



A VALE

MINERAÇÃO

LOGÍSTICA

ENERGIA

Opções Reais aplicada à Indústria de Mineração

Estudo de Caso do Projeto Belvedere

Março 2006



Companhia
Vale do Rio Doce

A Vale

Papagaio Congelado

Um homem comprou um papagaio, mas quando chegou em casa foi aquela decepção: o papagaio resmungava, reclamava e xingava o dia inteiro

O dono tentou amansar o louro, lendo poesia, tocando música clássica, luz, escurinho..mas não teve jeito.

Passou a gritar, bater, ameaçar, mas o papagaio ficava pior e pior a cada dia.

Num momento de fúria, o dono certo dia pegou o louro e o jogou dentro do freezer.

O papagaio começou a xingar de tudo quanto era nome, mas, subitamente, menos de 20 segundos depois, calou-se sem terminar o último palavrão.

Pensando ter matado o papagaio, o dono abriu a porta do freezer e o louro começou o discurso:

- Sei que meu linguajar tem sido mais do que inapropriado a este ambiente familiar, e que minha atitude não condiz com a atenção que o senhor tem me dado.
- Gostaria de apresentar minhas sinceras desculpas e colocar que daqui em diante me portarei adequadamente.
- Isso é bom mesmo! - retruca o dono espantado.

E o louro quase chorando perguntou:

- Só por curiosidade, o que foi que o frango lhe fez...???



Apresentações



3

Companhia
Vale do Rio Doce

Objetivo

- Apresentar aplicação da técnica de valoração por opções reais a um projeto de mineração através do Estudo de Caso do Projeto Belvedere

4

Companhia
Vale do Rio Doce

Agenda

Caracterização de Projetos de Mineração

Valoração de Projetos de Mineração

Estudo de Caso

Conclusão



Agenda

Caracterização de Projetos de Mineração

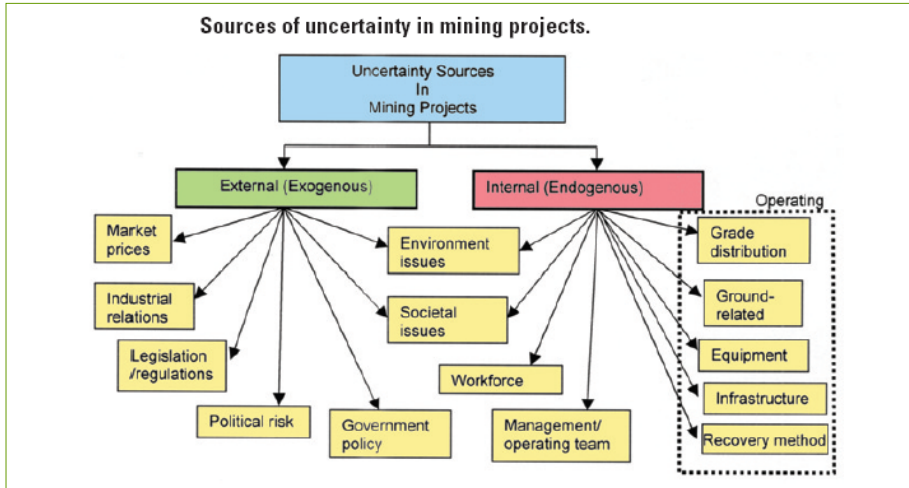
Valoração de Projetos de Mineração

Estudo de Caso

Conclusão



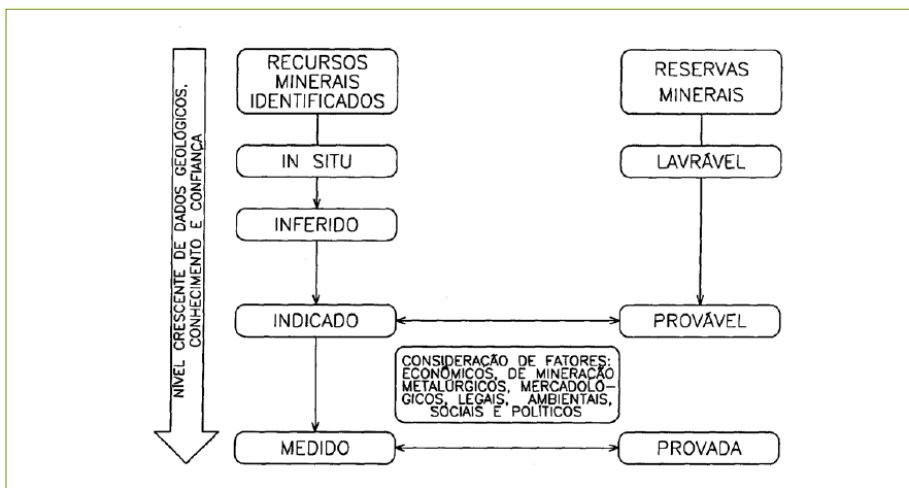
A análise de investimentos em mineração é complexa por envolver muitas incertezas que impactam tanto o CAPEX quanto o OPEX



Fonte: Kazakidis, V.N. e Scoble, M., Planning for flexibility in underground mine production systems



O valor de um depósito mineral é fortemente impactado pelo grau de incerteza em relação à economicidade da exploração do minério



Fonte: Yamamoto, J.K. e Rocha, M. M., Revisão e Recomendações para o cálculo e classificação de reservas minerais



Reservas com alto grau de incerteza não permitem a construção de projeções confiáveis, sendo seu valor, portanto, altamente especulativo.

Nível crescente de conhecimento de dados geológicos

Classificação das Minas em Relação à Incerteza das Reservas			
Especulação	Exploração	Desenvolvimento	Produção
Grande Incerteza em relação ao potencial da mina	Potencial suficiente para justificar o investimento de exploração	Pesquisa geológica garante a capacidade de produção da mina	Mina em plena Operação

Através de pesquisa geológica adicional, as reservas inferidas podem ser elevadas à condição de reservas medidas, permitindo uma avaliação mais confiável do ativo mineral



Agenda

Caracterização de Projetos de Mineração

Valoração de Projetos de Mineração

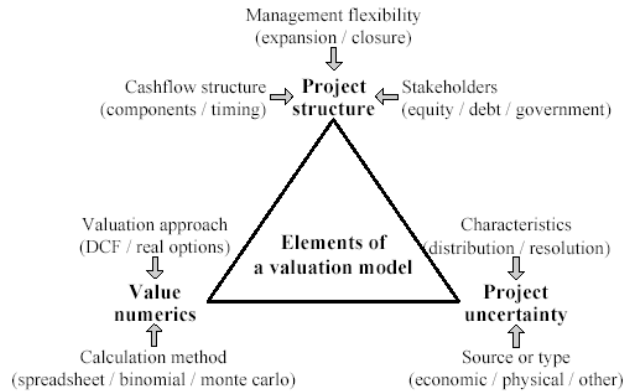
Estudo de Caso

Conclusão



Uma metodologia adequada de valoração de ativos de mineração deve considerar todos os elementos que impactam a geração de valor da mina

3 elements of valuation: Uncertainty, structure, and numerics



Fonte: Samis, Michael, Applying Advanced Financial Methods (Real Option) to Mine Valuation Problems
11



Companhia
Vale do Rio Doce

Agenda

Caracterização de Projetos de Mineração

Valoração de Projetos de Mineração

Valoração via FCD

Valoração via ROV

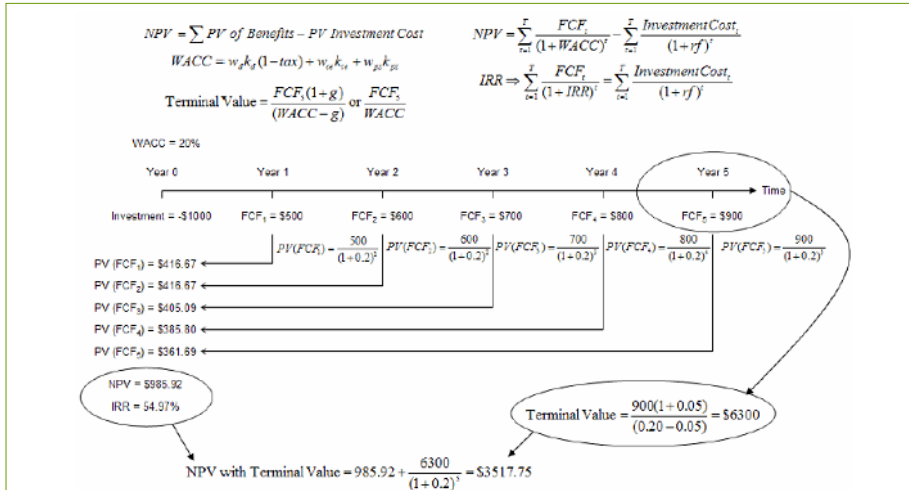
Estudo de Caso

Conclusão



Companhia
Vale do Rio Doce

A valoração através do FCD requer projeções acuradas dos Fluxos de Caixa Futuros e a previsão de uma taxa de desconto adequada ao risco do Projeto

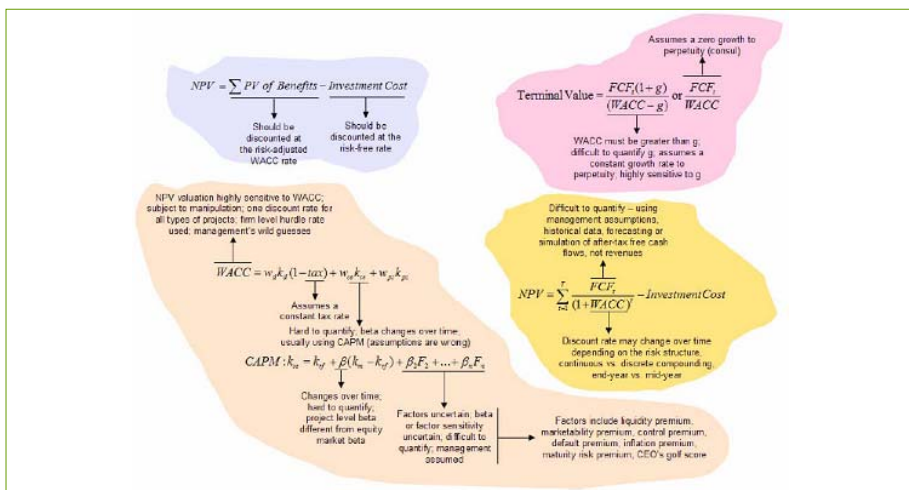


Fonte: Mun, Johnathan, Real Options and Monte Carlo Simulation versus Tradicional DCF Valuation
13



Companhia Vale do Rio Doce

O resultado da valoração pelo FCD é altamente dependente do Valor Terminal do projeto e da taxa de desconto escolhida



Fonte: Mun, Johnathan, Real Options and Monte Carlo Simulation versus Tradicional DCF Valuation



Companhia Vale do Rio Doce

Apesar da facilidade de aplicação e da capacidade de resumir o projeto em 2 ou 3 valores (VPL, VPI, TIR), o DCF assume premissas questionáveis

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Critério de decisão claro e consistente ▪ Quantitativo, nível adequado de precisão e economicamente racional ▪ Baixa exposição a convenções contábeis ▪ Consideração do valor do dinheiro no tempo e do risco envolvido ▪ Simples amplamente conhecido e aceito 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Decisões são tomadas no momento atual e os fluxos de caixa são fixos no futuro ▪ Um vez lançado, o projeto é gerido passivamente ▪ Fluxos de caixa futuro são altamente previsíveis e determinísticos ▪ Todos os riscos estão completamente contemplados na taxa de desconto ▪ Todos os aspectos que podem impactar o valor do projeto estão medidos via VPL ou TIR

Fonte: Mun, Johnathan, Real Options and Monte Carlo Simulation versus Tradicional DCF Valuation

15



Companhia
Vale do Rio Doce

Valoração via Fluxo de Caixa Descontado

- O valor dos ativos minerais advém do valor de suas reservas potencialmente exploráveis
- A forma mais usual de valoração de ativos minerais é a técnica do Fluxo de Caixa Descontado que requer:
 - Projeções de preços, custos e impostos
 - Cálculo da taxa de desconto apropriada para o risco do projeto em questão
- Ativos em nível de especulação ou exploração, devido ao alto grau de incerteza envolvido, são descontados a uma taxa de desconto bastante elevada
- Além disso, pelo nível de incerteza envolvido, as projeções tornam-se sem sentido, o que inviabiliza a valoração pelo DCF
- Já ativos minerais em nível de desenvolvimento e produção já têm as incertezas relativas a reservas, CAPEX e OPEX em níveis razoáveis
- Apesar disso, a valoração de ativos minerais através do Fluxo de Caixa Descontado subavalia o valor da mina, pois não valora as muitas flexibilidades inerentes a este tipo de operação que reduzem o seu risco e portanto elevam o seu valor

16



Companhia
Vale do Rio Doce

Valoração via Fluxo de Caixa Descontado

- A valoração de ativos de mineração através da Metodologia de Fluxo de Caixa Descontado falha por:
 - Não levar em consideração a capacidade de reação estratégica do corpo gerencial
 - Não considerar adequadamente todas as fontes de incerteza relacionadas
 - Não valorar a flexibilidade operacional, que é um componente essencial do valor das minas
 - Não embutir no modelo as volatilidades de preços
- Desta forma, a avaliação por esta metodologia acaba por introduzir viés na avaliação por considerar uma situação específica
- Por fim, muitas oportunidades na indústria de mineração são opções de fato e, portanto, a avaliação através do Fluxo de Caixa Descontado subavalia fortemente o projeto



Agenda

Caracterização de Projetos de Mineração

Valoração de Projetos de Mineração

Valoração via FCD

Valoração via ROV

Estudo de Caso

Conclusão



A valoração via Opções Reais nasceu das Opções Financeiras modeladas inicialmente por Black & Scholes (1973)

Figure 1. Call Option Value

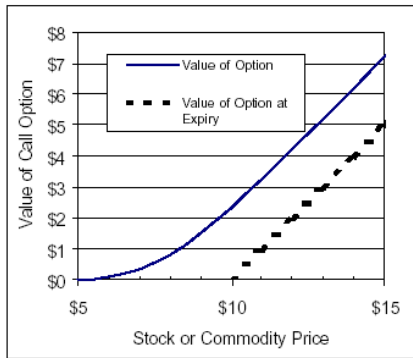
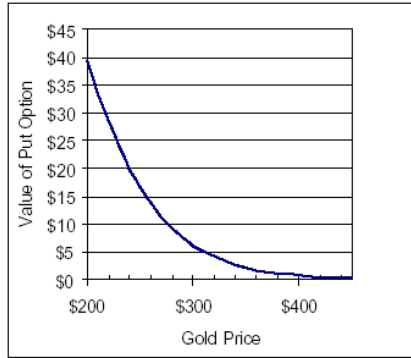


Figure 2. Put Option Value



Fonte: Mcknight, R. T. Valuing Mineral Opportunities as Options



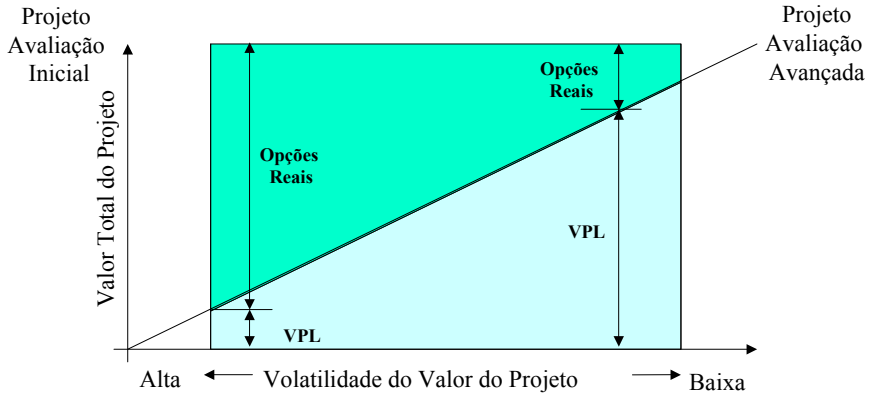
A estrutura de variáveis empregadas na valoração de Opções Reais segue a mesma estrutura para valoração das Opções Financeiras

Opções Financeiras	Opções Reais
Valor da Opção Financeira	Valor da Reserva Não-Desenvolvida
Preço Corrente da Ação	Valor Corrente da Reserva Desenvolvida
Preço de Exercício da Opção	Investimento para Desenvolver a Reserva
Taxa de Dividendo da Ação	Fluxo de Caixa Líquido
Taxa de Juros Livre de Risco	Taxa de Juros Livre de Risco
Volatilidade da Ação	Volatilidade do Valor da Reserva Desenvolvida
Tempo de Expiração da Opção	Tempo de Expiração dos Direitos de Investir



Assim como nas Opções Financeiras, quanto maior a volatilidade, maior é o valor da Opção Real

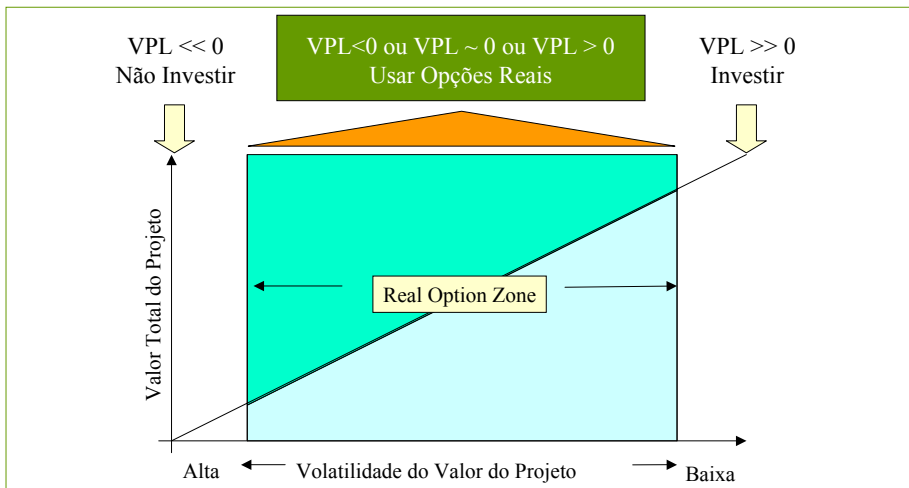
$$\text{Valor Total do Projeto} = \text{Valor Presente Líquido} + \text{Valor das Opções Reais}$$



Fonte: Harvard Business Review



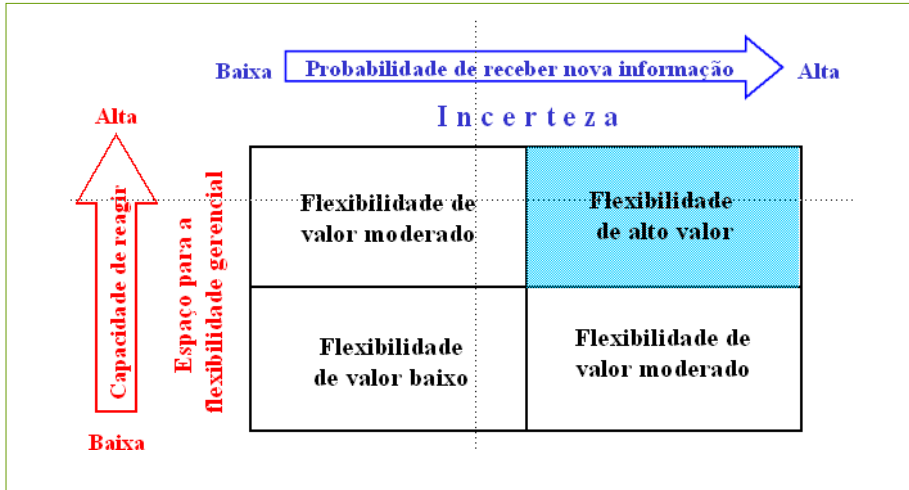
A Valoração por Opções Reais revela valores antes escondidos e não valorados pelo FCD



Fonte: Harvard Business Review



O valor da opção real depende da capacidade de reação do corpo gerencial diante de novos cenários que se apresentam ao Projeto

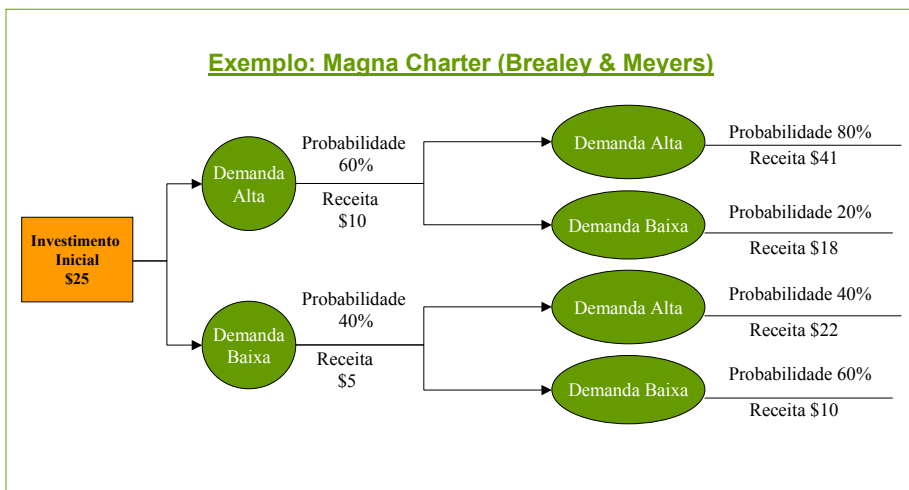


Fonte: Dias, Marco Antônio Guimarães, Opções Reais em Petróleo, Uma visão geral 23



Companhia Vale do Rio Doce

Existem diversos tipos possíveis de Opções Reais aplicáveis aos projetos em análise: Expansão, Abandono, Adiamento, Contração, etc...

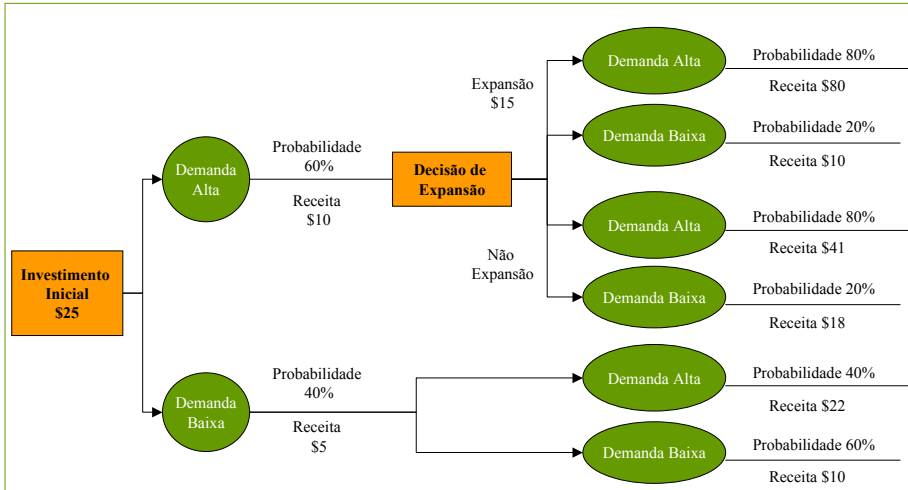


Fonte: Brealey, Myers, Principles of Corporate Finance, Sixth Edition, Chapter 10 24



Companhia Vale do Rio Doce

Opção de Expansão

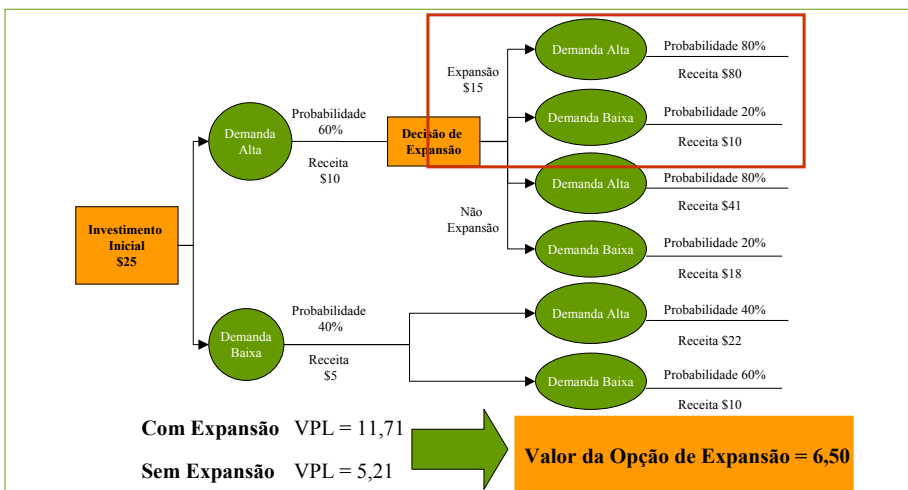


Fonte: Brealey, Myers, Principles of Corporate Finance, Sixth Edition, Chapter 10
25



Companhia
Vale do Rio Doce

Opção de Expansão

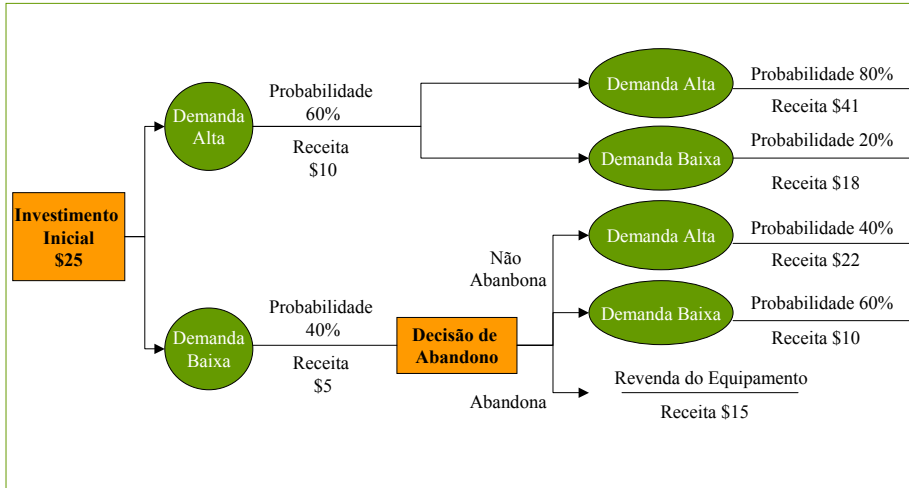


Fonte: Brealey, Myers, Principles of Corporate Finance, Sixth Edition, Chapter 10
26



Companhia
Vale do Rio Doce

Opção de Abandono

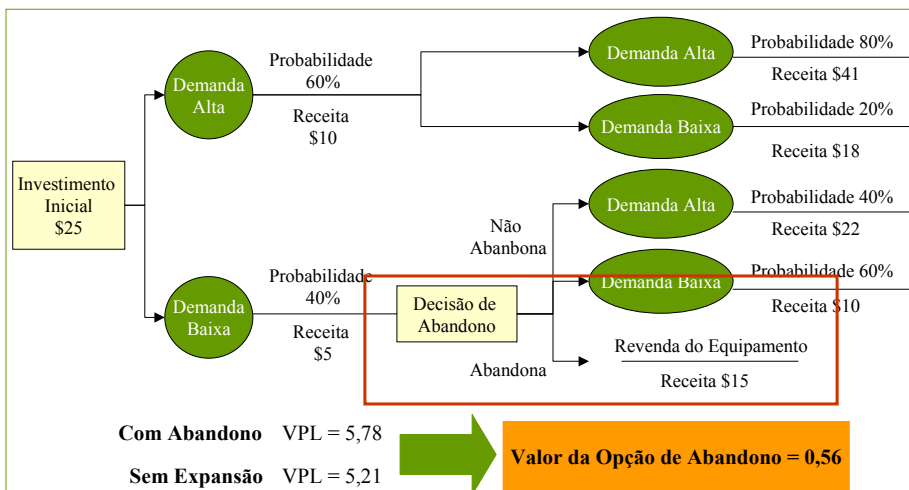


Fonte: Brealey, Myers, Principles of Corporate Finance, Sixth Edition, Chapter 10
27



Companhia
Vale do Rio Doce

Opção de Abandono

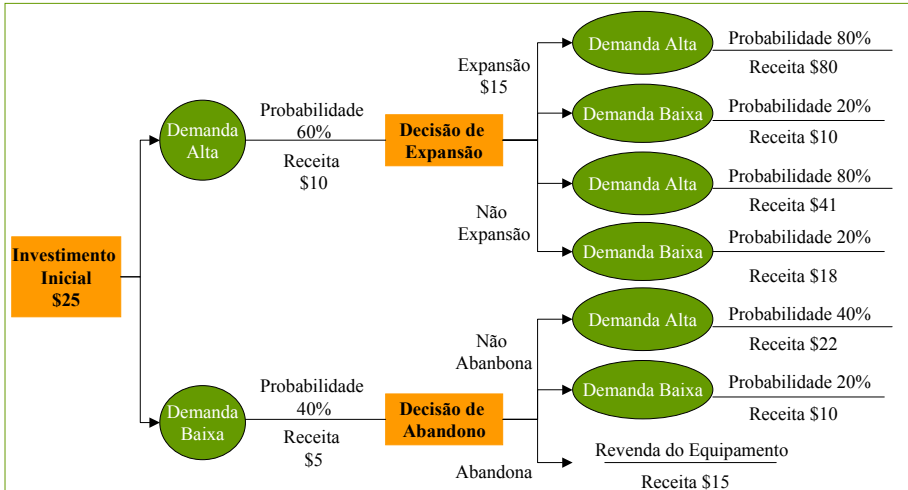


Fonte: Brealey, Myers, Principles of Corporate Finance, Sixth Edition, Chapter 10
28



Companhia
Vale do Rio Doce

Opção de Expansão e de Abandono

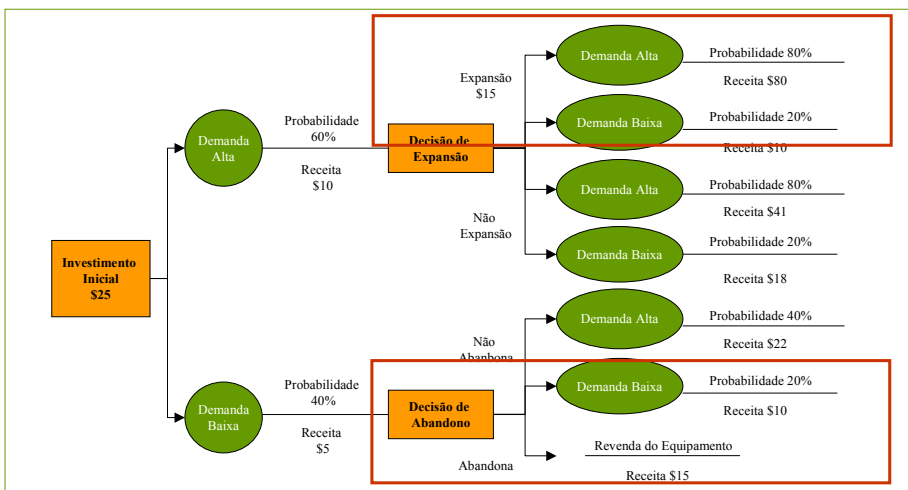


Fonte: Brealey, Myers, Principles of Corporate Finance, Sixth Edition, Chapter 10
29



Companhia
Vale do Rio Doce

Opção de Expansão e de Abandono



Fonte: Brealey, Myers, Principles of Corporate Finance, Sixth Edition, Chapter 10
30



Companhia
Vale do Rio Doce

A valoração via Opções Reais permite identificar possíveis fontes de valor para o projeto através da exploração das flexibilidades gerenciais

Real option valuation model*

ROV case	Initial capacity decision	Exploration decision	Add-on capacity	Total project NPV from valuation Index: Base case = 100	
No options base case ¹	Today (planned capacity)	Today (no exploration)	Today (no expansion)	100	+ Value of better capacity lock-in decision, exploration option, and expansion option
1 "Lock in" capacity	Today (planned capacity +50%)	Year 6	Year 11	150	+ Value of price information
2 Defer capacity decision and exploration	Year 3	Year 6	Year 11	200	+ Value of reserve size information
3 Defer capacity decision but explore today	Year 3	Today (explore)	Year 11	225	

* For purposes of comparison and because of lack of information, each of the four cases assumes a year 1 exploration cost equal to 0; if "best guess" exploration cost estimate of 40 is used, the NPV for the 3 option cases is 120, 175, and 185, respectively
¹ Analogous to traditional DCF case (ie, assumes deterministic inputs and no managerial flexibility).

Fonte: Copeland, T. E., Making Real Options Real, McKinsey Quarterly, 1998, number 3
31



Companhia
Vale do Rio Doce

Opções Reais na Indústria de Mineração

- A atividade de mineração tem embutida em sua operação diversas flexibilidades gerenciais
 - Alteração do ritmo de extração
 - Alteração do tempo de processamento
 - Alteração da Capacidade da Planta
- Enquanto a abordagem pela Metodologia de Fluxo de Caixa Descontado era mais adequado apenas para Minas em nível de desenvolvimento e exploração, a abordagem pela Metodologia das Opções Reais é aplicável aos ativos minerais em qualquer nível
- A abordagem pela Metodologia de Opções Reais é mais apropriada para valoração de ativos minerais por levar em consideração as muitas flexibilidades presentes, revelando um valor não considerado pela metodologia do Fluxo de Caixa Descontado
- A abordagem pela Metodologia de Opções Reais é, portanto, uma metodologia alternativa de valoração e considera toda a dinâmica inerente à operação de uma mina



Companhia
Vale do Rio Doce

A Bibliografia sobre a aplicação de Opções Reais na valoração de ativos de mineração se concentra em minas em desenvolvida e em minas em operação

Autor	Contribuição
Brennan e Schwartz (1985)	<ul style="list-style-type: none"> -Primeiros a utilizar a abordagem pela Metodologia de Opções Reais como eficiente ferramenta de avaliação -Considerou a opção de temporariamente fechar a mina
Schwartz, Cassasus and Cortazar	<ul style="list-style-type: none"> -Inserção no modelo da incerteza acerca da estrutura geológica -Identificação de poucos trabalhos sobre a incerteza da composição geológica da jazida
Schwartz, Cortazar e Salinas	<ul style="list-style-type: none"> -Não consideraram as incertezas acerca da natureza do leito da jazida
Caldentey, Epstein e Saure	<ul style="list-style-type: none"> -Pesquisa geológica concluída -Estrutura de exploração mineral já instalada -Capacidade de extração, qualidade da jazida e estrutura de custos definidas -Investimento inicial concluído -Mina em nível de operação
Samis	<ul style="list-style-type: none"> -A natureza diversa dos depósitos foram considerados na modelagem -Apresentou a falha nos trabalhos anteriores por não considerarem as estratégias de exploração -Consideração da natureza heterogênea dos depósitos minerais
Moel e Tufano (2002)	<ul style="list-style-type: none"> -Análise da opção de fechamento e abertura de minas -Foco em minas em operação
Trigeorgis (1990)	<ul style="list-style-type: none"> -Emprego de Árvore de Decisão para modelar a complexidade da operação -Considerou a opção de abandono, adiamento e expansão
Luiz Eduardo Teixeira Brandão	-Valoração empregando software comercial DPL



Agenda

Caracterização de Projetos de Mineração

Valoração via Fluxo de Caixa Descontado

Valoração via Opções Reais

Estudo de Caso

Conclusão

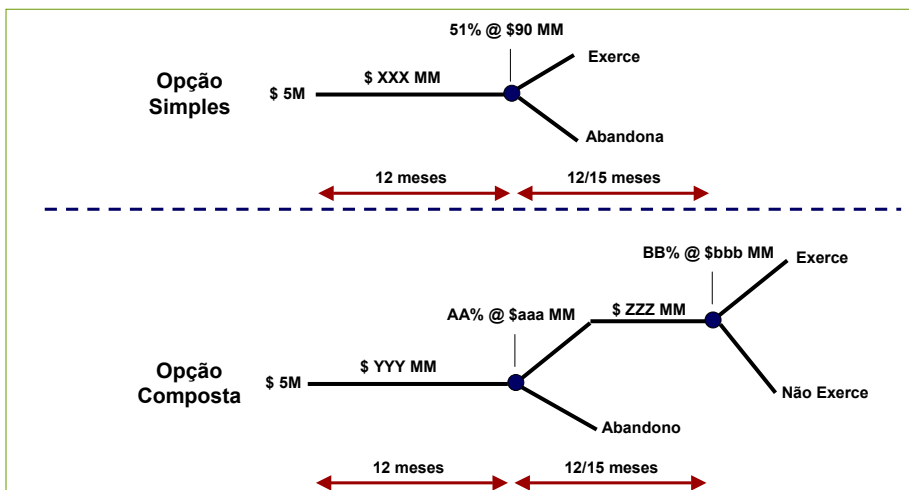


Projeto Belvedere

- Joint Venture entre CVRD, Aquila Resources Limited e AMCI Holding Australia Pty Ltd
- Opção de participação em Estudo exploratório de mina de carvão metalúrgico em Queensland, Austrália
- Recursos estimados em 2,7 bilhões de toneladas, com potencial de exploração por 40 anos considerando uma taxa de extração de 12 Mtpa
- Termos da Opção de participação:
 - Pagamento antecipado de US\$ 5 MM para estudos de previabilidade econômica por 12 meses
 - Opção de adquirir 51% de participação por US\$ 90 MM ao final dos 12 meses
 - Opção de aumentar a participação para 100%



As estruturas de negociação em discussão embutem opções de compra de participação no projeto



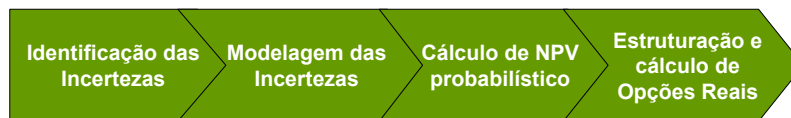
O projeto pode ter conceitos diversos dependendo da dimensão das reservas e do perfil do leito

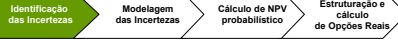
Conceito do Projeto

Escala Potencial	Probabilidade estimada	ROM estimado	Conceito de Lavra	CAPEX estimado VPI US\$ MM	VPL determinístico US\$ MM
3 Minas	Aa%	12 Mta	Longwall & Spine Tunnel	AAA	aaa
2 Minas	Bb%	8Mta	Longwall & Spine Tunnel	BBB	bbb
1 Mina	Cc%	4Mta	Longwall & Shaft	CCC	ccc



A metodologia empregada inclui quatro etapas de análise





	Conceito do Projeto	OPEX	Variáveis Financeiras
Principais Fontes de Incertezas	<ul style="list-style-type: none"> ROM Yield CAPEX 	<ul style="list-style-type: none"> Lavra Ferrovia Portos 	<ul style="list-style-type: none"> Câmbio Preço do Carvão



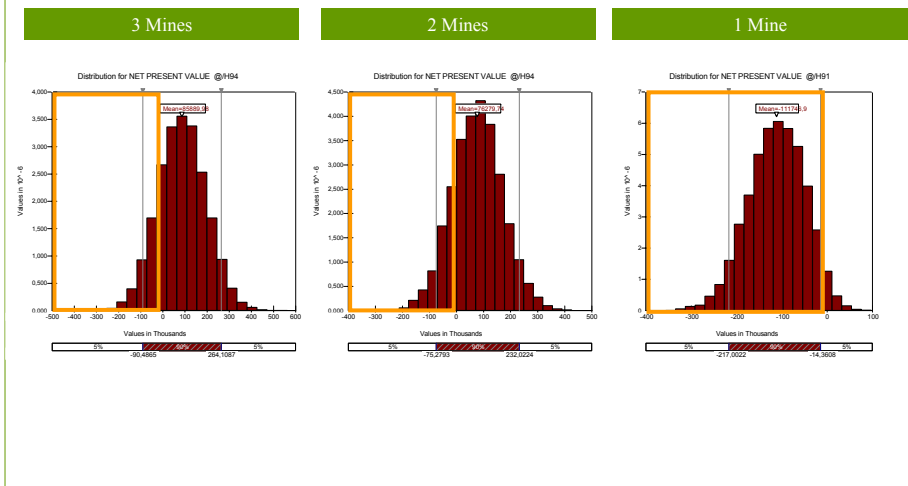
Modelagem das Incertezas



Modelagem		
ROM	Trigen	
Yield	Trigen	
CAPEX	Trigen	
OPEX	Trigen	
Ferrovia / Portos	Trigen	
Preço Carvão	Normal	
Câmbio	Trigen	



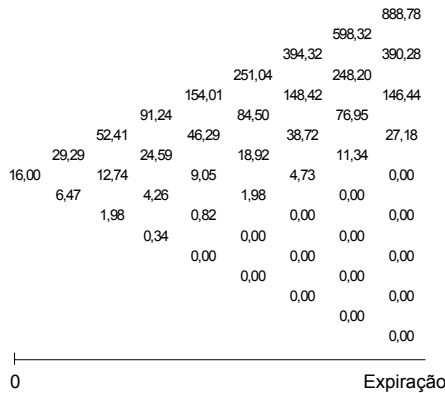
Cálculo do NPV Probabilístico



Modelagem da Opção Real Simples



Árvore de Decisão – Opção Simples



Resultados (1)

	3 Minas	2 Minas	1 Mina
Preço de Exercício Opção 1	AA	AA	AA
Preço de Exercício Opção 2	BB	BB	BB
Valor Opção Composta	XX	YY	ZZ
Prêmio	CC	CC	CC
Net	MM	MM	MM
Probabilidade	45%	35%	20%

Valor do Conceito -pp
(1) Resultados calculados considerando US\$ qq/AS

Estruturas Limite (1)

Preço de Exercício Conceitual	PP
Preço de Exercício Pre Viabilidade	QQ
Pagamento Antecipado	RR

(1) Valores limite calculados para que a opção tenha valor = \$0

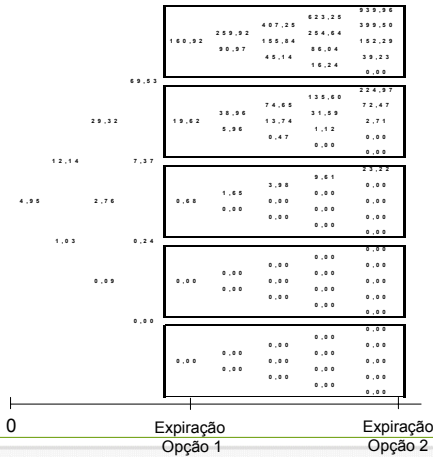
Valor do Conceito sem Strike e Upfront

Valor do Conceito: KK

Modelagem da Opção Real Composta



Árvore de Decisão – Opção Composta



Resultados (1)

	3 Minas	2 Minas	1 Mina
Preço de Exercício Opção 1	AA	AA	AA
Preço de Exercício Opção 2	BB	BB	BB
Valor Opção Composta	XX	YY	ZZ
Prêmio	CC	CC	CC
Net	MM	MM	MM
Probabilidade	45%	35%	20%

Valor do Conceito -pp

(1) Resultados calculados considerando US\$ qq/A\$

Estruturas Limite (1)

Preço de Exercício Conceitual	PP
Preço de Exercício Pre Viabilidade	QQ
Pagamento Antecipado	RR

(1) Valores limite calculados para que a opção tenha valor = \$0

Valor do Conceito sem Strike e Upfront

Valor do Conceito: KK



Agenda



Vantagens da Metodologia das Opções Reais

- Possibilita a modelagem do comportamento estocástica das variáveis críticas
- Evita a necessidade de se assumir uma trajetória específica para os preços das principais variáveis
- Possibilita a incorporação das flexibilidades gerenciais
- A abordagem pelas Opções Reais busca mitigar as deficiências da Metodologia do Fluxo de Caixa Descontado
- Possibilita a introdução de grande variedade de alternativas de projeto
- Integra a análise de risco e a análise de valor
- Incorpora todas as fontes de incerteza e todas as opcionalidades inerentes à operação

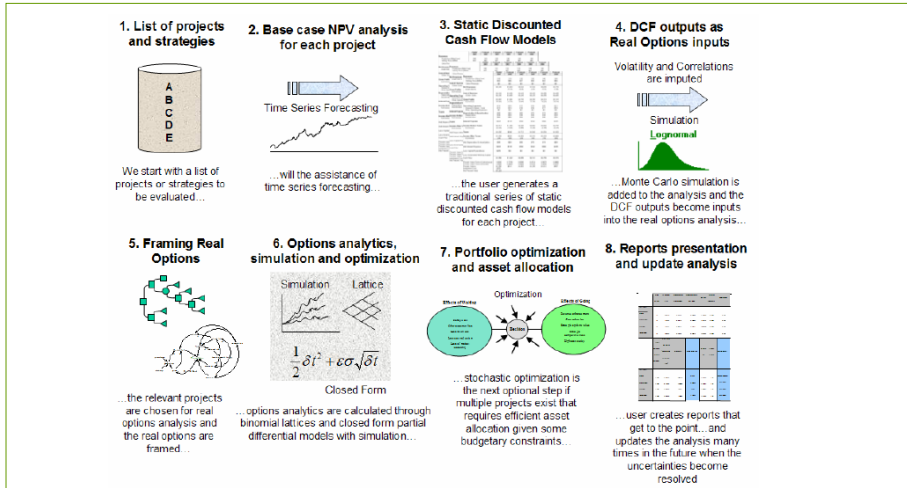


Desvantagens da Metodologia das Opções Reais

- O resultado é extremamente sensível à estimação do comportamento das principais variáveis
- A aplicabilidade no modelo de opções reais como ferramenta de avaliação pode ser limitado
- Como qualquer ferramenta de avaliação representa de maneira imperfeita e incompleta o mundo real e deve ser calibrado pela experiência dos gestores
- Os limites de aplicabilidade do modelo de opções reais deve ser respeitado para que se tenha resultados confiáveis



Passos para a aplicação da Valoração por Opções Reais



Fonte: Mun, Johnathan, Real Options and Monte Carlo Simulation versus Tradicional DCF Valuation

47



Companhia
Vale do Rio Doce

Bibliografia

- Mun, Johnathan, Real Option and Monte Carlo Simulation versus Tradicional DCF Valuation
- Davis, Graham, Economic Methods of Valuating Mineral Assets, 5th Joint Business Valuation Conference, 2002
- Caldentey, R., Rafael, E., Saure, D., A Real Options Approach for Optimizing Long-Term Mining Plans
- Real Options Valuation of Australian Gold Mines and Mining Companies
- Laughton, D. G., Sagi, J. S., Samis, M., Modern Asset Pricing and Project Evaluation in the Energy Industry
- Slade, Margareth, Valuing Managerial Flexibility: An Application of Real-Option Theory to Mining Investments
- Brandao, L.E., Dyer, J.S., Hahn, W.J., Using Binomial Decision Trees to Solve Real Options Problems

48



Companhia
Vale do Rio Doce

Bibliografia

- Roberts, Craig, The Valuation of Advanced Mining Projects & Operating Mines: Market Comparable Approaches
- Moel, A., Tufano, P., When Are Real Options Exercised? An Empirical Study of Mine Closing
- Samis, Michael, Valuing a Multi-Zone Mine as a Real Asset Portfolio – A Modern Asset Pricing Theory (Real Options) Approach
- Mcknight, Robert T., Valuing Mineral Opportunities as Options
- Samis, Michael, Applying Advanced Financial Methods (Real Options) to Mine Valuation Problems
- Copeland, T., Keenan, P., Making Real Options Real, Mckinsey Quartely, 1998
- Kazakidis, V.N., Scoble, M., Planning for flexibility in underground mine production Systems

