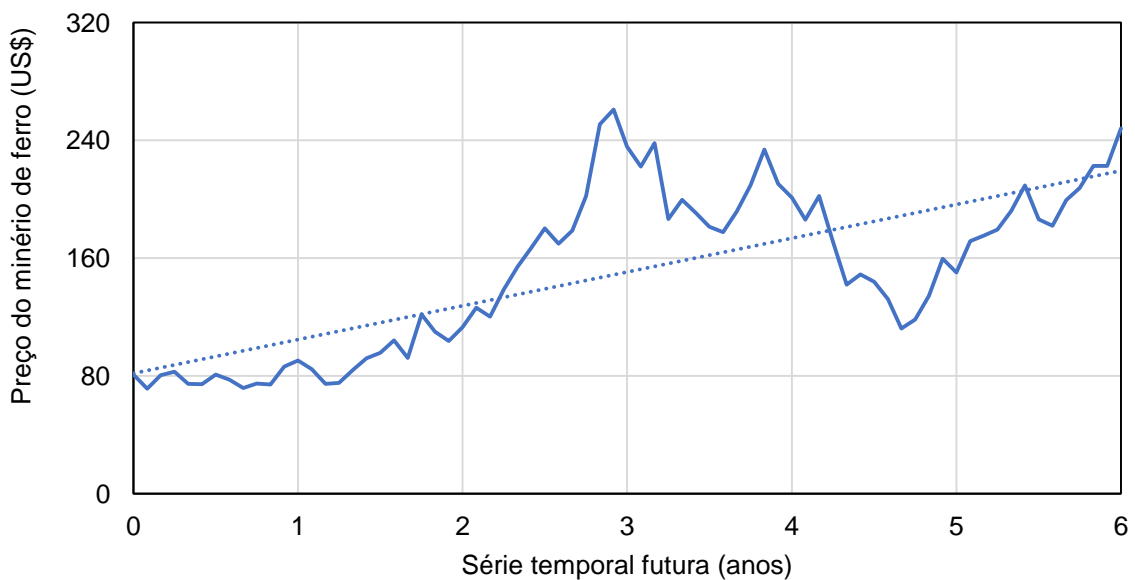


Figura 5. Simulação do preço da commodity para os próximos 6 anos

O modelo MBG possui também a restrição de poder divergir levando o preço (S_t) para o infinito em séries temporais futuras muito grandes, portanto algumas simulações que seguem o MBG podem não ser muito realistas. A Figura 6 exibe essa restrição, apresentando uma simulação de preços para os próximos 50 anos, onde os preços chegam a atingir valores acima de US\$ 40.000,00.

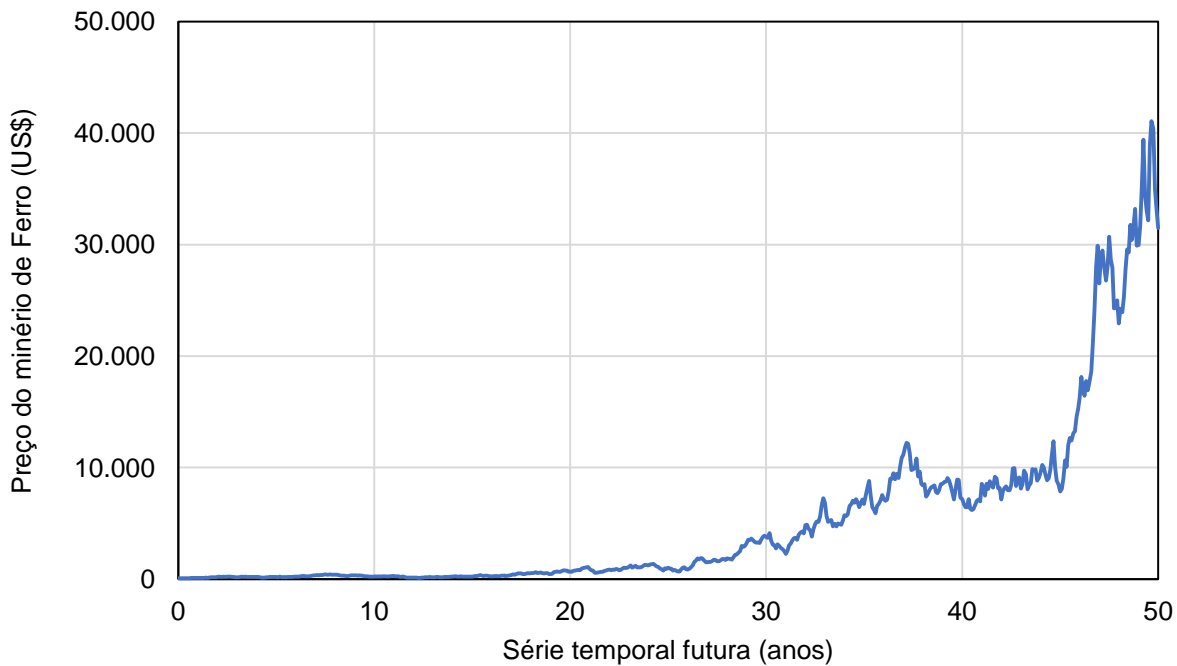


Figura 6. Previsão de preço para próximos 50 anos

Expectativas de demanda do mercado

Demanda é conceituada como a quantidade de bens e serviços que podem ser compradas por um determinado preço. A previsão de uma demanda pode ser realizada por meio de métodos informais e métodos quantitativos [10]. Três cenários aplicáveis foram identificados para o desenvolvimento do mundo até 2050, segundo documento produzido pelo fórum econômico mundial em 2015. Esses três cenários não são predições, contudo podem apontar importantes questões das quais as partes interessadas (mineradoras e siderúrgicas), necessitam estar cientes e possibilitar ações no futuro. Denominado - mundo de duas velocidades - o primeiro cenário caracteriza-se pelo surgimento de dois ou mais possíveis grupos de países. Um grupo, *“the sustainable forerunners”*, está avançando rapidamente para o uso circular de commodities e metais, enquanto o outro grupo, *“the mineral dependents”* está preocupado em garantir o crescimento e emprego por meio da mineração tradicional. Neste, o setor de reciclagem é menos desenvolvido e os impactos ambientais podem ser mitigados pelo avanço tecnológico. Ações específicas são dadas para o setor mineral: focar em uma extração com custo eficiente, identificando os melhores ativos e dispensando maior atenção em commodities menos impactadas pela reciclagem; e implementar tecnologia limpa nos países mineral dependentes [11].

O segundo cenário apresentado como “abundância de recursos”, não há escassez de materiais. Isso é devido ao avanço tecnológico, à descoberta de novas jazidas e às inovações no uso de alguns materiais. Esse cenário pode ser viável, a partir da mineração em áreas novas, como fundo oceânico e asteroides. Com a economia movendo-se para mercados abertos e os negócios globais, pode-se criar um consumo adicional em todas as regiões do mundo. Um efeito rebote poderia surgir devido à alta demanda e aumentar a extração de recursos minerais. A produção de rejeitos torna-se intensivamente um problema ambiental. Orientações para esse cenário: as mineradoras precisam garantir que possuem capital e tecnologia de ponta para expandir e deixar mais energeticamente eficiente a extração; focar em exploração de minerais não impactados por materiais substitutos; reprocesso de rejeitos; e continuar pensando sobre o impacto ambiental de suas operações.

No último cenário, “fragmentação global”, há o aumento da competição entre países por recursos devido à incapacidade de conciliar oferta e demanda. Recursos, incluindo minerais,

água, alimento e outros são depletados mais rapidamente do que o esperado ou não negociados adequadamente. Ao passo que a demanda por commodities e metais pode não ser atendida. Países cortam a exportação desses recursos para atender suas demandas domésticas e em alguns casos, esse protecionismo leva a conflitos internacionais. Nesse cenário, caracterizado por interesses nacionais conflitantes, ocorre uma fragmentação política e econômica mundial. Nesse mundo, os impactos ambientais variam consideravelmente, mas são na maioria significantes. De maneira similar, o avanço tecnológico varia de país para país, mas com uma tendência geral de decréscimo. Orientações para o setor mineral são a necessidade de mineradoras multinacionais produzirem e venderem mais localmente; deve-se encontrar uma maneira de lidar com a potencial nacionalização de recursos e estar preparado para potenciais questões de segurança.

Independentemente da variedade de possíveis cenários, conclusões podem ser desenhadas para a indústria, a mineração não irá desaparecer, a extração continuará, mas os volumes são improváveis de crescerem em linha com o Produto Interno Bruto (PIB). Isso significa que pressão para um custo eficiente e efeito de escala irão se manter num futuro previsível. Demanda por custo eficiente irá existir em paralelo com uma demanda por ações responsáveis de meio ambiente e social. A tecnologia será fundamental, e se tornará importante para melhor entender a cadeia produtiva e as preferências dos consumidores. Regras estão mudando, pressões sociais para agir de maneira mais sustentável estão crescendo e o aumento do uso circular de commodities e metais tem potencial para perturbar o setor. Face a essa mudança global, mineradoras precisam identificar as ações necessárias a serem tomadas hoje, com intuito de se preparar melhor e serem indústrias líderes no futuro [11].

Para o ano de 2018, a maior mineradora de minério de ferro em operação no Brasil, Vale, espera um crescimento econômico moderado da China, com alguns riscos de queda. Em contrapartida, a redução do nível de estoque e os investimentos devem ver apenas uma pequena diminuição. A nível global, as perspectivas econômicas se mantêm positivas, conforme crescimento esperado do PIB de 3,6% para 3,9%, segundo Fundo Monetário Internacional (FMI). A demanda e produção de aço devem aumentar com o surgimento de novos projetos no sudeste da Ásia, uma região com déficit na produção de aço e menor consumo de aço per capita. A Vale espera uma produção para 2018 em torno de 390 Mt de minério de ferro [12].

Com essas perspectivas, desde o primeiro trimestre de 2017 (1T17) a Vale vem reduzindo a produção de minério de baixa qualidade e posicionando-se como produtor de minério *premium* a partir de uma rígida disciplina de produção e vendas, com maximização de margem sobre volume. Em consonância com sua estratégia, no primeiro 1T18, a Vale atingiu um volume recorde de vendas de minério de ferro e pelotas, 84,3 Mt, para um primeiro trimestre, ficando 6,4 Mt maior do que no 1T17. O mix de vendas da Vale melhorou substancialmente ano contra ano, devido ao *ramp-up* do projeto S11D e da decisão de reduzir progressivamente a produção de minério de baixa qualidade. Esse mix de vendas dos produtos alavancou o impacto ascendente do prêmio de mercado, levando a um aumento na qualidade e no prêmio médio do preço que totalizou US\$ 5,2/t no 1T18 contra US\$ 2,3/t no 1T17 e US\$ 3,9/t no 4T17.

A produção de minério de ferro no 1T18 atingiu 82,0 Mt, ficando 4,2 Mt e 11,4 Mt abaixo do 1T17 e 4T17, respectivamente, devido principalmente à decisão de 2017 de redução de minério de baixa qualidade [13].

Previsões de preços por especialistas

Citigroup prevê para o segundo semestre de 2018 que o preço do minério de ferro (Fe de 62%) seja moderado para US\$ 60-62/t e continue assim em 2019. Isso é uma atualização na previsão devido a uma perspectiva mais positiva para a demanda de aço da China e o consumo de minério de ferro de alto teor globalmente. Ao mesmo tempo a oferta dessa commodity enfrenta dificuldades para atender essas expectativas devido à falta de investimento nos últimos anos e ao fato da necessidade de um longo prazo para construir nova capacidade de produção [14].

Goldman Sachs acredita que os preços devem declinar para US\$ 60/t no primeiro trimestre, US\$ 55/t no primeiro semestre e chegar abaixo dos US\$ 50/t ao final de 2018. A firma acredita que o aumento de oferta devido ao *ramp-up* do projeto da Vale, S11D, poderá deixar abundante a oferta do minério, e ao mesmo tempo a demanda da China diminuirá.

O HSBC em uma nota de outubro de 2017 observou uma dinâmica de demanda mais fraca e que provocaria um superávit de aproximadamente 40 Mt de minério com consequente queda dos preços abaixo de US\$ 60/t no primeiro semestre de 2018.

O Banco Mundial prevê o preço de US\$ 57/t, US\$ 50/t, US\$ 50,8/t para os anos de 2018, 2019 e 2020, respectivamente [15].

Em contrapartida, a Credit Suisse possui uma perspectiva mais positiva para os preços do minério de ferro nos anos de 2018, 2019 e 2020. Suas maiores razões para isso são: maior rentabilidade das siderúrgicas chinesas; oferta mais conservadora das quatro maiores produtoras dessa commodity; visão de que a oferta cairia rapidamente se os preços chegassem abaixo de US\$ 60/t; e a demanda da China apoiada em investimentos em infraestrutura de aproximadamente 20% ao ano [16].

Simulação de Preços

A previsão de preços para o minério de ferro (62%, c.f.r) utilizando o modelo MBG faz uso da série histórica do preço desta commodity de 20 anos (1997-2017) retirada do site: < <http://www.indexmundi.com> >. O termo taxa de crescimento (μ) foi gerado a partir da média desta série histórica de preços, logo $\mu = 1,10092\%$ a.m. Já o termo volatilidade (σ) assumiu o valor de $\sigma = 8,97577\%$ a.m a partir do desvio padrão desta mesma série histórica de preços. Pode ser gerada uma série de cenários distintos simultaneamente e para séries temporais futuras de diferentes intervalos, conforme Figuras 7 e 8. A Figura 7 mostra uma simulação para um único cenário e para uma série temporal futura.

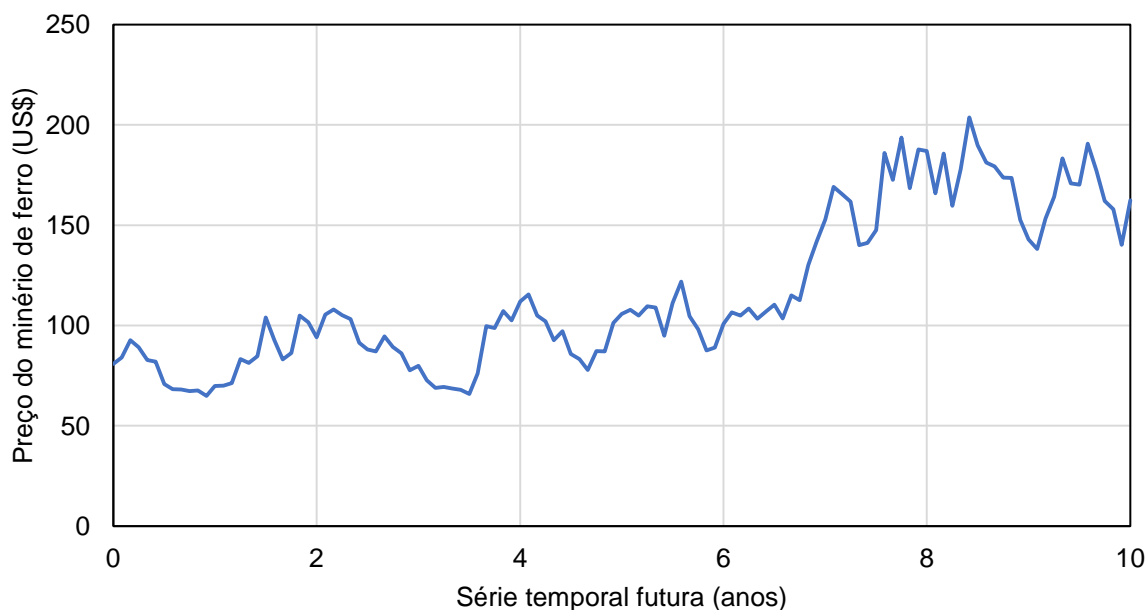


Figura 7. Simulação do preço da commodity em função do tempo futuro

A Figura 8 possui um conjunto de possíveis cenários para os preços futuros da commodity e cada cenário com uma tendência distinta.

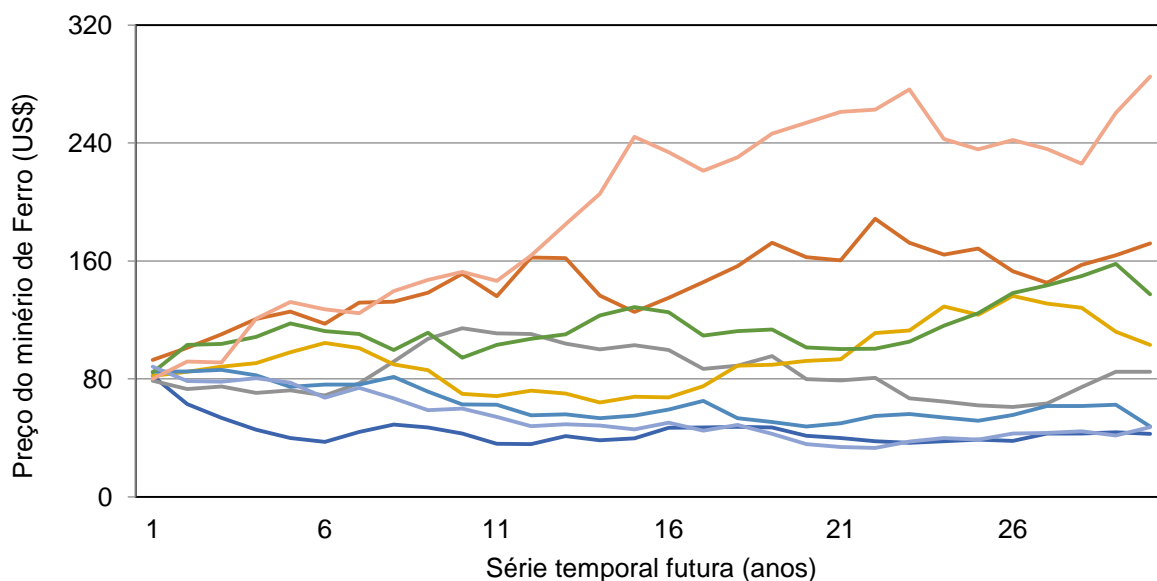


Figura 8. Múltiplos cenários simulados em função do tempo futuro

Frente às previsões de demanda e preço dos especialistas, à impossibilidade de prever o comportamento futuro de uma ação e ao fato de que apenas uma simulação não é a garantia de uma realidade futura, traça-se um cenário otimista, um cenário realista e um cenário pessimista. Para cada um dos cenários (realista, otimista e pessimista) é determinado um valor para taxa de crescimento do ativo (μ) e para volatilidade (σ). Esses valores são estimados baseados a partir das expectativas de demanda, comportamento econômico do setor, aspectos políticos e socioambientais, dentre tantos outros fatores que podem ponderar sobre o preço da commodity. Para o presente trabalho foi tomada, da série histórica do preço desta commodity de 20 anos (1997-2017), a média 12% a.a e o desvio padrão 34,6% a.a. Na Figura 9, para uma série temporal futura de 5 anos e 10 simulações, foram determinados os seguintes valores para taxa de crescimento do ativo (μ): cenário realista (0% a.a); cenário otimista (12% a.a); e cenário pessimista (-12% a.a). Os três

cenários possuíam a mesma volatilidade (σ) igual a 34,6% a.a. E assim restringindo as possibilidades a serem analisadas.

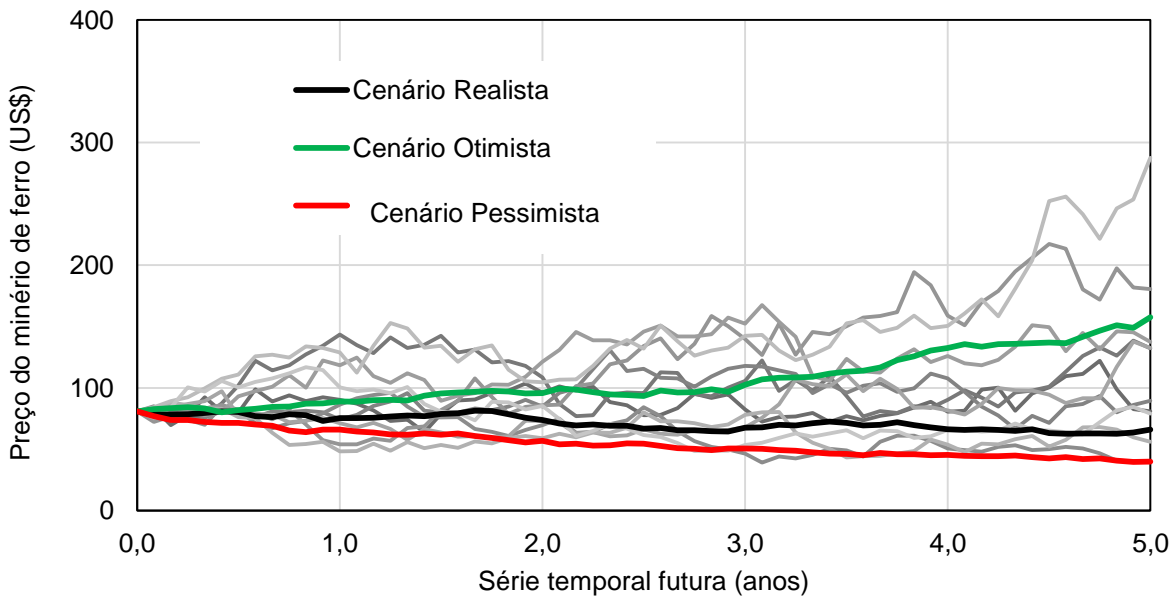


Figura 9. Projeção de três possíveis cenários

Não é possível afirmar que uma única simulação de preços será a realidade futura, logo usou-se os princípios do modelo de simulação de Monte Carlo (SMC) para determinar um número de simulações a fim de estabelecer uma probabilidade de um valor ocorrer. O método SMC consiste, em linha gerais, em gerar aleatoriamente N sucessivas amostras (preços da commodity) que serão testadas contra uma distribuição de probabilidade da variável a ser analisada. O número mínimo de iterações (N) é determinado pela Equação 5.

$$N = \left(\frac{3\sigma}{\varepsilon}\right)^2 \quad (5)$$

Onde σ é o desvio padrão entre valor mínimo, valor máximo e média dos dois anteriores e ε é o erro absoluto ou média entre valor mínimo e máximo multiplicado pelo erro relativo.

Para este estudo, o número mínimo de simulações (N) foi de 2235 para um erro relativo de 3,00%, valor mínimo de US\$ 40,00/t, valor máximo de US\$150,00/t. Foram realizadas 5760 simulações, o que representa 2,5 vezes mais simulações do que o mínimo definido acima. A Figura 10 mostra o conjunto de simulações feitas para a série futura determinada. Somente parte de todas as simulações são exibidas na Figura 10 devido a limitações computacionais.

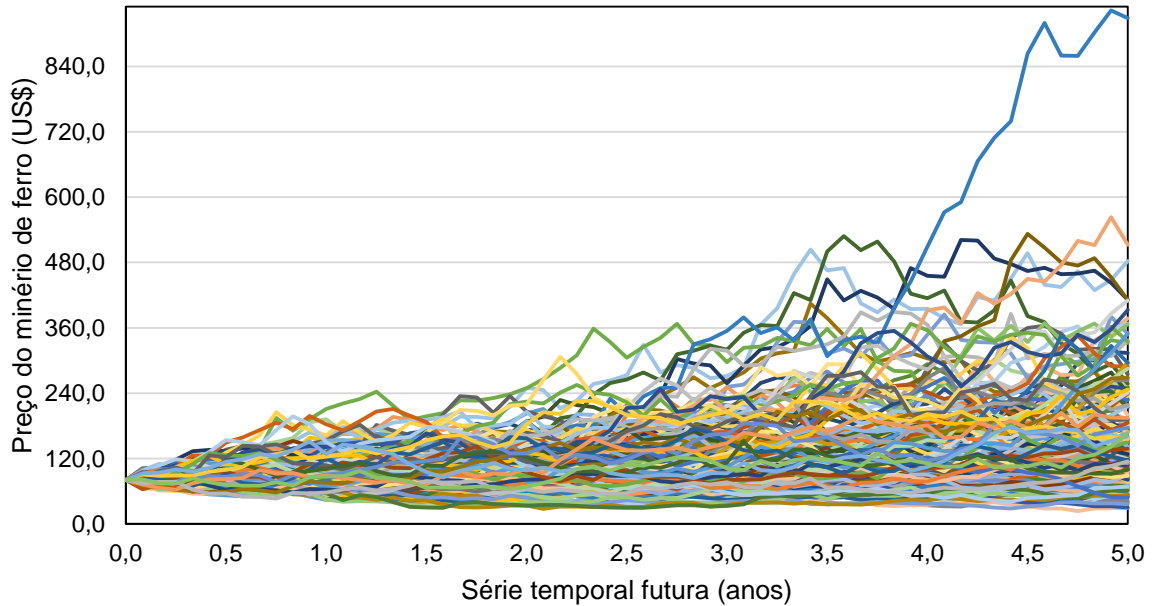


Figura 10. Múltiplos cenários simulados para série temporal de 5 anos

A Figura 11 mostra o histograma e a curva de distribuição acumulada das simulações realizadas. Com essa rodada de simulações, para o preço do minério de ferro para uma série futura de 5 anos, é possível afirmar que há 80% de chance de o valor ser menor que US\$ 144/t.

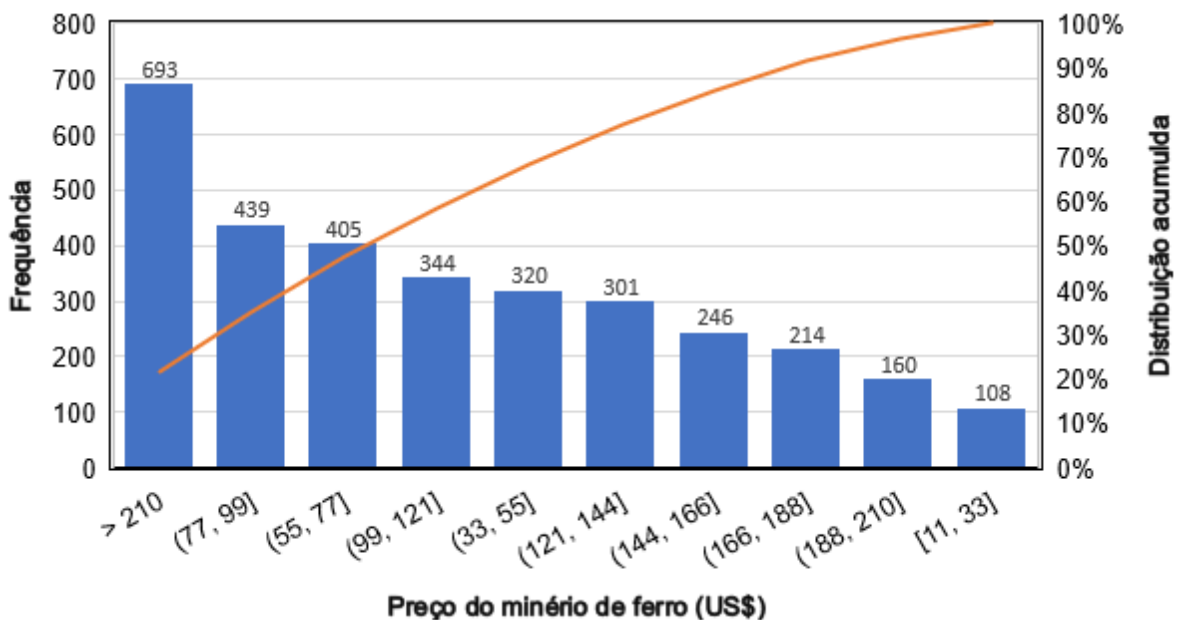


Figura 11. Simulação de SMC para 5760 simulações

A previsão do Banco Mundial para o preço do minério de ferro, para mesma série temporal futura simulada aqui, é de US\$ 50,8/t. Se tomarmos apenas os valores simulados que estão entre o limite mínimo (US\$ 40/t) e máximo (US\$ 150/t) estipulados como parâmetros da SCM, teremos 3226 simulações. Considerando a Figura 12 poderemos inferir que há 80% de probabilidade de o valor ser menor que US\$ 120/t. A previsão de US\$ 50,8/t do Banco Mundial está contida dentro do intervalo (US\$ 40/t a US\$ 60/t), o qual possui 18,4% de probabilidade de ocorrer.

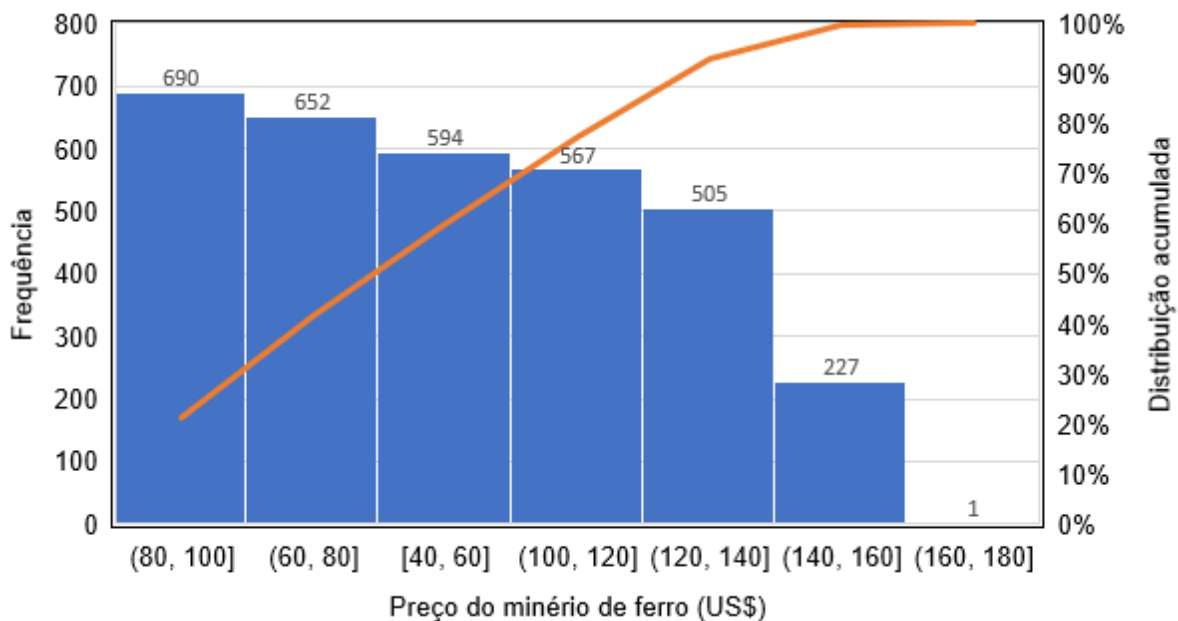


Figura 12. Simulação de SMC para 3226 simulações

A diferença percentual de 57,6% entre o menor valor simulado (US\$ 120/t), com 80% de chance, e o valor previsto pelo Banco Mundial (US\$ 50,8/t) pode ser devido ao uso de uma série histórica diferente, um modelo matemático diferente ou mesmo a determinação dos valores de taxa de crescimento e volatilidade a partir de outros parâmetros, como por exemplo, mercadológico. Tendo em vista o que foi discutido no parágrafo anterior, foi gerada uma nova rodada de simulações com base na mesma série histórica, contudo foi escolhido o intervalo de abril de 2010 até janeiro de 2017. Esse intervalo foi escolhido, pois marca a mudança histórica no modo de precificação do minério de ferro. Antes regido por contratos anuais entres as mineradoras e siderúrgicas, passa a ser precificado pelo mercado à vista (spot). Esse intervalo também deixou de fora a série histórica de preços, de 2008 a 2009, marcada pelo intenso aumento no preço da commodity, que foi alavancada pela recuperação econômica mundial. A Figura 13 apresenta a série histórica dos 20 anos e o intervalo selecionado.

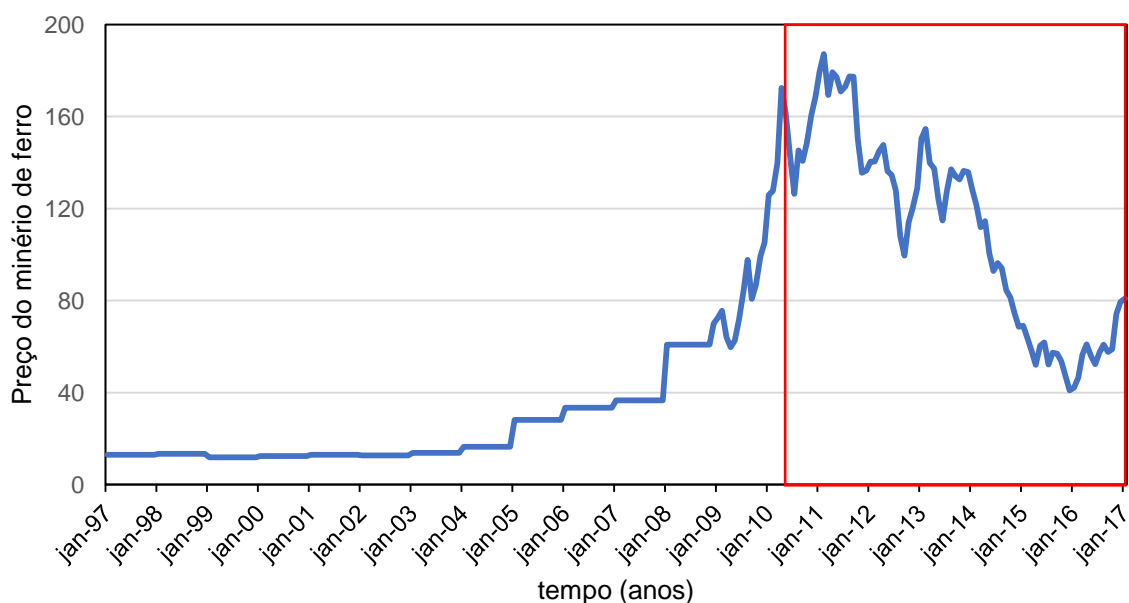


Figura 13. Série temporal histórica e intervalo subtraído

A partir dessa nova série histórica foi gerada uma nova taxa de crescimento (μ) = -0,27146% e volatilidade (σ) = 9,03786%. Para a mesma série temporal futura de 5 anos e com o mesmo número de 5760 simulações, é possível afirmar que há 80% de probabilidade de o preço ser menor que US\$ 100/t. A Figura 14 mostra o histograma e curva de distribuição acumulada resultantes dessa simulação de SMC.

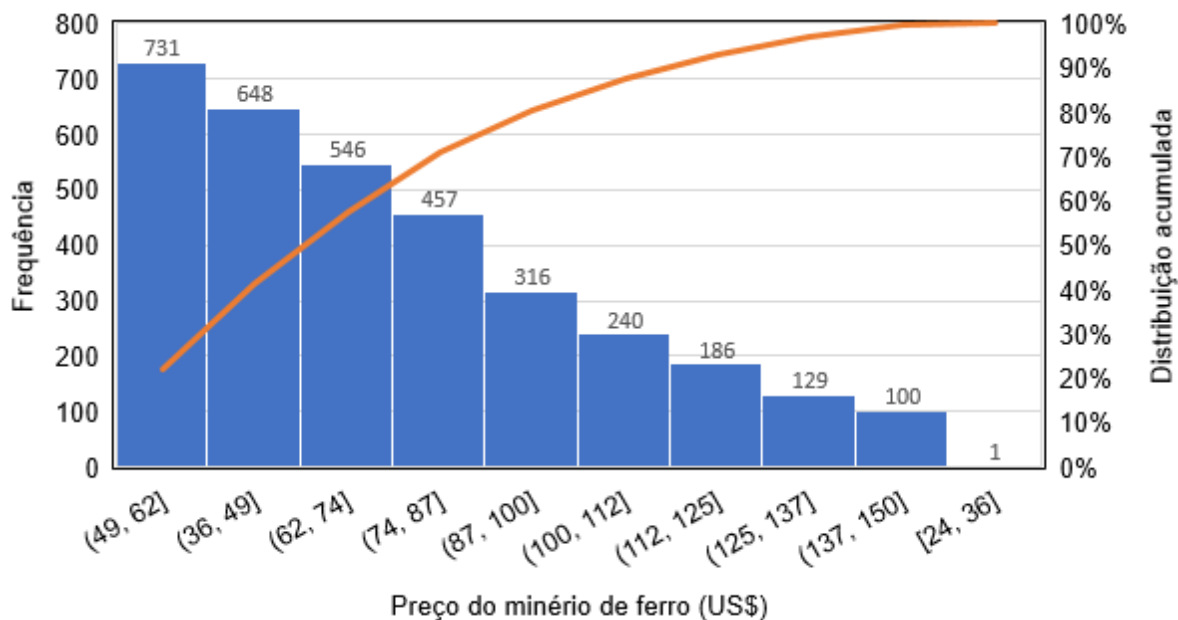


Figura 14. Simulação de SMC para 5760 simulações

Selecionando dessa nova simulação apenas os valores que estão entre o limite mínimo (US\$ 40/t) e máximo (US\$ 150/t) estipulados como parâmetros da SCM, teremos 3353 simulações. Considerando a Figura 15 podemos inferir a probabilidade de 80% de o valor ser menor que US\$ 100/t e a probabilidade de 38,3% de o valor estar dentro do intervalo (US\$ 40/t a US\$ 60/t), que engloba a previsão de US\$ 50,8/t do Banco Mundial.

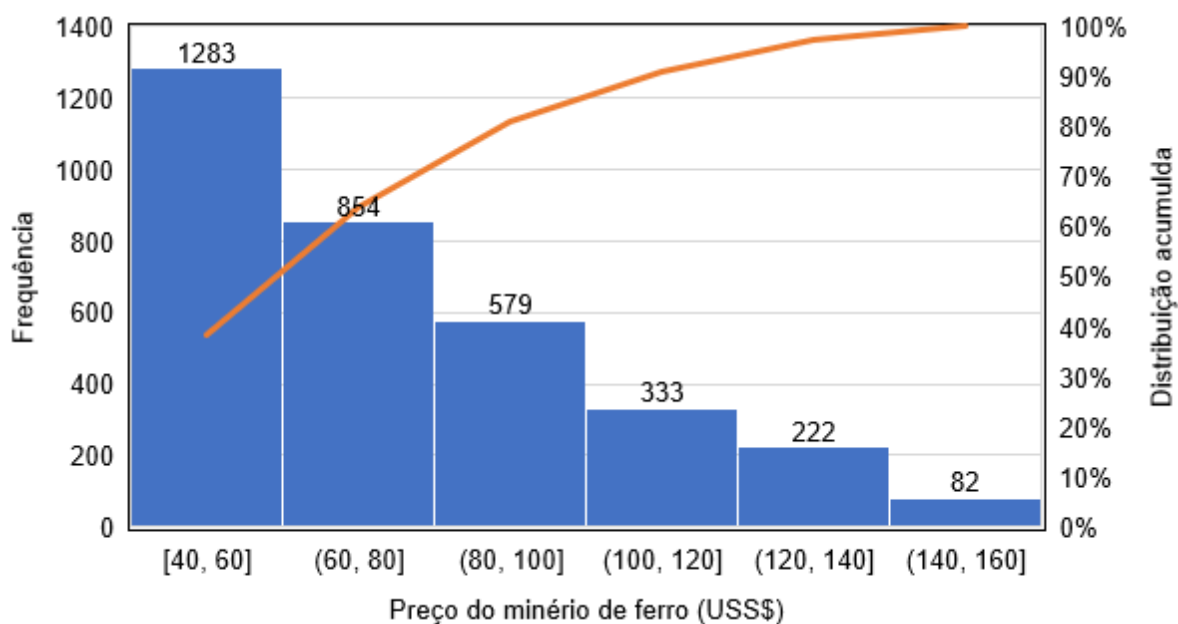


Figura 15. Simulação de SMC para 3353 simulações

Essa segunda simulação se aproxima mais das expectativas futuras feitas por especialistas do mercado financeiro e mostra a possibilidade de usar diferentes critérios para a determinação dos parâmetros taxa de crescimento e volatilidade para o (MBG).

CONCLUSÕES

Conclui-se que o modelo MBG pode ser utilizado para estimativa de preços de commodities juntamente com dados de reservas, mercado, política e outros. Esta é uma boa ferramenta de auxílio à redução dos riscos e incertezas de um investimento e a rotina aqui descrita pode ser facilmente implementada em planilhas eletrônicas. O modelo, como qualquer outro, possui limitações, principalmente para prever o curto prazo, e deve ser utilizado em conjunto com outros modelos quantitativos e qualitativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - LIMA, G. A. C.; SUSLICK, S. B., (2006), Estimativa da volatilidade de projetos de bens minerais. Revista Escola de Minas, p.37-46
- 2 - BRANDÃO, L., (2000), Processo Ito. In: PINDYCK, Dixit And. Movimento Browniano Generalizado, Puc Rio, p.19-34.
- 3 - VOLCHAN, S. B., (1999), Modelos Matemáticos em Finanças: Avaliação de Opções. Matemática Universitária, p.67-121.
- 4 - DUQUE, O. M. L., (2014), Uma breve análise do movimento Browniano. Universidade Federal do Espírito Santo, p. 50-51.
- 5 - NEVES, C. das, (2010), Geração de preços de ativos financeiros e sua utilização pelo modelo de Black and Scholes. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, p.1-9.
- 6 - PINDYCK, R.S; DIXIT, A.K, (1994), Investment under Uncertainty. Princeton University Press, p.63-65.
- 7 - PORTAL ACTION. Ambiente de aprendizado. Movimento browniano. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/processo-estocastico/movimento-browniano>>. Acesso em: 13 abr. 2018.
- 8 - EJARQUE, J., (2000), Notes on chapter 3 of Dixit and Pindyck. University of Conhagen, p.1-3.
- 9 - GOODMAN, J., (2012), Stochastic differential equations, New York Unversity, p.2-5.
- 10 - SHARMA, S. K.; SHARMA, G. K., (2015), Demand forecasting techniques vis-à-vis demand for lead. ScienceDirect, p.1.
- 11 - WORLD BANK GROUP, (2015), Mining e Metals in a sustainable world 2050. World Economic Forum, p.5-37.
- 12 - VALE S.A., (2017), Relatório anual 2017. Rio de Janeiro, p.86.
- 13 - VALE S.A., (2018), Produção e vendas da Vale no 1T18. Rio de Janeiro, p.3-4.
- 14 - CITIGROUP, (2018), 2018 Annual outlook. New York, p-14.

15 - WORLD BANK GROUP, (2017), Commodity markets outlook. World Bank, p.14.

16 - MARKET REALIST. What are analysts predicting for iron ore prices in 2018? Disponível em: < <https://marketrealist.com/2018/01/analysts-predicting-iron-ore-prices-2018>>. Acesso em: 23 abr. 2018.