

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DE INCERTEZAS NAS OPÇÕES DE ESCOAMENTO E CAPACIDADE PRODUTIVA DE UMA MINERADORA

Caio Pereira e Maia

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627- Campus Pampulha Cep: 31.270-901 - Belo Horizonte - MG - Brasil
caio.p.maia@gmail.com

Daniel Teixeira Eloi Santos

Pris Tecnologia
Av. Prudente de Moraes, 135, sala 201/202 Cep: 30350-093 - Belo Horizonte - MG - Brasil
daniel.eloi@pris.com.br

Leonardo Pereira Santiago

Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Minas Gerais
Av. Antônio Carlos, 6627- Campus Pampulha Cep: 31.270-901 - Belo Horizonte - MG - Brasil
lsantiago@ufmg.br

RESUMO

Apresentamos um modelo de opções reais que incorpora tanto incertezas de preço e lead time de implantação quanto a flexibilidade gerencial decorrente das opções de escoamento e capacidade produtiva. Para modelar as incertezas, utilizamos processos estocásticos tais como movimento browniano geométrico e reversão à média histórica para projetar o preço futuro do minério de ferro, e distribuição de probabilidades Weibull para projetar atrasos de implantação. A flexibilidade gerencial é modelada pelas opções de capacidade e escoamento enumeradas em um projeto com diversas minas e opções de transporte até o porto, além das localizações possíveis para esses portos. Avaliamos o modelo via simulação de Monte Carlo. Nossa análise demonstra que a incerteza de preço tem um valor crucial na valoração da flexibilidade gerencial de um projeto de mineração, ao passo que a incerteza de lead time nas opções possui um impacto menos importante.

PALAVRAS CHAVE: Análise de Investimentos. Opções Reais. Mineração. **AREA:** PO em Economia e Finanças.

ABSTRACT

We introduce a real options model which uncertainties are both price and project implementation lead time. Our model considers managerial flexibility from the outbound options and production capacity. We have used stochastic processes techniques to model uncertainties, such as geometric brownian motion and mean reversion process to forecast future iron ore price, as well as Weibull probability distribution to forecast implementation delays. Managerial flexibility comes from transport options and producing capacity options at a start-up project with several mines and transportation options to the port, moreover the possible locations for those ports. Monte Carlo simulation is then applied. Our analysis shows that price uncertainty has a crucial importance on capturing value from managerial flexibility for a mining project, while the uncertainty of lead time delay has an irrelevant impact.

KEYWORDS: Investment Analysis. Real Options. Mining Industry. Main area Operational Research at Economy and Finance.

1. Introdução

A discrepância entre os métodos de avaliação de investimento tradicionais como o fluxo de caixa descontado (FCD) e a realidade corporativa, aliado a um ambiente macroeconômico cada vez mais complexo são importantes fatores que motivam a aplicação de metodologias de análise de investimento que sejam capazes de incorporar incertezas e flexibilidades gerenciais. Análises baseadas simplesmente no valor presente líquido (VPL) podem levar um tomador de decisão a ações que impossibilitam a captura de valor de novas oportunidades que poderiam gerar ainda mais valor e foram ignoradas previamente.

A indústria de mineração de ferro se insere neste contexto, no qual a implantação de um projeto parte de pesquisas geológicas, seguidas por um trabalho de engenharia e processo, passando pela construção e em seguida o início da produção. Por todo este período o projeto fica exposto à oscilação do valor de investimento inicial, às incertezas do preço da *commodity* e de lead time de implantação. Estas características resultam num longo período entre o investimento e a geração de caixa, o que pode levar um analista a conclusões errôneas na avaliação da viabilidade do projeto caso utilize FCD – impossibilitando a captação dos recursos financeiros necessários e até a inviabilização do empreendimento.

A abordagem tradicional do FCD é imprópria ao tratar incertezas e capturar a flexibilidade de se revisar decisões na medida em que mais informações são naturalmente reveladas. O FCD possui premissas que indicam um horizonte de análise estático, onde os gestores possuem uma postura passiva frente à estratégia operacional – os gestores não seriam capazes de mudar a estratégia em caso de alteração das condições macroeconômicas ou surgimento de oportunidades melhores de captura de valor conforme Trigeorgis (1996).

Este é o contexto onde se desenvolvem de técnicas que tratam a incerteza na análise de investimento. A análise por opções reais (AOR) é uma das técnicas que incorpora as incertezas, e bastante explorada e consolidada em publicações acadêmicas e aplicações no mundo corporativo. A literatura apresenta relatos de diversas aplicações de AOR como projetos de mineração, mercado imobiliário, patentes, pesquisa e desenvolvimento. O investidor tem a opção de poder exercer o investimento, com certo custo, mas não possui obrigação de investir. Esse investimento só pode ser exercido em um período específico de tempo, porém só o realiza se as condições futuras se mostrarem favoráveis ao investimento. Esta abordagem permite que a análise incorpore as incertezas e a flexibilidade gerencial.

No início da década atual, o impacto sobre o mercado mundial de mineração de ferro, causado pela crescente demanda chinesa lastreada por forte crescimento econômico daquele país valorizou novamente o ferro e conseqüentemente resultou em aumentos significativos de preço e margem para as mineradoras. O preço da *commodity* disparou no mercado internacional, e, com isso, muitas jazidas e tratamentos de minério que antes tinham um custo muito elevado tornaram-se viáveis, o que motivou também o desenvolvimento de diversos projetos no mundo. Estes projetos são financiados por capitais que já estavam no mercado de mineração e ainda atraem outros que estão espalhados em outros tipos de negócio.

Todas essas características do mercado de mineração de ferro florescem de riscos, e conseqüentemente de incertezas para as análises financeiras. Daí surge a pergunta: como avaliar tais projetos de mineração em seu estágio inicial, para a definição do melhor modelo de negócio, considerando as diversas incertezas a que estão submetidos?

Assim, nosso trabalho consiste na construção e análise de um modelo de opções reais aplicados a um empreendimento de mineração de minério de ferro. Para esta construção utilizamos os conceitos de:

- Modelagem do negócio de mineração de ferro e as diversas estratégias que os gestores podem optar com o objetivo de maximizar o valor do negócio
- Modelagem da incerteza do preço do minério de ferro utilizando técnicas de processos estocásticos tais como reversão à média e movimento browniano geométrico.
- Modelagem da incerteza de lead time de implantação, modelados utilizando distribuição de probabilidade Weibull
- Modelagem das opções gerenciais mapeadas em um simulador que utiliza simulação de monte carlo para a valoração das opções

A principal contribuição de nosso trabalho para a literatura está na modelagem direta da incerteza do preço e lead time de implantação na valoração de toda a operação de uma empresa de mineração de ferro. O empreendimento avaliado contempla a implantação de mina, opção de escoamento até o porto e implantação do porto. Assim, outra contribuição elencada aqui é a constatação da flexibilidade gerencial na escolha da estratégia de escoamento do negócio e no dimensionamento da capacidade produtiva do projeto onde há várias minas integradas. O que é mais comum em publicações de análises de opções reais em mineração é a análise que se restringe a apenas uma mina.

Na seção “revisão bibliográfica”, apresentamos uma compilação de trabalhos que utilizavam de opções reais na indústria de extração de recursos naturais em geral, e das técnicas utilizadas na construção do modelo com o objetivo de contextualizar este trabalho na literatura e apontar sua relevância. Em seguida na seção “Estudo de caso: Definição do Modelo de Valoração” é apresentado o modelo construído para modelagem do negócio, obedecendo ao fluxograma de construção de nossa análise. Na seção “Análise dos Resultados do Modelo” apresentamos os resultados do modelo de opções reais considerando incertezas e flexibilidade gerencial. Por meio deste trabalho, procuramos responder à questão chave: qual o impacto da incerteza do preço do minério e do lead time de implantação no valor do projeto, considerando a flexibilidade gerencial?

2. Revisão Bibliográfica

A flexibilidade gerencial permite tomar ações em resposta a mudanças de mercado ou a iniciativas de concorrentes. Podem-se aproveitar condições ambientais favoráveis e elevar o valor presente dos fluxos de caixa esperados do projeto, por meio de uma expansão, por exemplo. Em condições desfavoráveis, podem-se limitar possíveis perdas tomando ações como a redução de escala, a interrupção ou o abandono do projeto. Essa flexibilidade gerencial, que se assemelha a uma opção financeira, introduz uma assimetria na distribuição de probabilidades do VPL de um empreendimento. Desta forma, pode-se dizer que um projeto possui um valor expandido que corresponde à soma do valor da opção a seu VPL estático conforme Trigeorgis e Mason (2001).

A utilização da técnica de AOR na indústria de exploração de recursos naturais data da década de 1980. Um dos primeiros estudos de valoração utilizando AOR nesta indústria objetivou a valoração de uma mina de cobre proposto por Brennan e Shwartz (1985), focando nos conceitos de incertezas e flexibilidade operacionais. Diversas publicações focam a indústria de petróleo, como o valor da flexibilidade em operações de arrendamento conforme Paddock et al (1988) e também na estratégia de licitação de áreas governamentais na Noruega para desenvolvimento de projetos da indústria de petróleo Sunnevav (1998). Moyen et al. (1996) desenvolveu comparações entre minas de cobre no Canadá onde demonstra que o FCD subestima o valor dos projetos em relação à aplicação de AOR. Também nas minas de cobre do Canadá, Slade (2001) propôs um trabalho onde o foco está na flexibilidade operacional das minas,

considerando as incertezas de custos, reservas e preço do cobre modelado, concluindo que, quanto mais incerteza é incorporada ao modelo, maior é o valor do projeto analisado.

Kelly (1998) aplicou o modelo binomial para valoração de minas de ouro. McCarthy and Monkhouse (2003) desenvolveram um modelo trinomial, considerando opções de espera e abandono em minas de cobre, considerando processo de reversão à média para a projeção do preço do metal.

Teoria de opções reais também já foi utilizada para análise do melhor plano de lavra a partir dos dados de pesquisas geológicas do ativo. Normalmente os planos de lavra são escolhidos com FCD nas simulações operacionais de mina. Porém, o FCD ignora as opções de abandono que possuem este item específico, uma vez que melhor cava dimensionada num planejamento de mina evita perdas nos períodos de flutuação do minério proposto por Dimitrakopoulos e Sbour (2007). Outras aplicações na indústria de mineradora incluem Trigeorgis (1993), Tufano e Moel (1999), Kamrad e Ernst (2001), Moel e Tufano (2002), Abdel Sabour e Poulin (2006) e Samis et al. (2006).

Outro foco encontrado nos trabalhos de aplicação de AOR aplicados à exploração de empreendimento de recursos naturais está nas opções de expansão em seqüência. Adquirir uma propriedade cria a opção de pesquisa geológica, a informação proveniente da pesquisa cria a opção de desenvolvimento do projeto, e implantar o projeto cria a opção de extração do recurso natural: após o início da operação, o empreendedor possui a opção de paralisar a operação nos períodos de crise da *commodity* extraída. Muitos trabalhos na literatura de finanças abordam a valoração neste contexto.

3. Estudo de caso: Construção do Modelo de Valoração

A construção do modelo de valoração parte da modelagem das opções, seguida pela estruturação das planilhas de fluxo de caixa. Depois, a este modelo é agregada a modelagem das variáveis de acordo com os processos estocásticos. Assim, ajustamos a planilha para que um software específico possa executar a simulação de Monte Carlo. Após a simulação, analisamos os resultados e apontamos conclusões.

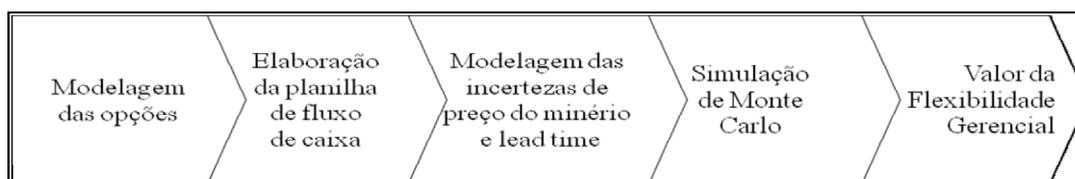


Figura 1: Etapas de construção do modelo de Opções Reais

O uso do isolado do método do FCD não é apropriado para a valoração de projetos que apresentam flexibilidade gerencial conforme Trigeorgis (1996). Este fundamento essencial da AOR é o ponto de partida para a construção do modelo.

3.1. Modelagem das Opções

Consideremos a situação em que o empreendedor possui dois pontos chaves de decisão durante a implantação do projeto. Estes pontos são definidos levando em consideração as etapas em que se pode executar a expansão ou não do projeto respeitando cronograma de implantação. As incertezas influenciaram em cada ponto decisório para que o empreendedor escolha a opção que mais adiciona valor ao projeto. Nestes momentos, o empreendedor pode escolher o valor do

investimento que fará conforme cada opção, e em cada uma das opções de negócio ele incorrerá em diferentes custos de implantação e operação.

Uma premissa importante que devemos considerar é a de que todas as opções são compostas por no mínimo um transporte e um porto, com suas devidas capacidades operacionais. As opções mapeadas estão modeladas para dois momentos decisórios na vida do projeto. Cada opção considera os investimentos necessários à implantação, capacidade produtiva e, conseqüentemente, a geração de caixa da opção.

No primeiro ponto decisório ($t+1$), temos 5 opções: Sq, A, B, C, D. Em seguida ($t+3$), outras opções derivadas das cinco primeiras. Partindo do instante de tempo t como início do Projeto, os pontos de decisórios $t+1$ e $t+3$ com suas possíveis opções são as seguintes:

- D+1:
 - Sq: Construção do Transporte A (50 MMt) e do Porto A (50 MMt)
 - A: Construção do Transporte A (75 MMt) e do Porto A (50 MMt com possibilidade de expansão para 75MMt)
 - B: Construção do Transporte A (50 MMt), Porto A (50 MMt) e Porto B (25 MMt)
 - C: Construção do Transporte A (75 MMt), Porto A (50 MMt com possibilidade de expansão para 75MMt) e Porto B (25 MMt)
 - D: Construção do Transporte B (50 MMt), e do Porto B (50 MMt)
- D+3:
 - Sq: Operação do Transporte A (50 MMt) e do Porto A (50 MMt)
 - A₀: Operação do Transporte A (50 MMt) e do Porto A (50 MMt)
 - A₁: Expansão da Operação do Transporte A (75 MMt) e do Porto A (75MMt)
 - B₀: Operação do Transporte A (50 MMt), Porto A (50 MMt) e Porto B (25 MMt)
 - B₁: Expansão Operação: Transporte A (50 MMt), Porto A (50 MMt), Construção do Transporte B (25 MMt), Porto B (25 MMt)
 - B₂: Operação do Transporte A (50 MMt), Porto A (50 MMt) e venda do Porto B (25 MMt)
 - C₀: Operação do Transporte A (50 MMt), Porto A (50 MMt) e Porto B (25 MMt)
 - C₁: Expansão Operação: Transporte A (75 MMt), Porto A (75 MMt), Construção do Transporte B (25 MMt), Porto B (25 MMt)
 - C₂: Expansão Operação: Transporte A (75 MMt), Porto A (75 MMt), Construção do Transporte B (25 MMt) e vender Porto B (25 MMt)
 - C₃: Operação: Transporte A (50 MMt), Porto A (50 MMt) e vender Porto B (25 MMt)
 - D: Operação do Transporte B (50 MMt), e do Porto B (50 MMt)

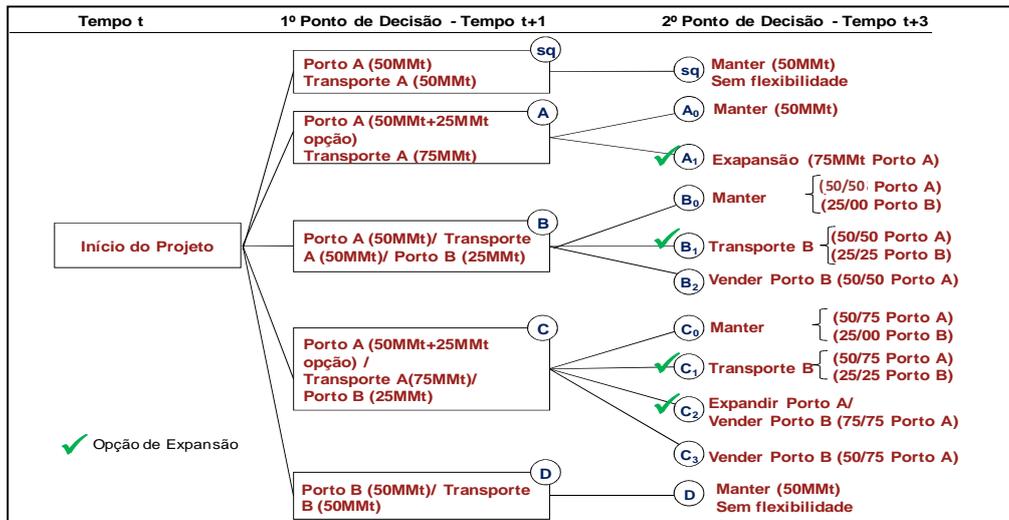


Figura 2: Ilustração das Opções nos respectivos períodos de decisão dos empreendedores

3.2. Elaboração da planilha de fluxo de caixa

Para o cálculo do VPL de cada uma das opções, construímos um FCD para as opções. Cada opção teve o valor de seu fluxo calculado conforme seu horizonte de tempo: isto é, as opções do 2º ponto de decisão eram simuladas, e o maior VPL é escolhido. Após a definição desta opção do tempo t+3, o valor da opção em t+1 era calculado. Em seguida, conclui-se qual é o VPL do projeto para a interação em curso.

O FCD tradicional parte da receita operacional líquida, a qual incorpora tanto a incerteza do preço do minério, quanto a incerteza do lead time de implantação. A partir deste valor são subtraídos os custos. Em nossa modelagem, consideramos os custos específicos do setor acoplados ao comportamento do minério (de forma considerar a inflação específica do setor nos custos) e uma parte ligada somente ao volume. Em outras palavras, em nossa análise dividimos os custos em dois componentes, um aliado ao preço do minério e outro associado ao volume. Esta suposição nos permitiu captar o efeito da variação do preço do minério sobre os custos produtivos do setor, incorporando este efeito ao fluxo de caixa de cada opção.

A incerteza de lead time afeta o fluxo de caixa projetado de forma independente para a implantação das minas, transporte até o porto e porto. O atraso implica no deslocamento no tempo da geração de caixa de cada opção.

Um ponto importante é a taxa em que cada fluxo é descontado no tempo: os itens que não possuem modelagem de incerteza, tais como custos fixos, despesas, depreciação, investimentos e necessidade de capital de giro são trazidos a valor presente utilizando um custo médio ponderado de capital de pressuposto de 8,6%. A parte do fluxo em que a incerteza é incorporada, como receita operacional líquida e a parte dos custos influenciada pelo setor de mineração utilizam a taxa livre de risco de 4,42% como taxa de desconto. Isto ocorre porque nos processos estocásticos que utilizamos para projetar o preço futuro do minério, utilizamos uma modelagem neutra a risco – o que garante a coerência do modelo.

A utilização de taxas de desconto diferentes para cada ramo da árvore de decisão torna extremamente complexa sua utilização conforme Copeland e Antikarov (2001), porém com auxílio de software específico, a mesma é possível aplicação em computadores pessoais.

3.3. Modelagem das Incertezas

Processos estocásticos são definidos como um modelo matemático de um experimento probabilístico que evolui com o tempo e gera uma seqüência de valores numéricos. Cada valor numérico da seqüência é modelado por uma variável aleatória, logo um processo estocástico é simplesmente uma seqüência, finita ou infinita, de variáveis aleatórias conforme Bertsekas e Tsitsiklis (2000). Na área financeira e econômica, por exemplo, processos estocásticos são usados para gerar uma seqüência de preços de ativos financeiros como ações, títulos públicos, preços de *commodities*, valores presentes de fluxos de caixa de projetos, entre outros.

Modelamos a incerteza do preço do minério de ferro com dois processos estocásticos conforme o horizonte de tempo. Para o curto e médio prazo (de t até $t+9$), utilizamos movimento browniano geométrico (MBG) e para o longo prazo ($t+10$ até $t+29$) utilizamos o processo de reversão à média (PRM). Adotamos esta estratégia de modelagem porque na última década a demanda do minério cresceu a uma taxa maior que a oferta devido à entrada da China como grande consumidor do mercado transoceânico. Isto modificou o comportamento do preço do minério, fazendo com que o preço aumentasse sempre em relação ao ano anterior. Estimamos que em 10 períodos esta demanda se equilibrasse, e que, em seguida, o preço se comportará revertendo à média histórica conforme Hong e Sarkar (2007) e Bastian-Pinto e Brandão (2007). Estas suposições refletem também as opiniões de especialistas no setor.

É importante ressaltar também que no MBG, para os quatro primeiros períodos da análise, utilizamos uma tendência de alta no processo. Em seguida, deixamos o processo sem tendência. O MBG é o processo estocástico que considera a suposição de que o preço de um ativo segue um processo de Markov, isto é, de que para predizer o futuro do preço do ativo basta conhecer o preço atual, não importando os preços históricos. Além disso, esta definição é coerente para o período atual, onde a pressão da demanda sobre a oferta força o mercado inclusive a rever a lógica de negociação do minério de ferro. Aliado a este fator, existe o lead time de implantação de projetos que impede que o equilíbrio do mercado seja alcançado num curto período de tempo.

O PRM, os incrementos do preço ano a ano não são independentes, pois dependem da distância entre seu valor atual e o valor médio de longo prazo. Quanto mais distante do valor de longo prazo, maior tende a ser a variação. Além disso, se o valor atual é superior ao valor de longo prazo, assim, o preço tende a se reduzir, caso contrário, tende a crescer conforme Dixit e Pindyck (1994).

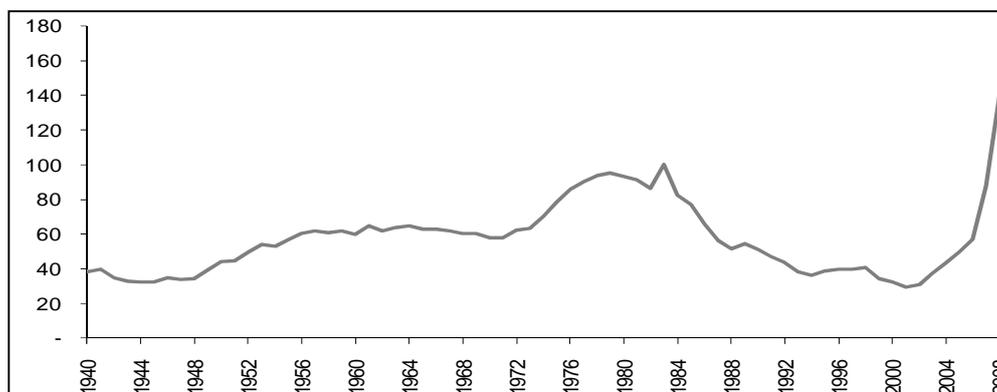


Gráfico 1: Série histórica do preço do minério de ferro (centavos de dólar por unidade metálica de Fe)
Fonte: United States Geological Survey – 1940 até 2007

Para aplicar estes métodos no modelo, precisamos calcular a volatilidade do preço do minério de ferro. Como o ferro não é um ativo comercializado em bolsa de valores, e possui uma lógica comercial de negociações anuais, utilizamos uma série histórica anual de preços de 1940 até 2007. Considerando que o preço da *commodity* segue uma distribuição lognormal, conforme Roberts (2009), calculamos a variância da série histórica para definir a volatilidade a ser utilizada nos parâmetros do MGB e PRM. O valor da volatilidade calculado é de 16%. Uma amostra dos resultados obtidos em simulação para os preços futuros do minério de ferro utilizando os processos descritos é mostrada no gráfico 2. Os valores mais escuros no gráfico apontam maior ocorrência durante a simulação.

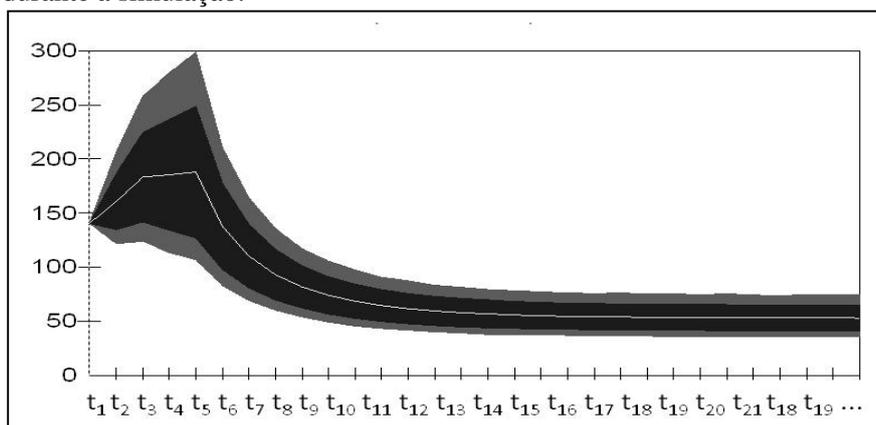


Gráfico 2: Faixa de preços projetados conforme simulação (centavos de dólar por unidade metálica de Fe)

A outra incerteza modelada foi o atraso na implantação dos projetos. Para projetar sua ocorrência, utilizamos a distribuição de probabilidade Weibull, utilizada na modelagem de atraso de tarefas em análises de cronogramas. Utilizamos como parâmetros a premissa de que o atraso mínimo é zero (não há probabilidade de se adiantar a implantação); um valor de moda de 2 meses (considerando que os períodos são em anos) e um atraso máximo de 24 meses.

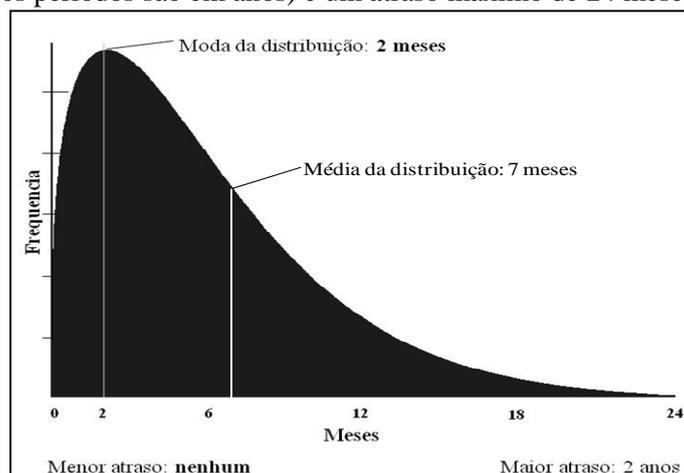


Gráfico 3: Distribuição de Probabilidades Weibull com os parâmetros utilizados no modelo

3.4. Simulação de Monte Carlo

Utilizamos a simulação de Monte Carlo para avaliar a flexibilidade gerencial. A cada interação de simulação (simulamos 10.000 interações), é gerada uma trajetória, obtendo o valor terminal da variável estocástica e o valor VPL da opção na data das decisões em $t+1$ e $t+3$. O que

garante a variação entre uma interação e outra é justamente a modelagem das incertezas descritas anteriormente, e, no modelo, a cada interação é escolhida a opção de VPL máximo:

$$\text{Max } \{Sq, A, B, C, D\}$$

Este valor máximo de cada interação é armazenado, e fornece os dados para a flexibilidade gerencial.

3.5. Valor da Flexibilidade Gerencial

Para analisarmos o valor da flexibilidade, efetuamos duas simulações. Na primeira simulação, consideramos apenas a incerteza de preço: consideramos o lead time de atraso de implantação fixo, como o valor médio de 6 meses.

Nesta simulação, comparamos 2 opções que chamamos de cenário 1 e cenário 2. No cenário 1, não há flexibilidade gerencial: o empreendedor não pode mudar de opção nos pontos de decisão $t+1$ e $t+3$. Ao contrário, no cenário 2, o empreendedor escolhe o cenário de maior VPL. O gráfico 4 ilustra o valor da flexibilidade: aumento de 38,8% em relação ao cenário sem flexibilidade.

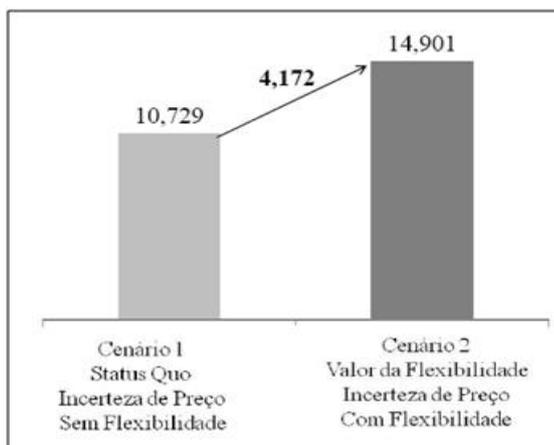


Gráfico 4: Comparação entre as médias do Cenário 1 (com incerteza de preço, porém sem flexibilidade) e Cenário 2 (com incerteza de preço, com flexibilidade)

Na segunda simulação, consideramos as incertezas de preço e lead time de implantação. Agora, comparamos 2 opções que chamamos de cenário 3 e cenário 4. No cenário 3, não há flexibilidade gerencial. Porém, no cenário 4, o empreendedor escolhe o cenário de maior VPL no decorrer do projeto. O gráfico 4 ilustra o valor da flexibilidade: aumento de 40,3% em relação ao cenário sem flexibilidade.

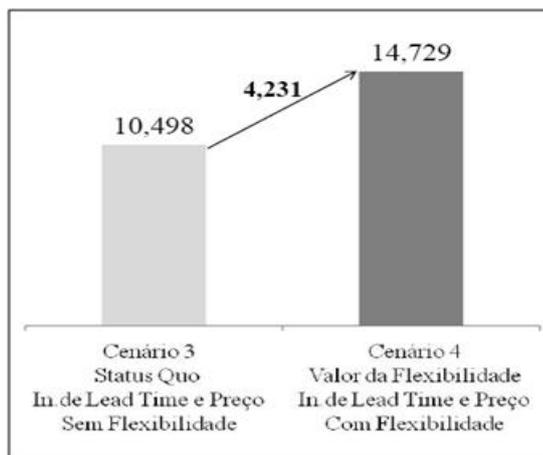


Gráfico 5: Comparação entre as médias do Cenário 3 (com incerteza de preço e lead time, porém sem flexibilidade) e Cenário 4 (com incerteza de preço e lead time, com flexibilidade)

4. Análise dos Resultados

O primeiro resultado importante é a análise do valor da flexibilidade gerencial decorrente das opções de escoamento e capacidade de produção do projeto analisado, decorrentes da incerteza do preço do minério. Em ambas as simulações há uma captura de valor de aproximadamente 40% a mais que os cenários sem a flexibilidade gerencial.

Outro fator é que a incerteza de lead time pouco impacta a flexibilidade gerencial, quando comparado ao preço do minério, uma vez que a sua análise nos cenários 3 e 4 pouco altera o valor do VPL do Projeto.

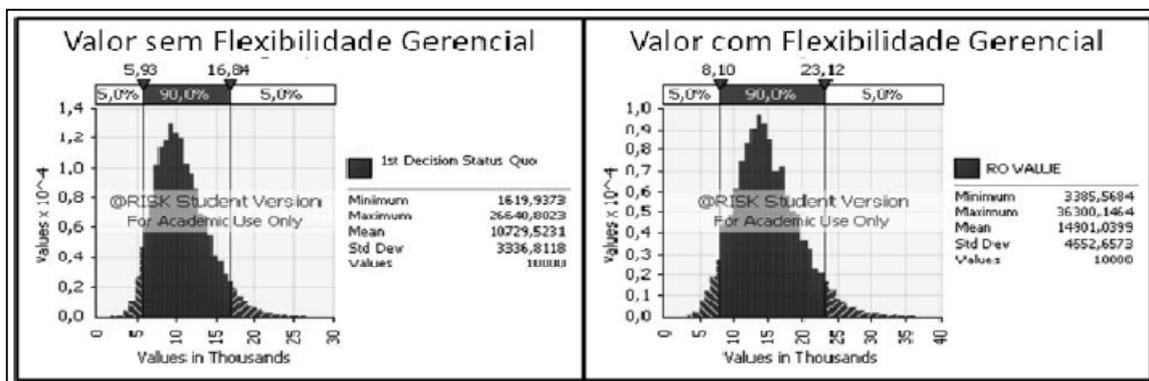


Gráfico 6: Resultados e dados estatísticos da simulação do Cenário 1 e Cenário 2

Analisando os resultados de ambas as simulações, verificamos que a dispersão dos resultados (desvio padrão) praticamente não altera quando comparamos a modelagem sem a incerteza de lead time e com a incerteza de lead time. A incerteza de lead time afeta pouco a volatilidade do projeto.

O que ocorre, é que praticamente a distribuição dos resultados move-se em -0,2. Essa diminuição do VPL provavelmente é efeito do perfil da curva de preços projetados combinado com a projeção da distribuição Weibull utilizada na modelagem do lead time.

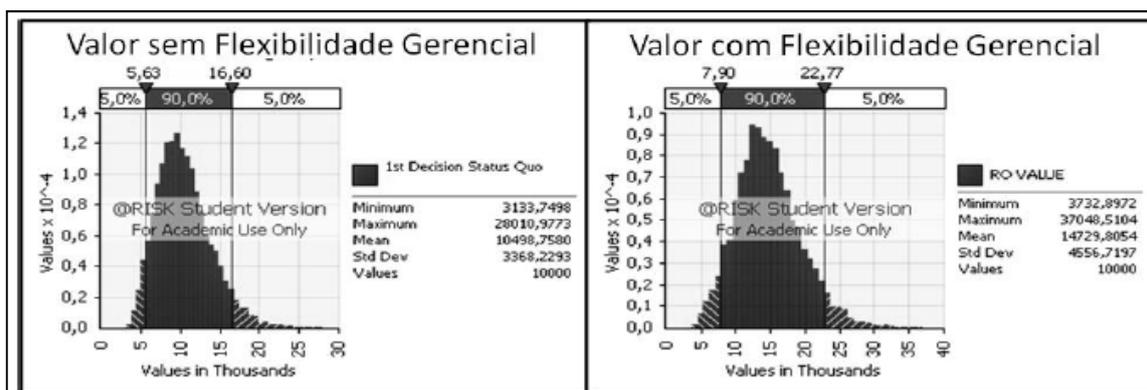


Gráfico 7: Resultados e dados estatísticos da simulação do Cenário 3 e Cenário 4

5. Conclusão

A incerteza crucial na avaliação das opções de escoamento e capacidade de produção de um projeto de mineração de ferro é a incerteza do preço do minério. A incerteza de lead time de implantação é menos importante se comparada com a incerteza de preço. Assim, como demonstramos neste artigo, o valor da flexibilidade gerencial basicamente é consequência da volatilidade do preço do minério de ferro.

Outra confirmação, esta já demonstrada em diversos trabalhos anteriores, é o aumento do valor da flexibilidade gerencial decorrente do aumento de incertezas: na medida em que mais incertezas são incorporadas à análise, em nosso caso, a incerteza de lead time de implantação, (ainda que em nosso caso a incerteza de preço dominasse a geração de valor, quando comparada à incerteza de lead time), há um aumento relativo do valor da flexibilidade gerencial.

Futuramente, compararemos a análise de outras incertezas inerentes à indústria de mineração, tais como exposição à variação cambial (para empreendimentos exportadores), incerteza em relação às estimativas de valores de investimento na implantação de projetos e incerteza em relação ao tamanho das reservas lavráveis (utilizando dados das pesquisas geológicas). Outro potencial interessante de nosso artigo é a comparação da rentabilidade do projeto analisado em relação à fronteira eficiente de Markowitz conforme a teoria de portfólio.

6. Referências Bibliográficas

Abdel Sabour, S.A. e Poulin, R. (2006), Valuing real capital investments using the least-squares Monte Carlo method, *Eng. Econom.*, 51 (2), 141–160.

Bastian-Pinto, C.L. e Brandão, L.E.T. (2007), Modelando Opções de Conversão com Movimento de Reversão à Média, *Revista Brasileira de Finanças*, 5, 97–124.

Bertsekas, D. e Tsitsiklis, J., *Introduction to probability – class notes*, MIT, Boston, 2000.

Brennan, M.J. e Schwartz, E.S. (1985), Evaluating natural resource investments, *Journal of Business*, 58, 135–157.

Copeland, T. E. e Antikarov, V., *Real Options for Practitioners*, NY Texere, New York, 2001.

- Dimitrakopoulos, R.G. e Sabour, S.A.A.** (2007), Evaluating mine plans under uncertainty: Can the real options make a difference?, *Resources Policy*, 32, 116-125.
- Dixit, A.K. e Pindyck, R.S.**, *Investment under uncertainty*, Princeton University Press, New Jersey, 1994.
- Hong, G. e Sarkar, S.** (2007), Commodity betas with mean reverting output prices, *Journal of Banking & Finance*, 32, 1286-1296.
- Kamrad, B., Ernst, R.** (2001), An economic model for evaluating mining and manufacturing ventures with output yield uncertainty, *Oper. Res.*, 49 (5), 690-699.
- Kelly, S.** (1998), A binomial lattice approach for valuing a mining property, *Quart. Rev. Econom. Finance*, 38, 693-709.
- McCarthy, J., Monkhouse, P.H.L.** (2003), To open or not to open-or what to do with a closed copper mine, *J. Appl. Corporate Finance*, 15 (2), 56-66.
- Minardi, A. M. A. F.**, *Teoria de Opções aplicada a projetos de investimento*, Editora Atlas, São Paulo, 2004.
- Moel, A., Tufano, P.** (2002), When are real options exercised? An empirical study of mine closings, *Rev. Financial Stud.*, 15 (1), 35-64.
- Moyen, N., Slade, M., Uppal, R.** (1996), Valuing risk and flexibility: a comparison of methods, *Resource Policy*, 22, 63-74.
- Paddock, J.L., Siegel, D.R., Smith, J.L.** (1988), Option valuation of claims on real assets: the case of offshore petroleum leases, *Quart. J. Econom.*, 103 (3), 479-508.
- Roberts, M.C.**, (2009), Duration and characteristics of metal price cycles, *Resources Policy*, 34, 87-102.
- Samis, M., Davis, G.A., Laughton, D., Poulin, R.** (2006). Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: a real options approach, *Resources Policy*, 30, 285-298.
- Sunnevag, K.** (1998), An option pricing approach to exploration licensing strategy, *Resources Policy*, 24, 25-38.
- Slade, M.E.** (2001), Valuing managerial flexibility: an application of real option theory to mining investments, *J. Environ. Econom. Manage.*, 41, 193-233.
- Trigeorgis, L.**, *Real Options: managerial flexibility and strategy in resource allocation*, The MIT Press, Cambridge, 1996.
- Trigeorgis, L.** (1993), The nature of option interactions and the valuation of investments with multiple real options, *J. Financial Quant. Anal.*, 28 (1), 1-20.
- Trigeorgis, L.; Mason, S. P.**, *Valuing managerial flexibility*, Cambridge: The MIT Press, 2001.
- Tufano, P., Moel, A.**, Bidding for Antamina: incentives in a real option context, *Project Flexibility, Agency and Competition*, Oxford University Press, Oxford, 128-150, 1999.