

## 2 Revisão de literatura

Nesta parte serão apresentados brevemente alguns dos principais estudos publicados por reconhecidos autores da metodologia de opções reais, aplicado aos temas mineração e *commodities*. Em seguida é destacada a relevância do tema e o que distingue o presente trabalho dos artigos já publicados.

Diversos autores já publicaram artigos aplicando a metodologia de opções reais à indústria da mineração e/ou *commodities*. É interessante notar a importância de autores chilenos, brasileiros e canadenses nesse grupo, o que se deve a importância econômica do setor de mineração para esses países.

Em um artigo clássico, Brennan e Schwartz (1985) mostram que métodos estocásticos e a teoria de opções reais deveriam ser utilizados não apenas para avaliação dos projetos de exploração de recursos naturais como também como guia para decisões para o gerenciamento e abandono dos mesmos. O artigo apresenta um modelo econômico para a decisão de abrir e/ou fechar uma mina num ambiente de incerteza de preços de venda. Também aplicado para calcular o valor e a produção ótima, dependente do preço do recurso em um mercado de futuros. De maneira mais precisa, com base no modelo proposto, a gerência da mina pode decidir por num dos seguintes estados: aberta, fechada temporariamente ou permanentemente abandonada. O exemplo de aplicação é uma mina de cobre, mas o modelo pode ser replicado para outras indústrias onde haja incertezas de outputs. Ao assumir que não existem oportunidades de arbitragem disponíveis na comercialização do recurso natural e no mercado financeiro derivado dele (mercado de futuros), o valor ótimo e a política operacional do investimento pode ser determinado em função do preço das *commodities*. A política de produção pode então ser definida pelo calendário de preços, segundo o qual a

produção pode ser atrasada, retomada ou abandonada. Segundo os autores, outra vantagem do modelo é fornecer uma gama de hipóteses a serem testadas por futuros trabalhos.

Confirmando a previsão, Moel e Tufano (2000) publicaram um interessante artigo cuja proposta era testar as hipóteses apresentadas por Brennan e Schwartz (1985). O artigo estuda a opção de fechamento de minas em resposta a flutuações de preços de uma *commodity*. Foram utilizados dados de 285 minas de ouro, todas já operativas, instaladas nos EUA, do período entre 1988 e 1997. Como conclusões do estudo, os autores observaram que a flexibilidade gerencial é relevante e que a teoria de opções reais pode ser utilizada para explicar as decisões e fechamento e reabertura das minas estudadas. Segundo os autores e como previsto pela teoria de opções, pode-se observar que:

- O exercício da opção é dependente da cotação do ouro e cotações maiores aumentam a probabilidade de manter uma mina aberta;
- A histerese apresentou forte influência, de forma que a probabilidade de uma mina se manter aberta num ano depende de como foram as operações no ano anterior;
- Existe forte influência da volatilidade da cotação do ouro nas decisões.

Por outro lado, os autores destacaram que a decisão de manter uma mina aberta deve ser analisada dentro do contexto do grupo empresarial, e não como um empreendimento isolado. Por exemplo, uma mina ineficiente pode ser mantida aberta por mais tempo do que a teoria prevê em função da saúde financeira das demais operações da empresa.

Em outro estudo de caso, Margaret Slade (2001) discute principalmente algumas premissas que normalmente são utilizados por outros pesquisadores, segundo a autora. São eles:

- A não incorporação da opção de reabrir uma mina;
- O preço como principal fonte de incerteza, negligenciando custos e reservas;
- O preço é modelado com uma variável aleatória não estacionária, sem estudo do comportamento de reversão a média.

A autora incorpora a influência de fatores como a opção de reabrir uma mina, custo de extração, teor do material minerado, reservas, modelagem do preço segundo uma reversão a média no estudo de caso com 21 minas de cobre no Canadá. A conclusão é que estes fatores possuem grande influência sobre o valor das opções.

Nota-se o foco destes autores no estudo da opção de fechamento, temporário ou não, da mina. Claramente, a decisão de fechamento é a mais radical a ser tomada por uma empresa. Some-se a isso a relevância da mineração para alguns países, o fechamento de minas pode provocar importantes impactos negativos para as economias locais, o que pode explicar a importância dada pelos autores a este tema.

Além dos autores já citados, outros já desenvolveram trabalhos de aplicação da teoria de opções reais especificamente ao setor mineração e as tecnologias ambientais (Cortazar, Schwartz e Salinas, 1998). Este trabalho apresenta um modelo que determina o nível de produção é ótimo para uma empresa sujeita a regulação ambiental, investir em tecnologia de redução da poluição. A conclusão é que empresas exigem um alto nível de preço para serem induzidas a investir em tecnologia ambiental. Empresas sujeitas a alta volatilidade de preços poderiam optar por atender a regulação operando a um nível menor de produção.

Quando ampliamos o foco para as indústrias de exploração de recurso naturais (não só mineração), pode-se verificar a profusão de interessantes estudos. Além do exemplo dado por Trigeorgis (1993) sobre a avaliação por opções reais das flexibilidades envolvendo um projeto de exploração e refino de petróleo, podemos citar outros exemplos clássicos

que demonstram a aplicabilidade da teoria de opções reais: Kulatilaka (1993) nos dá um exemplo prático e real de avaliação por opção real de conversão de um boiler industrial bi-combustível. O equipamento avaliado pode ser operado com gás natural ou óleo combustível e tem um prêmio de preço de aquisição. O autor modela a flexibilidade tecnológica como uma opção de compra (call) sobre o preço da fonte de energia mais barata. O autor demonstra que as incertezas podem ser reduzidas à relação de preços entre os dois tipos de combustível e que não existe custo de transferência de operação de um para o outro. A vantagem financeira da flexibilidade supera o prêmio de preço do equipamento frente aos tipos de combustível único. Também Kenma (1993) descreve um exemplo prático desenvolvido com a Shell. Nesse caso é discutida a opção de deferimento do início de operação, típico da indústria de exploração de petróleo de gás offshore. O autor conclui que pode ser vantajoso incorrer em custos adicionais para se manter um projeto não rentável atualmente, mas que engloba um determinado nível de risco, ou volatilidade. Majd e Pindyck (1989) incluem os efeitos de uma curva de aprendizagem para as decisões de investimento e operação assumindo que a produção acumulada ao longo do tempo reduz custos unitários. Outros autores, como por exemplo McDonald e Siegel (1986) e Majd e Pindyck (1988), focaram as atenções no controle e gerenciamento da taxa de investimento, ao invés do nível de produção. He e Pindyck (1992) incluem a estas variáveis dois níveis de controle de produção para dois produtos diferentes, enquanto Cortazar e Schwartz (1993) consideram um sistema de duas fases de produção. Outras ampliações das fontes de incertezas podem ser o preço de uma mercadoria (Paddock, Siegel e Smith, 1988) ou taxas de câmbio (Dixit, 1989).

Finalmente, os modelos foram adaptados aos meios específicos, como as minas de cobre (Brennan e Schwartz, 1985), as reservas de petróleo (Paddock, Siegel e Smith, 1988), entre outros exemplos.

## 2.1. Relevância da dissertação

A dissertação propõe a utilização da metodologia de Opções Reais para avaliação de um *smelter* de alumínio, auto-suficiente em energia elétrica, sob condições de incerteza.

O que esta dissertação traz de novidade é a aplicação da opção de troca de *output* para indústria de mineração, especificamente a produção de alumínio e a geração de energia elétrica. A dissertação analisa também a opção de abandono, que na verdade é a troca total do *output* da empresa analisada. Essa escolha se deve a realidade da indústria de alumínio e as possibilidades oriundas do amadurecimento do setor elétrico brasileiro e dos investimentos realizados pelos *smelters* instalados no Brasil.