

Análise de Investimentos com Opções Reais IND 2072

Parte 1.1: Conceitos Básicos

Marco Antonio Guimarães Dias
Professor Adjunto (tempo parcial)

Rio de Janeiro, 1º Semestre de 2006

Visão Geral do Curso

- ◆ **Terças-feiras de 18:30 às 21:00 hrs. Sala 952 L.**
- ◆ **Pasta com materiais do curso: “xerox” do sub-solo, Pasta 76**
- ◆ **Livro-texto: DP = Dixit & Pindyck (1994): “Investment under Uncertainty”. Livro clássico, vale a pena comprar.**
- ◆ **Avaliação e programa: ver a ementa do curso.**
- ◆ **Divisão dos trabalhos: final de abril. Será levado em conta os interesses temáticos de cada aluno (ou grupo de 2 alunos).**
- ◆ **Professor Adjunto, tempo parcial, Marco Antonio Guimarães Dias**
 - **Duas teses de opções reais na PUC-Rio (mestrado e doutorado).**
 - **Experiência de mais de 23 anos na Petrobras, sendo mais de 17 anos em análise econômica de projetos na sede da Petrobras (onde continua)**
 - **Instrutor de opções reais (OR) na Petrobras desde 1996.**
 - **Cursos e seminários de OR no MIT, PUC-Rio, UFRJ, Unicamp, etc.**
 - **Criou o primeiro website de OR (1995): www.puc-rio.br/marco.ind/**
 - **E-mail: marcoagd@pobox.com**

Conceito de Opções

◆ Opção é o oposto de obrigação. Opção é direito, é liberdade de decisão, é flexibilidade gerencial.

- 1900: tese de Bachelier: opções usando modelo aritmético Browniano.
- 1973: Início de negociação de opções na CBOE (Chicago); ano de publicação dos artigos seminais de Black & Scholes e de Merton.
- 1997: Prêmio Nobel em Economia p/ Scholes & Merton (Black faleceu em 1995): referência explícita às aplicações em projetos.

◆ **Três conceitos de opções na literatura:**

- *tradição financeira*, que ênfatiza o cálculo do valor da opção, como no modelo de Black & Scholes & Merton;
- *tradição econômica*, que ênfatiza a regra de decisão (fazer uma decisão reversível ou irreversível), como em Arrow & Fisher (1972) e de Henry (1974); e
- escola de Schmalensee, Bohm e Graham, ênfase na escolha econômica, mas a opção pode ser negativa. Sem interesse prático para nós.
- Vamos combinar os conceitos financeiro e econômico.

Raízes da Análise por Opções Reais

◆ Esta é a visão do Prof. Triantis (palestra em Chicago, 2000)

Análise de Decisão

Árvores de Decisão
(usando utilidades)

Árvores de Decisão
(usando CMPC)

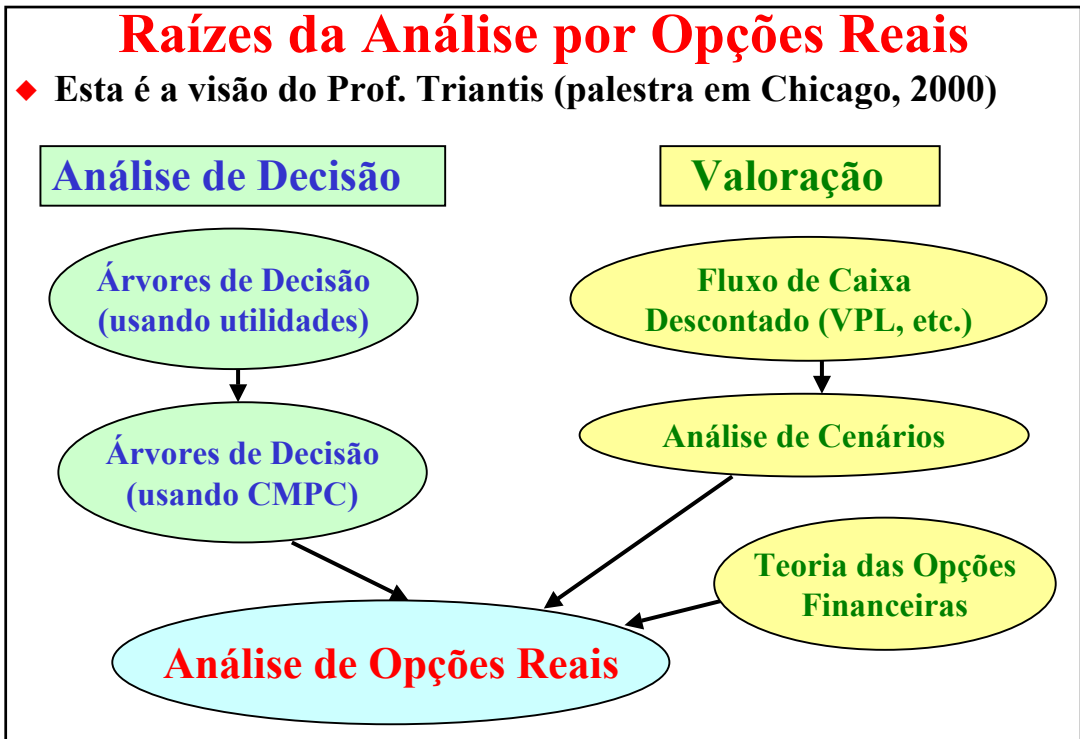
Análise de Opções Reais

Valoração

Fluxo de Caixa
Descontado (VPL, etc.)

Análise de Cenários

Teoria das Opções
Financeiras



Objetivo da Firma e Teoria da Utilidade

- ◆ **Análise de decisão (AD) clássica usa a maximização da utilidade do investidor. Opções: maximização de valor.**
 - Outra diferença (AD x OR) é o tratamento da taxa de desconto
- ◆ **Numa corporação, existem diversos acionistas com interesses diversos, diferentes níveis de riqueza e portanto, com diferentes funções utilidades.**
- ◆ **É impossível gerenciar a firma de forma a maximizar simultaneamente as utilidades de todos acionistas**
 - O melhor para uma firma é adotar como meta a maximização da riqueza dos acionistas e não a utilidade do gerente.
 - Cada acionista usa sua parte para maximizar sua utilidade.
- ◆ **Usando referências (valores) de mercado na análise econômica, equivale a adotar uma “utilidade agregada de mercado”, que reflete a preferência relativa ao risco.**

A Evolução da Teoria de Opções Reais

- ◆ **S. Myers (1977): Projetos e ativos reais corporativos como OR.**
- ◆ **Primeiro modelo de OR (1979): foi do *brasileiro* Tourinho, tese de Ph.D., University of California, Berkeley (recursos naturais).**
- ◆ **Artigos mais importantes da década de 80:**
 - Kester (1984), opções de crescimento; McDonald & Siegel (1986), o valor da opção de espera; Brennan & Schwartz (1985): opções de abertura e fechamento duma mina; Paddock & Siegel & Smith (1988), valoração de reservas de petróleo; Dixit (1989), “entry-exit”
- ◆ **Década de 90: rápido crescimento na academia e indústria**
 - Artigos importantes: Pindyck (1993); Trigeorgis (1993) e outros.
 - Primeiro livro texto de OR em 1994: Dixit & Pindyck
 - ➔ Depois Trigeorgis (1996); e mais de uma dezena de livros
 - Graham & Harvey (2001): pesquisa com 392 CFO's dos EUA e Canadá: 26,6% já usam “sempre ou quase sempre” as OR.
 - “Bolha” da internet: muita gente usando sem saber os conceitos.

Pesquisa de Graham & Harvey (2001)

- ◆ Maior pesquisa já feita sobre práticas corporativas, com 392 CFO's dos EUA e Canadá: crescimento surpreendente de OR.

➡ Journal of Financial Economics, vol.60, 2001, pp.187-243

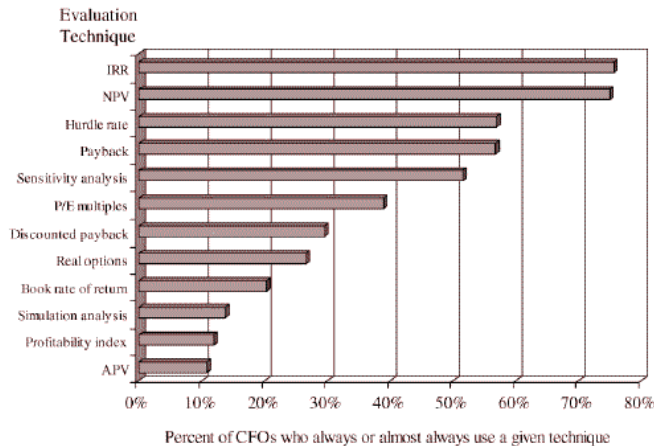


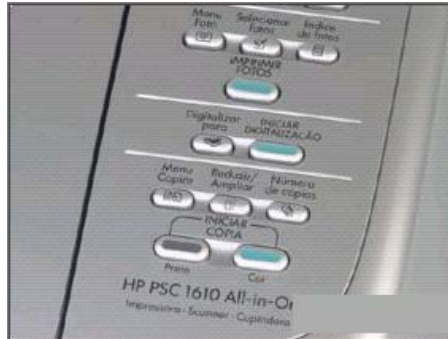
Fig. 2. Survey evidence on the popularity of different capital budgeting methods. We report the percentage of CFOs who always or almost always use a particular technique. IRR represents internal rate of return, NPV is net present value, P/E is the price-to-earnings ratio, and APV is adjusted present value. The survey is based on the responses of 392 CFOs.

Visão Gerencial de Opções Reais (OR)

- ◆ OR é uma metodologia moderna para análise econômica de projetos e decisões de investimento sob incerteza
 - OR *complementa* (não *substitui*) as ferramentas corporativas (ainda)
 - Difusão corporativa de OR toma tempo e treinamento
 - ➡ Há uma grande demanda por bons pós-graduados que quantifiquem OR
- ◆ Considera as incertezas e as opções (*flexibilidades gerenciais*) relevantes e dá duas respostas:
 - O valor da oportunidade de investimento (o valor da opção)
 - A regra de decisão ótima (gatilho)
- ◆ Pode ser visto como um problema de otimização:
 - Maximizar o VPL (função objetivo típica) através do gerenciamento ótimo das opções (flexibilidades gerenciais) relevantes, sujeito a:
 - a) Incertezas de mercado (exs.: preço do óleo, demanda de produto);
 - b) Incertezas técnicas (exs.: reserva de óleo, sucesso em P&D);
 - c) Incerteza nas ações de outros *players* (competição. Ex.: leilão).

Exemplo Qualitativo: HP e Incerteza na Demanda

- ♦ A firma HP (Hewlett-Packard) usa OR desde final dos anos 80 (fonte: conversa com executivo da HP em Chicago, em 2000).
 - Aqui vamos ver um caso real descrito no livro de Brigham & Ehrhardt (Financial Management, cap.12, 11ª ed., 2005).
- ♦ A HP vende impressoras e multifuncionais no mercado global e em cada país esses produtos são customizados. Por ex.:
 - Leds com mensagens e os escritos do painel (foto) devem ser na língua local:



- ♦ A HP fazia essa customização de um jeito e mudou com o conceito de OR.

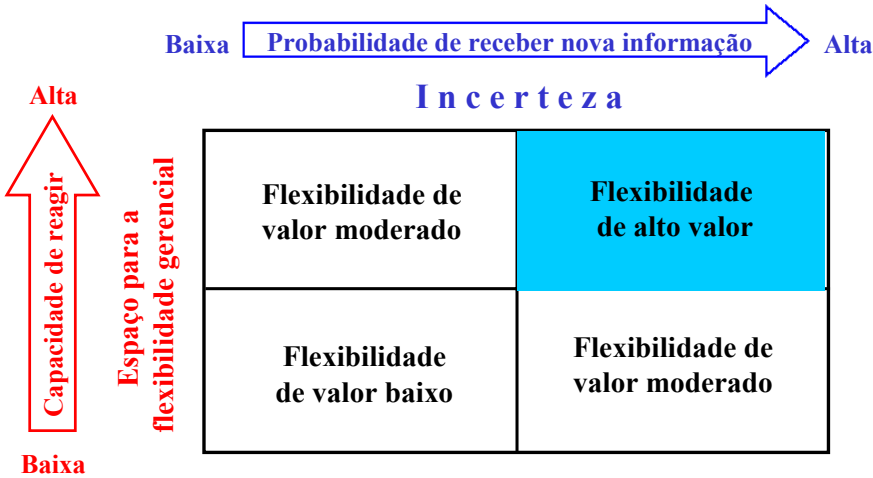
Exemplo Qualitativo: HP e Incerteza na Demanda

- ♦ Inicialmente a HP **centralizava** toda a customização para diversos países e mercados em uma grande unidade fabril.
 - Essa era e é a solução de **menor custo**, dada uma demanda prevista.
 - O problema é que a **demanda é incerta** e frequentemente sobrava estoque num país e faltava produto no país vizinho.
 - ➔ A concorrência, agradecida, supria o mercado em falta ...
 - ➔ O esquema centralizado de menor custo não era o mais ágil e flexível para capturar as oscilações na demanda. Novos conceitos eram necessários.
- ♦ A HP então **modularizou** mais seus produtos, passando a fabricar de forma **descentralizada** os **módulos customizáveis**.
 - Com isso impressoras *quase-prontas* na França poderiam ser enviadas rapidamente para a Alemanha onde seriam customizadas rapidamente no local, a fim de atender a demanda adicional de lá.
 - Antes, uma nova impressora, específica para o mercado alemão, teria de ser toda fabricada (“do zero”) numa unidade fabril mais distante, mesmo que tivesse sobrando impressoras na França.
 - **A incerteza fez a flexibilidade ser mais valiosa que o menor custo.**

Quando as Opções Reais São Valiosas

◆ Baseado no livro “Opções Reais” de Copeland & Antikarov

- Opções reais tem valor quanto maior for a incerteza e a flexibilidade de reação



Recordação do Fluxo de Caixa Descontado

- O método do fluxo de caixa descontado (FCD) estabelece que devemos calcular o valor presente líquido (VPL) através do desconto dos fluxos de caixa *esperados* com uma *taxa ajustada ao risco* de mercado do projeto (μ). No caso de tempo discreto:

$$VPL = \sum_{K=0}^N \frac{E[FC_K]}{(1 + \mu)^K}$$

Diagram annotations:

- N : número de períodos
- $E[FC_K]$: valor esperado do fluxo de caixa líquido no período k
- μ : taxa de desconto ajustada ao risco

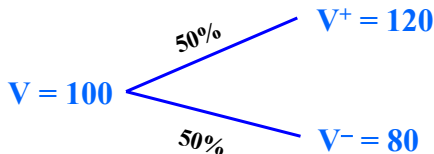
- No caso de *tempo contínuo* se trabalha com integral (em vez de somatório) e se usa $e^{-\mu k}$, em vez de $(1 + \mu)^{-k}$.

- Aqui será conveniente separar os fluxos de caixa de investimento, dos demais fluxos de caixa (receitas, custos operacionais e impostos)
- Dessa forma, a nossa equação básica do FCD é: **VPL = V – I**, onde:
 - V = valor presente das receitas líquidas de custos operacionais e impostos.
 - I = valor presente do fluxo de investimentos líquidos de benefícios fiscais.

Exemplo Comparativo Opções Reais x FCD

- ♦ Uma firma tem uma patente que pode ser desenvolvida a um custo de investimento $I = 100$ (em milhões). Esse projeto geraria um valor presente de receitas líquidas esperadas de $V = 100$.

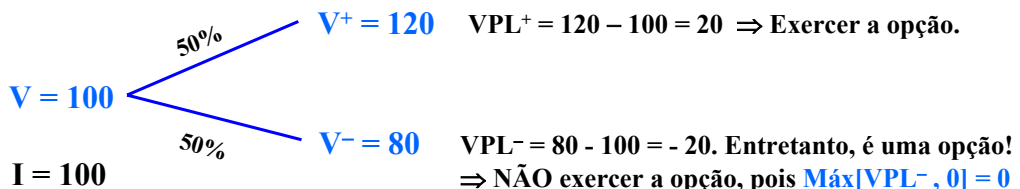
- Assim, o $VPL = V - I = 100 - 100 = \text{zero}$.
- No entanto, o valor de V é incerto: se a firma esperar um ano, ela terá uma boa idéia se o produto terá uma grande demanda V^+ ou uma pequena demanda V^- , com 50% de chances em cada cenário.



- ♦ Pelo FCD, a patente nada valeria, pois $E[V]$ continua sendo 100 $[= (50\% \times 120) + (50\% \times 80)] \Rightarrow VPL = E[V] - I$ continua = zero
- ♦ No entanto, esqueceu-se que o investimento é opcional:
 - No cenário V^+ se exerce a opção ganhando $VPL^+ = 120 - 100 = 20$, mas no cenário V^- não é ótimo exercer a opção $\Rightarrow OR = \text{Máx}[VPL^-, 0] = 0$.

Exemplo Comparativo Opções Reais x FCD

- ♦ Assim, o valor da patente daqui a um ano é igual a 10 milhões \$ e não o valor igual a zero dado pelo FCD que usa $E[V]$:



Logo, valor da OR nessa data é: $OR = 50\% \times \text{Máx}[VPL^+, 0] + 50\% \times \text{Máx}[VPL^-, 0]$
 $\Rightarrow OR = 50\% \times 20 + 50\% \times 0 \Rightarrow OR = 10$.

- ♦ Conforme Ho & Lee (Oxford Guide to Financial Modelling, 2004, cap.13), “a principal diferença entre o método de OR e o do FCD é que em OR os riscos são explicitamente modelados; ele claramente distingue os cenários favoráveis dos não favoráveis.”
 - Pode-se acrescentar que em OR se considera a *ação ótima em cada cenário* distinto (aqui, exercer ou não a opção de investir).



Investimento e Taxa de Desconto

◆ Definição de investimento (Dixit & Pindyck):

É o ato de incorrer em custos imediatos na expectativa de futuros benefícios.

◆ Retorno do Investimento = Ganho de Capital + Dividendos

→ Taxa de retorno total = taxa de ganho de capital + taxa de dividendos

$$\mu = \alpha + \delta$$

◆ Pelo CAPM, retorno total esperado = taxa ajustada ao risco, é:

$$\mu = r + \beta (r_m - r)$$

prêmio
de risco
(π)

Onde: r = taxa livre de risco; r_m = retorno do mercado

β = “beta” do projeto (ou do ativo) = medida de covariância

Finanças em Tempo Contínuo

◆ Dividindo-se um intervalo de tempo discreto em um número muito grande (m) de sub-intervalos, se aproxima do tempo contínuo

$$\lim_{m \rightarrow \infty} [1 + (r/m)]^m = e^r$$

◆ Note que uma taxa anual de 10% (por ex.) composta anualmente, corresponde a 10,52% se ela fosse continuamente composta, pois $e^{0,10} - 1 = 10,52\%$

- Logo, numa transação dever ser especificada se a taxa é contínua ou discreta. Mas tendo uma se obtém a outra.

◆ Assim, investindo R\$ 1 a uma taxa r continuamente composta, após T anos se obtém e^{rT}

Finanças em Tempo Contínuo

- ◆ Outra maneira de ver: para uma taxa de 10% anualmente composta, um montante $M_0 = 100$ valerá $M_1 = 110$ daqui a 1 ano (retorno de 10) :

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{M_1 - M_0}{t_1 - t_0} = \frac{110 - 100}{1 - 0} = 10\% \times 100 = r M$$

- ◆ O caso discreto vira contínuo se Δt for infinitesimal (dt):

Discreto		Contínuo
$\frac{\Delta M}{\Delta t} = r M$		$\frac{dM}{dt} = r M$

- ◆ Integrando dM desde o instante t até o instante futuro T:

$$M(t) = M(T) e^{-r(T-t)}$$

Finanças em Tempo Contínuo

- ◆ Em resumo, o fator de atualização (de desconto) em tempo contínuo é uma exponencial:

Número de Períodos	Fator em Tempo Discreto	Fator em Tempo Contínuo
1	$1/(1+r)$	$1/e^r$ (ou e^{-r})
2	$1/(1+r)^2$	$1/e^{2r}$ (ou e^{-2r})
n	$1/(1+r)^n$	$1/e^{nr}$ (ou e^{-nr})

- ◆ Note que os fatores são diferentes se r for o mesmo.

Exemplo em Tempo Contínuo

- ♦ Seja V o valor unitário de um projeto implantado, isto é, V = receita líquida de custos operacionais e impostos, por unidade produzida, ou margem líquida unitária.
- ♦ V cresce exponencialmente a uma taxa α e vale atualmente V_0 e futuramente $\tilde{V}(t)$. Para se atualizar, com a taxa de desconto ajustada ao risco μ , um fluxo de caixa proveniente da produção $Q(t)$ de um projeto, o que importa é a diferença $\delta (= \mu - \alpha)$ e não μ ou α :

Valor do projeto implantado =

$$E \left[\int_{t=0}^{t=T} Q(t) \tilde{V}(t) e^{-\mu t} dt \right] = \int_{t=0}^{t=T} Q(t) (V_0 e^{\alpha t}) e^{-\mu t} dt$$

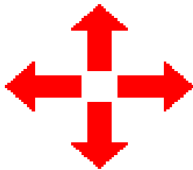
$$\Rightarrow \text{Valor do projeto implantado} = \int_{t=0}^{t=T} Q(t) V_0 e^{-\delta t} dt$$

Principais Tipos de Opções Reais



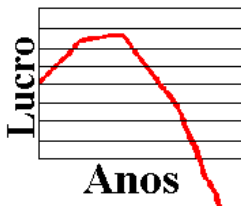
♦ Opção de Espera (de “Timing”)

- Aguarda novas informações e aprende, antes de investir. Espera proativa.



♦ Opção Seqüencial e de Expansão

- Valora o aspecto “estratégico” do projeto de forma consistente.



♦ Opção de Abandono

- Gerentes não são obrigados a seguir um plano de negócios, se ele se tornar não-lucrativo.
- O programa de investimento seqüencial pode ser abandonado se a informação gerada nesse processo for desfavorável.

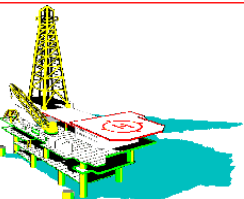
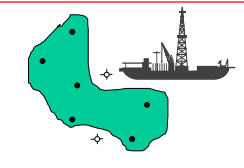
Outros Tipos de Opções

- ◆ **Opções de mudança de uso (*switch-use*), baseadas na múltipla aplicabilidade de um ativo ou capacidade; e opções de mudança de insumo (*switch-input*). Exs.**
 - O navio P.P. Moraes construído para viagens domésticas, foi convertido p/ viagens internacionais, depois foi convertido em unidade de processo na Bacia de Campos e agora produz petróleo em águas profundas;
 - Automóveis “flex-fuel” (dois ou + combustíveis): OR para o consumidor;
 - Terreno com casa pode ser redesenvolvido (edifício, shopping);
 - Unidade industrial bicomustível (carvão e óleo combustível).
- ◆ **Opções de modificação: capacidade de mudar a escala, a locação ou as características de um projeto. Exs.:**
 - Campanha publicitária do Banco do Brasil (Guga, seleção de vôlei) pode ser ampliada, reduzida ou modificada ao longo do tempo.
 - Geradoras térmicas móveis (barcaças, containers, caminhões), em geral de ~100 MW. Existem 7000 MW no mundo (O Globo, 22/7/01).
 - Terceirização de parte da mão de obra permite eventual contração da escala produtiva (em caso de baixa demanda) a um custo menor.

Opções Reais Sequenciais em Exploração e Produção de Petróleo

Fator de chance (FC) p/
achar petróleo/gás
Volume esperado
de reservas = B

Reserva
esperada = B'



⇒ Bloco (prospecto): Opção de perfurar o pioneiro

**Investimento em
Exploração**

⇒ Campo Não Delimitado: Opção de delimitar

**Investimento em
Delimitação**

⇒ Reservas Não-Desenvolvidas: Opção de desenvolver (colocar em produção) a reserva

**Investimento em
Desenvolvimento**

⇒ Reservas Desenvolvidas: Opções de expansão (perfurar mais poços, aplicar nova tecnologia); de parar temporariamente e de abandonar

Opcionalidade e Revelação de Informação

- ◆ Esse exemplo simples ilustrará os conceitos de *opcionalidade* e *revelação de informação*, que aumentam o valor de ativos reais
- ◆ O valor de um prospecto exploratório é dado pelo **VME** (valor monetário esperado), função do custo e do benefício esperado:

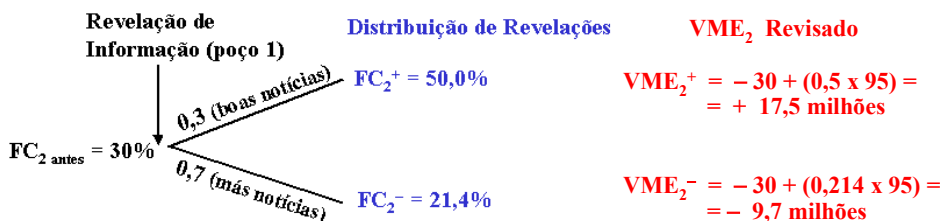
$$\text{VME} = -I_w + \text{FC} \cdot \text{VPL}$$

- Onde: I_w = investimento na perfuração do poço pioneiro (“wildcat”)
 - FC = fator de chance (probabilidade de sucesso)
 - VPL = *valor presente líquido* do desenvolvimento da produção
 - ◆ A firma de petróleo X tem dois prospectos iguais, os quais são correlacionados. Os VMEs (em MM\$) são negativos e iguais:

$$\text{VME}_1 = \text{VME}_2 = -30 + [30\% \times 95] = -1,5 \text{ milhões \$}$$
 - ◆ Assim parece melhor não perfurar, os prospectos nada valem
 - Mas não foi considerado o fato dos prospectos serem dependentes!
 - Outra firma (Y) de petróleo oferece 2 MM\$ pelos dois prospectos.
- ➡ Deve a firma aceitar? Quanto vale o bloco com os dois prospectos?

Revelação de Informação e Fator de Chance

- ◆ No cálculo do VME não foi considerado que se o prospecto 1 for perfurado, revela informação para o prospecto 2, que revise o seu fator de chance para cima em caso de boas notícias (FC_2^+) e para baixo em caso de más notícias (FC_2^-) da 1ª perfuração.
- Considere que a dependência é tal que os cenários revelados são:



- ◆ O valor esperado do bloco (dois prospectos), considerando que:
 - A perfuração do poço 1, *revela informação* para o poço 2, e
 - A perfuração é *opcional* (é um direito, não é obrigação)

$$\text{VME}_1 + E[\text{opção}(\text{VME}_2)] = -1,5 + [(0,3 \times 17,5) + (0,7 \times \text{zero})] = + 3,75 \text{ MM\$}$$

- ◆ Por que aumentou o valor? Revelação de informação e opcionalidade!

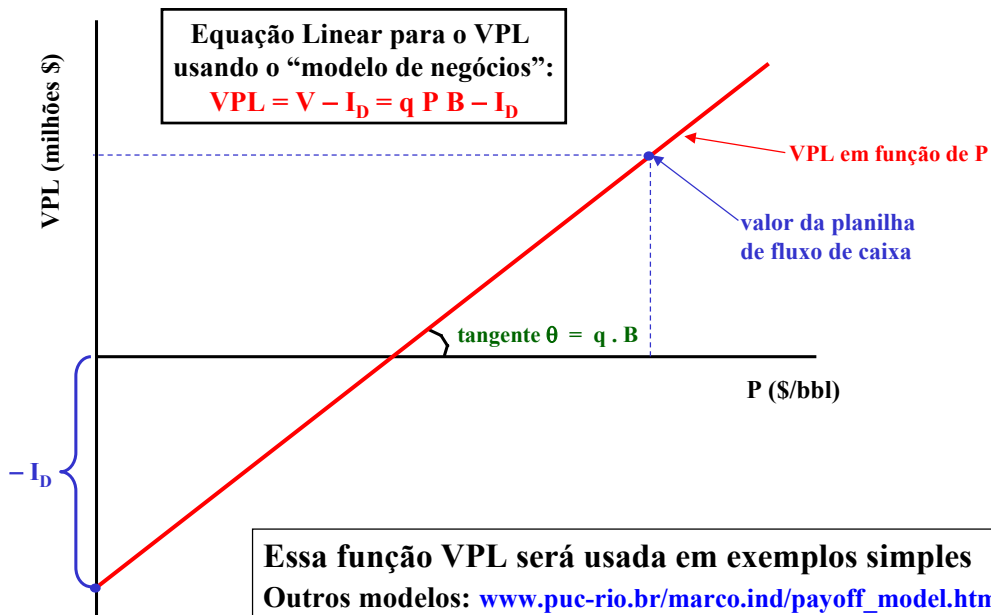
Negociações e Interação Estratégica

- ◆ No exemplo, os prospectos valem mais que aparentam graças à revelação de informação + opcionalidade
 - Sem a revelação o bloco valeria zero. Sem a opcionalidade, – 3 MM\$
 - Recuse a oferta da firma Y ($2 < 3,5$ MM\$)! Mas dê a contraproposta:
 - ➔ Firma Y ganha o prospecto 1 *de graça*, mas perfura logo o poço e dá toda a informação para firma X sobre essa perfuração. Valor para a firma X?
- Valor para Firma X = $\text{zero} + [(0,3 \times 17,5) + (0,7 \times \text{zero})] = + 5,25 \text{ MM\$} > 3,75$
 - Logo: informação + opcionalidade = oportunidades de bons negócios!
- ◆ Suponha agora que cada firma tem um dos dois prospectos
 - A firma X pode *esperar* a firma Y perfurar primeiro, pois ganharia 5,25 MM\$. Mas a firma Y também pode esperar a firma X perfurar
 - ➔ Esse jogo da espera chama-se *guerra de atrito*. Pode nenhuma perfurar.
- ◆ A alternativa é negociar um contrato de *parceria* (ganha-ganha)
 - Dividir o valor $U = 3,75 \text{ MM\$}$ da união dos dois prospectos
 - ➔ Esse jogo cooperativo chama-se *jogo da barganha*. Ambos ganham.

Exemplo em Petróleo e Qualidade da Reserva

- ◆ Imagine que você quer comprar 100 milhões de barris de reservas desenvolvidas. O valor da reserva claramente depende da expectativa de preço de longo-prazo do petróleo, mas não só.
- ◆ Quanto você pagaria por barril de reserva já desenvolvida?
 - Isso depende de vários fatores tais como a qualidade da rocha-reservatório (produtividade da jazida), qualidade dos fluidos (óleo pesado x leve, etc.), país (regime fiscal, risco político), localização (águas profundas tem maior custo operacional que as reservas onshore), o capital *in place* (velocidade de extração e logo o valor presente da receita depende do número de poços), etc.
- ◆ Quanto maior é o valor do barril de reserva em relação ao barril de óleo (na superfície), maior é a qualidade econômica: $\text{valor de um barril de reserva} = v = q \cdot P$
 - Onde q = qualidade econômica da reserva desenvolvida
 - O valor da reserva desenvolvida é v vezes o *tamanho da reserva* (B)
 - Logo, vamos usar a equação para o $VPL = V - I_D = q P B - I_D$
 - ➔ I_D = custo de investimento de desenvolvimento (ou *preço de exercício da opção*)

Uma Função VPL Simples para Produção de Petróleo

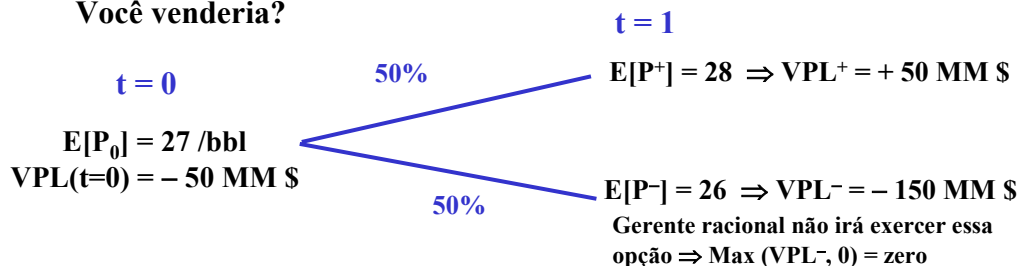


Intuição (1): Incerteza de Mercado e Valor da Opção

♦ Seja um campo já descoberto. O VPL de desenvolvimento do campo é dado pelo simples *modelo de negócios* visto antes:

$$VPL = V(P) - I_D = q B P - I_D$$

- Sejam os dados: $q = 0,2$; $B = 500$ (MM bbl); $I_D = 2750$ (MM\$)
- Se em $t = 0$, $P_0 = 27$ \$/bbl $\Rightarrow$ **VPL = $0,2 \cdot 500 \cdot 27 - 2750 = -50$ MM\$**
- Suponha que o investimento pode ser adiado por 1 ano e os preços podem subir ou descer 1 \$/bbl (pequena incerteza no preço).
- A firma X oferece US\$ 3 milhões por esse campo de petróleo. Você venderia?

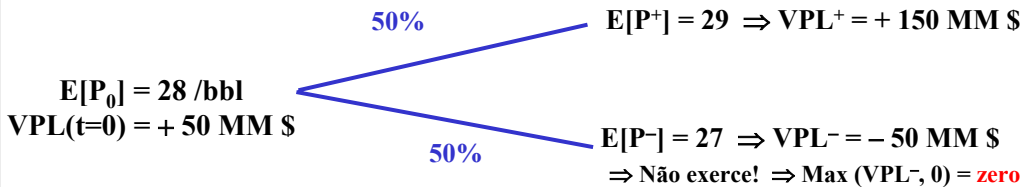


Logo em $t = 1$, o VPL opcional é positivo: $(50\% \times 50) + (50\% \times 0) = +25$ milhões \$

Intuição (2): Opção de Timing e Valor da Espera

- ◆ Suponha o mesmo caso mas com um VPL um pouco positivo (preço inicial um pouco maior).

- $VPL = q B P - I_D = 0,2 \times 500 \times 28 - 2750 = + 50$ milhões \$.
- Assuma uma taxa de desconto $\mu = 10\%$ para um período.
- O que é melhor: desenvolver agora ou “esperar e ver”?



Logo em $t = 1$, o VPL opcional é: $(50\% \times 150) + (50\% \times 0) = + 75$ milhões \$

Se a taxa de desconto = 10%, o valor presente é: $VPL_{\text{espera}}(t=0) = 75/1,1 = 68,2 > 50$

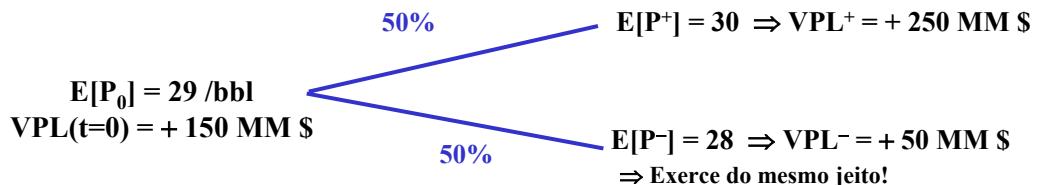
Logo é melhor “esperar e ver”, exercendo a opção somente no cenário favorável.

Apesar do VPL positivo, a opção em $t = 0$ não está madura para o exercício imediato (no jargão de opções, a opção não está “deep-in-the-money”).

Intuição (3): Opções “Deep-in-the-Money”

- ◆ No exemplo anterior *a espera é mais valiosa*, mesmo com VPL positivo em $t = 0$. Agora suponha que em $t = 0$ o preço seja maior, $P_0 = 29$ \$/bbl $\Rightarrow VPL = 0,2 \cdot 500 \cdot 29 - 2750 = 150$ MM\$

- Estará a opção madura para o imediato exercício (*deep-in-the-money*)?
- Suponha que o preço pode subir ou descer 1 \$/bbl em $t = 1$ e $\mu = 10\%$



Logo, em $t = 1$ o VPL esperado é: $(50\% \times 250) + (50\% \times 50) = 150$ milhões \$

O valor presente é: $VPL_{\text{esperar}}(t=0) = 150/1,1 = 136,4 < 150 \Rightarrow$ exercer em $t = 0$

- ◆ Nesse caso a opção já está madura e o exercício imediato é ótimo

- Logo, existe um $P^*(t = 0)$ entre 28 e 29 \$/bbl onde a opção fica madura
 $\rightarrow$ Esse P^* é chamado **gatilho**, que dá a regra ótima de exercício da opção

Opção Real “Deep-in-the-Money” e Gatilho

- ◆ Para que valor do preço de longo-prazo P^* se ficaria indiferente entre esperar e investir no exemplo anterior?
 - Esse preço P^* é chamado de **gatilho** ou valor crítico da opção.
- ◆ Ver planilha Excel [gatilho.xls](#). Usar a função “atingir metas”.
 - O gatilho nesse exemplo é $P^* = 28,33$ \$/bbl (já o preço de “break-even”, que zera o VPL é 27,5 \$/bbl).
 - ➔ No exemplo a incerteza é particularmente pequena. Mas a idéia de gatilho para exercício da opção é um conceito geral.
 - ➔ A diferença entre o gatilho da opção e o preço de “break-even” (regra do VPL) é maior quanto maior for a incerteza.
- ◆ Note que o valor da opção e a regra de decisão (gatilho) estão ligados.
 - Quando a opção está “deep-in-the-money” ($P \geq P^*$), o valor da opção é igual ao VPL do imediato exercício. Caso contrário, é o valor presente esperado da alternativa “esperar”.
- ◆ **Exercício:** O que ocorre com o gatilho se aumentarmos a incerteza? Na planilha, aumente a variação de preços de ± 1 para ± 2 \$/bbl.

O Balanço Custo-Benefício da Espera



Projeto “deep in the money”



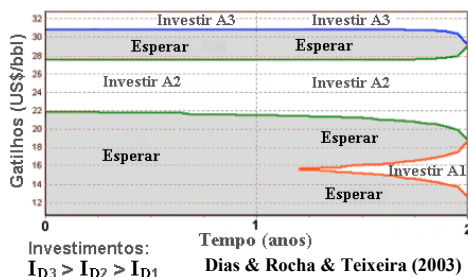
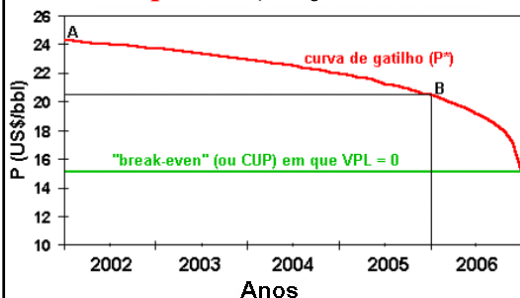
Projeto “in the money” ou
“out of money”

- ◆ O benefício da espera é maior, quanto maior for a incerteza econômica e a liberdade de timing (tempo de expiração).
- ◆ Quanto maior o VPL do projeto em relação ao investimento (mais “deep in the money”), menor o benefício da espera.

Curva de Gatilhos: Tipos e Como Calcular

- ♦ A curva de gatilhos dá a regra de decisão para exercício ótimo das opções reais (OR). Ela depende da incerteza de mercado.

- Essa regra de exercício ótimo pode ser *simples* (curva de gatilhos) ou *complexas* (conjuntos desconectados de exercícios):



- ♦ A curva ou regiões de gatilho podem ser obtidas de vários modos:

- Tradicional: resolve uma equação diferencial parcial (EDP) através de diferenças finitas ou aproximações analíticas
- Simulação de Monte Carlo + método tradicional de otimização
- Simulação de Monte Carlo + método de inteligência computacional

As Regras do FCD e as Opções Reais

- ♦ O Fluxo de Caixa Descontado (FCD) estabelece:

- Investir em todos os projetos com $VPL > 0$
 - ➔ Opções: Investir só quando o projeto está “deep in the money”
- Rejeitar projetos com $VPL < 0$
 - ➔ Opções: Pode recomendar projetos “estratégicos” (ex: com opção de expansão) e *iniciar* investimentos em projetos sequenciais que *revelam informações* (incerteza técnica)
- Entre dois projetos mutuamente exclusivos, escolher o de maior VPL
 - ➔ Opções: Muitas vezes escolhe projetos menores mas que estão “deep in the money” ou que tem *maior flexibilidade*

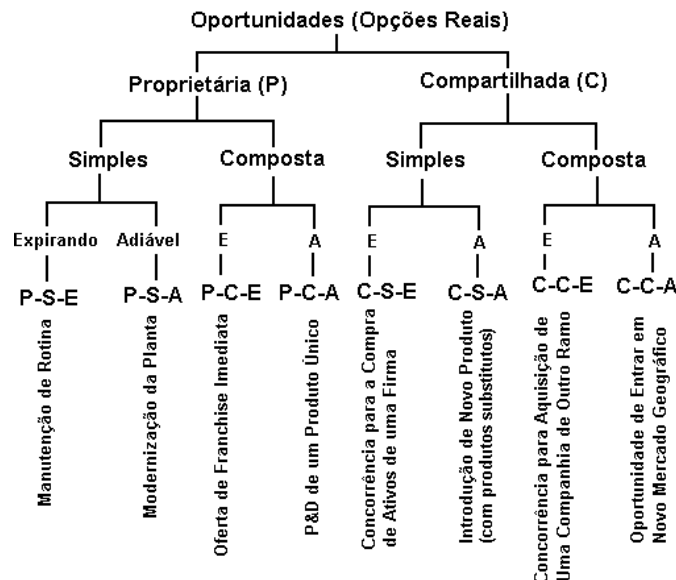
- ♦ “A verdadeira dificuldade está não em aceitar idéias novas, mas em livrar-se das idéias antigas”

John Maynard Keynes (1883-1946), famoso economista.

Exemplo de Escolha da Melhor Alternativa

- ♦ Um empresário vai fabricar um produto com demanda incerta. Ele tem duas alternativas mutuamente exclusivas, A e B.
 - A alternativa A usa uma tecnologia “taylor made”, com máquinas desenhadas para máxima eficiência em fabricar esse produto. Essa tecnologia usa pouca mão de obra (automação).
 - ➔ Uma análise de FCD mostrou: $VPL_A = 500 - 400 = 100 \text{ MMS}$
 - A alternativa B usa uma tecnologia menos eficiente, com máquinas padronizadas (tornos, fresas), usa mais mão de obra (mas é mais flexível). $VPL_B = 450 - 355 = 95 \text{ MMS}$
- ♦ Pela análise tradicional, a alternativa A seria a escolhida.
 - No entanto, a alternativa B tem um valor de opção de abandono bem mais valiosa do que a alternativa A, que não foi computada. Isso *pode* inverter o valor das alternativas.
 - ➔ Se a demanda cair (ex.: entrada de um produto substituto melhor ou mais barato), as máquinas da tecnologia A não tem valor. Já as máquinas da alternativa B tem valor no mercado secundário.

Classificação das Opções Reais (Trigeorgis)



- ♦ Opção *proprietária*: direitos exclusivos;
- ♦ Opção *compartilhada*: várias firmas a detêm

Classificação e Valor das Opções: Alguns Casos

- ♦ O valor da opção pode ser vista como a soma do VPL com o valor da(s) opção(ões) e com o efeito competitivo.

Classificação	Estratégia Operacional	Valor da Opção
A) VPL Estático		VPL
B) Método de Opções		
Proprietária-Simples-Expirando		VPL + opção de abandono
Compartilhada-Simples-Expirando		VPL – perda competitiva
Proprietária-Simples-Adiável		VPL + opção de espera
Idem, com abandono		VPL + espera + abandono
Compartilhada-Simples-Adiável		VPL + espera – perda compet.
Idem, entrando antes		Volta a casos anteriores

Legenda: ↓ decisão de investir; ↑ decisão de sair; ↘ entrada de competidor (fora de controle);
T = vida esperada do projeto; T_1 = período adiável; T' = abandono antecipado devido ao mercado

Conceitos Básicos de Derivativos Financeiros

- ♦ Ativo derivativo é aquele cujo fluxo de caixa depende funcionalmente de um outro ativo, chamado de ativo básico. Exemplos de derivativos:
 - *Opções, contratos a termo, contratos futuros e swaps.*
- ♦ Diferença entre ativos contingentes e derivativos:
 - O primeiro é mais abrangente, ativos que depende de qualquer variável (ex: índice de inflação) ativo ou não.
- ♦ Opções: direito de comprar ou vender um ativo V, por um certo valor K, até uma certa data T.
 - Opção Europeia : só pode exercer a opção na data de expiração (valor é menor ou igual a opção Americana).
 - Opção Americana: permite o exercício antecipado.

Assimetria de Valor e Tipos de Opção

- ◆ Sendo a opção um direito de comprar ou vender um ativo por um certo preço em (ou até) uma certa data, cria a assimetria no valor da opção:
 - Direito de exercer sem a contrapartida simétrica da obrigação de exercer, beneficia o detentor da opção.
 - ➡ Investidor racional só exercerá a opção se o preço do ativo básico evoluir favoravelmente para esse exercício.
- ◆ Opção de Compra (“call”): direito de *comprar* o ativo básico (V) pelo preço de exercício (K).
- ◆ Opção de Venda (“put”): direito de *vender* o ativo básico (V) pelo preço de exercício (K).
- ◆ Ativo Básico: pode ser ações de firmas, contrato futuro, outra opção, imóveis, um projeto, etc.

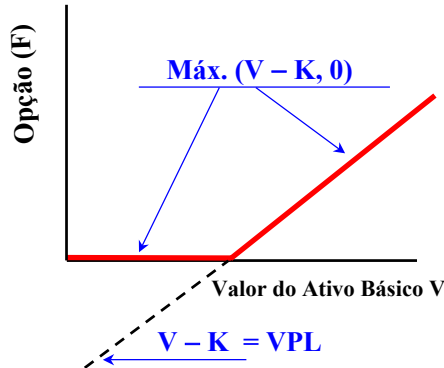
Opções de Compra, de Venda e Exóticas

- ◆ Opção de Compra (“call”) será muito usada na analogia com o direito de investir num projeto
 - GM tem uma call perpétua: obtém-se uma fábrica de automóveis (ativo básico) pagando o investimento (preço de exercício)
 - Petrobras quando descobre um campo tem uma call *com tempo de expiração*
- ◆ Opção de Venda (“put”) pode ser pensada como um seguro: o investidor que detém a ação e a opção limita suas perdas, ganha pelo menos K (preço de exercício).
 - Analogia com opção de abandono de um projeto ou negócio pelo seu valor residual ou de oportunidade (reversibilidade parcial)
- ◆ Diversas analogias com opções exóticas, ex.:
 - Investir na capacitação em duas tecnologias concorrentes (ex.: em banda larga para telecomunicações) e usar a mais valiosa
 - ➡ Analogia com a *opção de máximo de dois ativos de risco*

Assimetria na Opção de Compra

- ◆ Na expiração a opção (F) só deve ser exercida se $V > K$.
- ◆ A opção cria uma assimetria, pois as *perdas são limitadas* ao valor de aquisição da opção e o *upside* é teoricamente ilimitado. Quanto mais incerto for o valor futuro do ativo V, mais vale a assimetria.

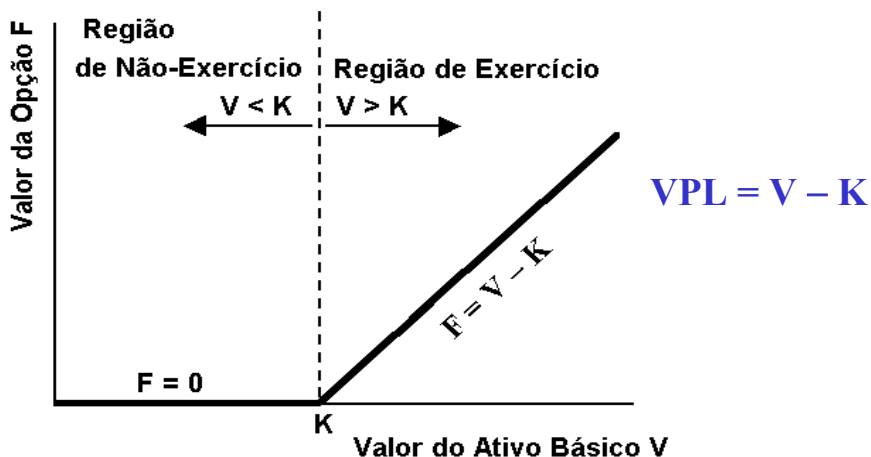
- Na expiração (T):



- ◆ Em projetos de investimento, $V - K$ é o VPL e assim pode-se pensar no valor da opção como $F(t = T) = \text{Máx. (VPL, 0)}$

Valor no Vencimento da Opção de Compra (Call)

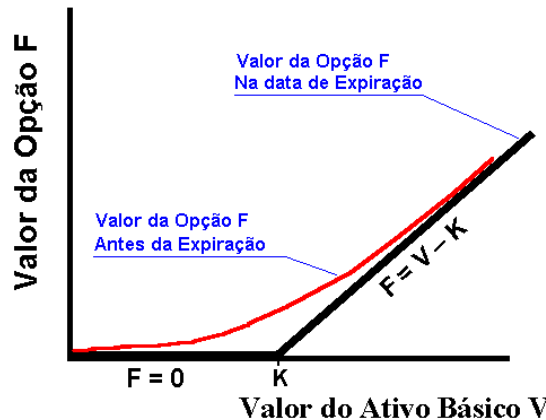
- ◆ Seja o valor do ativo básico V (valor do projeto no contexto de opção real) e o preço de exercício da opção K (investimento).
- ◆ Na expiração a opção (F) só deve ser exercida se $V > K$. Valor da opção $F(T) = \text{Máx. [V - K, 0]}$ (em OR: $F = \text{Máx. [VPL, 0]}$)



Opção de Compra Antes da Expiração

- ◆ Antes da expiração a opção tem valor positivo (> 0) mesmo que o preço do ativo básico V seja menor que o preço de exercício da opção K .

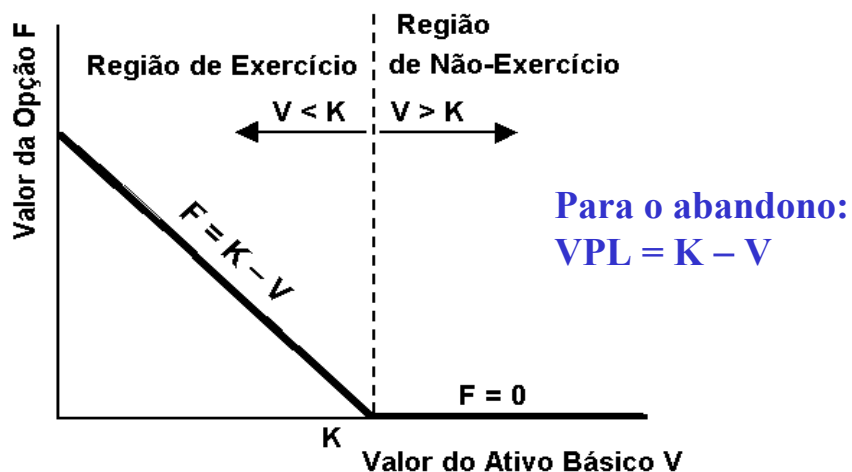
- Isso ocorre devido à incerteza do valor V na data de vencimento: valor positivo reflete a chance de essa opção se tornar valiosa.



Opção de Venda: Valor no Vencimento

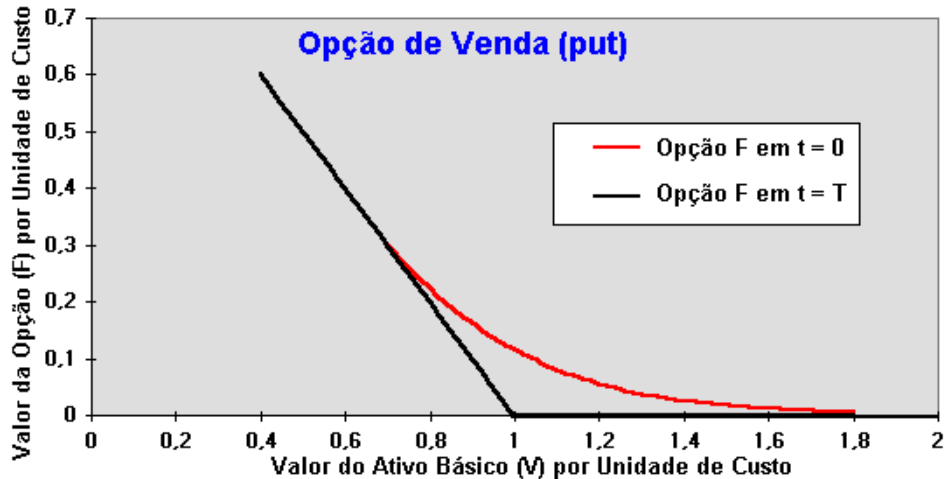
- ◆ Na expiração, a opção de venda sobre um ativo que vale V e com preço de exercício K valerá:

- Máx. $[0, K - V]$ ou seja, só exerce a opção se $V < K$



Opção de Venda Antes da Expiração

- ♦ Analogamente, o valor da opção de venda americana antes da expiração vale mais do que na expiração



Equação de Black & Scholes & Merton (B&S&M)

- ♦ O valor da opção europeia de compra antes do vencimento é dada pela equação de B&S&M (a *versão com dividendos*), deduzida por arbitragem, que só depende só de 6 parâmetros de mercado:

- preço do ativo básico (ação), V ;
- preço de exercício da opção, K ;
- *volatilidade* do ativo básico (desvio-padrão da taxa de retorno do ativo básico, isto é, de dV/V), σ ;
- o tempo que falta para a expiração da opção, τ ;
- a taxa de juros livre de risco, r ; e
- a taxa de distribuição de dividendos do ativo básico, δ (*dividend yield* em % p.a. de V).

Equação de Black & Scholes & Merton (B&S&M)

- ◆ A equação de Black & Scholes, *versão com dividendos* (Merton), para uma opção de compra européia, é dada pela seguinte solução de uma EDP:

$$C = V e^{-\delta \tau} N(h) - K e^{-r \tau} N\left(h - \sigma \sqrt{\tau}\right)$$

● Onde:
$$h = \left[\ln\left(\frac{V}{K}\right) + \left(r - \delta + \frac{1}{2} \sigma^2\right) \tau \right] \frac{1}{\sigma \sqrt{\tau}}$$

$N(\cdot)$ = função distribuição normal padrão acumulada (obtida em tabela ou como função de planilha)

- ◆ Para o caso sem dividendos, basta fazer $\delta = 0$
- ◆ Repare que não entra “taxa ajustada ao risco” ou “taxa de crescimento esperada” da ação

Interpretação de Black & Scholes & Merton

- ◆ Podemos interpretar os termos da equação de B&S&M, observando valores presentes de expectativas sob probabilidades neutras ao risco, que consideram a ação ótima (opção) nos cenários possíveis de V em $t = T$, faltando τ anos para a expiração da opção:

Probabilidades neutra ao risco (com ponderação de valor)
de $V > K$ na expiração

$$C = \underbrace{V e^{-\delta \tau} N(h)}_{\substack{\text{Valor presente do} \\ \text{valor do ativo básico}}} - \underbrace{K e^{-r \tau} N(h - \sigma \sqrt{\tau})}_{\substack{\text{Valor presente do} \\ \text{custo de exercício}}}$$

Valor presente esperado de V se $V > K$ na expiração (usando prob. neutra ao risco)
Valor presente de K se $V > K$ na expiração

h é função de $V, K, r, \delta, \sigma, \tau$

Fatos Sobre Opções Americanas

- ◆ Numa opção americana pode haver o exercício antecipado. O exercício ótimo é dado pelo gatilho V^* :
 - Exerce a opção de *compra* se $V \geq V^*$ (opção *deep-in-the-money*)
 - Exerce a opção de *venda* se $V \leq V^*$ (opção *deep-in-the-money*)
 - Gatilho é o nível de exercício que maximiza o valor da opção
 - Na expiração é como no caso da opção européia ($V^* = K$)
- ◆ Opções americanas são em geral resolvidas numericamente (EDP) ou em aproximações analíticas usando relações como:
opção americana = opção européia + prêmio de exercício antecipado
 - ➔ Valor da opção americana $\geq$ valor da opção européia
 - ➔ Se $\delta = 0 \Rightarrow$ valor da opção de compra americana = opção européia
- ◆ Opção de *compra* americana: uma condição necessária para ser ótimo o exercício antecipado é $\delta > 0$, onde $\delta = \text{dividend yield}$.
 - ➔ Essa propriedade é muito importante em opções reais. Será provada.

Opções Americanas e Européias: Limites

- ◆ A opção **americana** de compra (C) e a de venda (P) têm os seguintes limites inferiores, indicados pelas desigualdades:
 - $C(t) \geq \text{Máx}[0, V(t) - K]$, para qualquer $t \in [0, T]$
 - $P(t) \geq \text{Máx}[0, K - V(t)]$, para qualquer $t \in [0, T]$
 - A prova é óbvia, pois seu valor é sempre não negativo (já que não é obrigado a exercer a opção) e vale pelo menos o seu valor intrínseco, já que pode ser exercida a *qualquer momento* ganhando esse payoff.
- ◆ Já a opção **européia** de compra (c) e a de venda (p), podem valer menos que seu valor intrínseco, antes da expiração.
- ◆ Vimos que uma opção americana vale tanto ou mais que uma opção européia, por poder fazer tudo que a última faz e ter o direito adicional de exercício antecipado. Logo, $C \geq c$; $P \geq p$
- ◆ O direito adicional de exercício antecipado só valerá zero se nunca for ótimo o exercício antecipado da opção.
 - No caso da opção de compra C, isso ocorre para $\delta = 0$ (provaremos agora). No caso da opção de venda P, isso ocorre para $r = 0$.

Prova: Exercício Antecipado Não É Ótimo se $\delta = 0$

- ◆ Para provar que nunca é ótimo exercer antecipadamente ($t < T$) uma opção americana de compra C escrita sobre V com $\delta = 0$, primeiro temos de provar que vale a seguinte desigualdade p/ uma opção *européia* de compra $c(t)$ se V não paga dividendos:

- $c(t) \geq \text{Máx}[0, V(t) - K e^{-r(T-t)}]$, para qualquer $t \in [0, T]$ (*)

- ou $c(t) > \text{Máx}[0, V(t) - K e^{-r(T-t)}]$, para qualquer $t < T$

→ A segunda inequação assume que V é estocástico e *pode* ocorrer $V(T) > = < K$.

- ◆ Iremos provar a inequação (*) comparando dois portfólios:

- Portfólio **A**: consiste de uma unidade do ativo básico $V(t)$.
- Portfólio **B**: uma opção de compra européia $c(t)$ mais um título de renda fixa que vale hoje $K e^{-r(T-t)}$.
- Na data de expiração T , pode ocorrer um dos dois casos para V :
 - $V < K$: nesse caso o portfólio A vale V e o portfólio B vale K (ganho dos juros; $c(T) = 0$). Como $V < K$, o **portfólio B vale mais que o portfólio A**; e
 - $V \geq K$: nesse caso o portfólio A vale V e o portfólio B também vale V .
- Logo, o portfólio B vale mais que o portfólio A $\Rightarrow c + K e^{-r(T-t)} \geq V \Rightarrow c(t) \geq V(t) - K e^{-r(T-t)}$, provando (*).

Prova: Exercício Antecipado Não É Ótimo se $\delta = 0$

- Note no slide anterior que **se V pagasse dividendos** ($\delta > 0$), então **não poderíamos afirmar nada** pois o portfólio A valeria $V + \delta V$, que é maior que o valor do portfólio B ($= V$) no caso de $V > K$.

- ◆ Agora podemos provar que se o ativo básico V não paga dividendos ($\delta = 0$), nunca será ótimo exercer antecipadamente ($t < T$) uma opção americana de *compra* C .

- Como $C(t) \geq c(t)$ e dado a inequação provada no slide anterior, vem:

- $C(t) \geq V(t) - K e^{-r(T-t)} > V(t) - K$, p/ $t < T$ e assumindo que $r > 0$

→ Alternativamente, p/ $t < T$, mesmo que $r = 0$ temos $C(t) > V(t) - K$ se assumir que $V(T)$ é estocástico (i.é, pode ocorrer $V < K$ em T). Prova?

- Se para todo $t < T$ a opção C “viva” (sem exercer) vale sempre mais que o valor obtido exercendo a mesma, então não vale nunca a pena exercer a opção antecipadamente (em $t < T$). **c.q.d.**

- Nesse caso ($\delta = 0$) o direito adicional não tem valor $\Rightarrow C(t) = c(t)$.

- ◆ Já para uma opção americana de *venda* P , pode valer a pena o exercício antecipado, mesmo que o ativo básico V tenha $\delta = 0$.

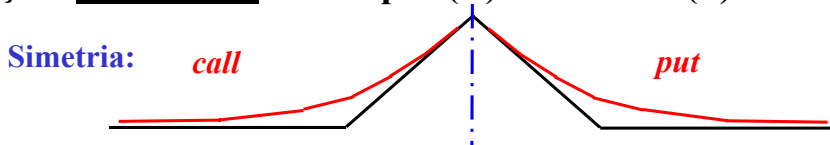
- No caso da opção americana de *venda*, o exercício *antecipado* nunca é ótimo se $r = 0$.

Paridade/Simetria de Opções Americanas

- ◆ Na literatura é muito conhecida (ex.: ver Hull) a paridade entre as opções européias “call” (c) e “put” (p), com mesmo preço de exercício K e com mesma expiração T e dado o preço inicial V_0 :

$$c - p = V_0 e^{-\delta T} - K e^{-r T}$$

- ◆ Menos conhecido é a simetria (um tipo de paridade) entre as opções americanas de compra (C) e de venda (P):



- Tanto no caso das opções européias como americanas, a relação de paridade/simetria permite que um software que resolva opções de compra, automaticamente resolva opções de venda e vice-versa
 - ➔ No caso das opções americanas isso se dá através duma *permutação* específica dos dados de entrada (V com K e r com δ).
 - ➔ Por ex., para calcular a *call* americana dado um software que calcula *put*:

$$C(V, K, r, \delta, \sigma, \tau) = P(K, V, \delta, r, \sigma, \tau)$$

Paridade/Simetria de Opções Americanas (2)

- ◆ O gatilho de uma call V^* dado o gatilho da put V^{**} é:

$$V^*(K, r, \delta, \sigma, \tau) = \frac{V \cdot K}{V^{**}(V, \delta, r, \sigma, \tau)}$$

- ◆ Existe uma relação de simetria ainda mais geral

- Relação válida para o mesmo tempo de expiração τ e para o mesmo grau de lucratividade $V_c/K_c = K_p/V_p$

$$P(V_P, \tau; K_P, r, \delta) = \sqrt{\frac{V_P K_P}{V_C K_C}} C(V_C, \tau; K_C, \delta, r)$$

Cálculo do gatilho é igual: $\sqrt{V^*(K_C; \delta, r) V^{**}(K_P; r, \delta)} = \sqrt{K_C K_P}$

Onde: V_C e V_P = valores das ações sobre as quais estão escritas as opções de compra e de venda, respectivamente.

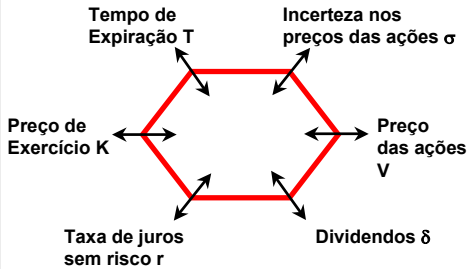
K_C e K_P = preços de exercício das opções de compra e de venda, respectivamente.

V^* e V^{**} = valores de gatilho das opções de compra e de venda, respectivamente.

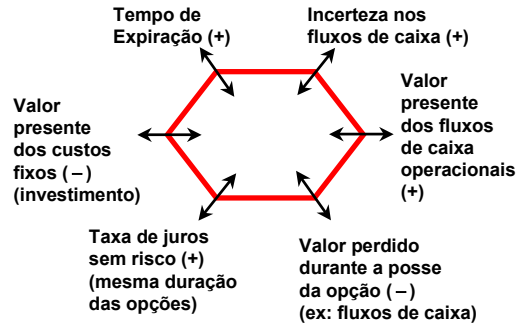
Analogia Opções Financeiras x Reais

- ◆ Os seis parâmetros usados na equação de Black-Scholes & Merton e em opções americanas call, tem a seguinte analogia com opções reais:

◆ Opções financeiras



◆ Opções reais



- OBS: Entre parênteses está mostrado o efeito da sensibilidade do valor da opção

- ◆ O tempo de expiração pode ser perpétuo (terreno) ou finito; estipulado por lei (petróleo, patente) ou estimado em função da concorrência

Opções Financeiras x Opções Reais

- ◆ Nas opções reais, os ativos básicos são do tipo não-financeiros ou “reais” ou “produtivos”

- Exs.: projeto de produção de petróleo; de açoes planos; de uma novela de TV; de um remédio; etc.

- ◆ As analogias entre opções financeiras e reais tem de respeitar as diferenças entre as duas:

- Tipicamente as opções financeiras são de curto prazo (< 1 ano) enquanto que as opções reais podem ser até perpétuas.
- Ativos financeiros, tais como as ações, não podem ter valores negativos. Um projeto pode ter valor negativo.
- Opções reais são mais complexas que as financeiras: preço de exercício pode ser incerto; é comum ter opções reais compostas; presença de incertezas técnicas além da incerteza de mercado; e interações estratégicas com outras firmas.
- No exercício de opções reais existe o tempo de construção.

Analogia Opção Financeira-Opção Real

- ◆ Uma diferença entre o caso financeiro e o caso de projeto, é que no segundo caso existe o “tempo de construção” (não se obtém o ativo imediatamente)
 - Isso pode ser considerado usando o valor presente do invest.
 - Existem modelos mais sofisticados de tempo de construção
- ◆ O cálculo de δ (taxa de distribuição de fluxo de caixa):
 - Média das razões anuais entre o fluxo de caixa e o valor do projeto (FC_t/V_t) (ex.: aluguel de imóvel/seu valor)
 - Em petróleo e recursos minerais tem de considerar a depleção da jazida. Usa-se aqui também o *convenience yield*.
- ◆ Valor do projeto implantado (V):
 - É a melhor *estimativa de mercado* para V. Ela pode ser obtida observando valores correntes do mercado (preço de um imóvel, preço de uma reserva desenvolvida de petróleo) ou, na falta de valor direto do mercado, pelo FCD (fluxo de caixa descontado) com a taxa de desconto apropriada.

Principais Características de uma Decisão de Investimento



- ◆ Algumas características importantes na tomada de decisão de investimentos ou de alocação de recursos:
 - ➔ Irreversibilidade parcial ou total: o comprometimento de recursos (investimento) é em geral irreversível
 - ➔ Sujeito a incertezas diversas (especialmente nos benefícios)
 - ➔ Graus de liberdade gerencial (opções) especialmente o “**timing**”: em geral não se é obrigado a investir imediatamente. Raramente uma oportunidade é do tipo “agora ou nunca”
- ◆ As palavras chaves são:
Irreversibilidade, Timing e Incerteza

Irreversibilidade

- ◆ Irreversibilidade pode ser *total* (ex.: perfuração de um poço) ou *parcial* (aquisição de um torno)
- ◆ Conceito vem da literatura de economia ambiental (artigos de Arrow & Fischer, e de Henry, ambos de 1974)
- ◆ Valoriza a espera antes de fazer uma ação irreversível: a espera é reversível
- ◆ Conceito se aplica a decisões sociais/políticas e até individuais (ex.: casamento, divórcio, suicídio)
- ◆ Negociação: se você tiver dúvida se deve ou não abrir uma informação, não abra!
 - A abertura da informação é irreversível. A espera é reversível, você sempre tem a *opção* de dar a informação depois.

Timing: Tempo de Expiração da Opção

- ◆ Raramente um investimento é do tipo “agora-ou-nunca”. Pode-se esperar e observar o mercado.
- ◆ Em P & D, as patentes tem uma duração estabelecida pela lei. No Brasil a duração é de 20 anos, depois cai em domínio público.
 - Um *desenho industrial* tem proteção de 10 + 15 anos (prorrogação)
- ◆ No caso de concessões de exploração de petróleo é estabelecida em lei (geralmente de 5 a 10 anos)
 - No caso de regime de monopólio do petróleo, o tempo era infinito (oportunidade perpétua). Agora é até 9 anos.
- ◆ Concessões de longa duração (> 10 anos) geralmente podem ser tratadas como opções perpétuas. Ex.: direitos autorais (lançar um disco dos “maiores sucessos”), vida do autor + 70 anos.
- ◆ Em muitos casos o tempo é estimado considerando a entrada de novos concorrentes que podem até destruir sua opção de investimento (Kester, 1984).

Tipos de Incertezas

- ◆ **Incerteza Econômica: Correlacionado aos Movimentos Gerais da Economia.**
 - ➡ Valoriza a Espera por Informações Externas (“learning by waiting”).
Ex: preço do petróleo; câmbio; juros; demanda de aço.
- ◆ **Incerteza Técnica: Não Correlacionado aos Movimentos Macroeconômicos.**
 - ➡ Incentiva o investimento seqüencial, para revelar o verdadeiro cenário e reduzir a variância da incerteza (“learning by doing”).
 - ➡ Ex.: Volume de petróleo na jazida (reserva); Custo de projeto de P&D.
- ◆ **Incerteza Estratégica: Relacionado à ação de outras empresas no mercado.**
 - ➡ Pode tanto incentivar como adiar os investimentos.
 - ➡ Ex.: leilões de privatização/concessões; ameaça de entrada de concorrentes (ou de substitutos); jogo da espera na exploração e/ou revelation; timing-games em P&D.

MATERIAL ANEXO

Os anexos nos materiais do curso contém slides que reforçam os conceitos teóricos e, em alguns casos, apresentam exemplos adicionais que não serão discutidos em sala de aula, mas que podem ser úteis para um melhor entendimento de conceitos apresentados.

Quando as Opções Reais São Mais Valiosas

◆ A flexibilidade (opções reais) tem mais valor quando:

- Grande incerteza em relação ao futuro
 - ➔ Grande chance de obter novas informações relevantes ao longo do tempo. Informações podem ser obtidas a um custo ou grátis.
- Muito espaço para a flexibilidade gerencial
 - ➔ Permite à gerência responder adequadamente a esta nova informação (exs.: investindo numa capacidade mais adequada; expandir ou contrair o projeto; etc.)
- O VPL sem flexibilidade está próximo de zero
 - ➔ A opção (flexibilidade) de mudar os rumos do projeto tem mais chance de ocorrer nesse caso

◆ Sob as condições acima, a diferença entre o VPL e o valor de opções reais é substancial (Tom Copeland)

Teorias e Ferramentas Tradicionais

◆ CAPM: taxas de desconto ajustadas ao risco

- Teoria é válida mas insuficiente e mais restritiva
- Problemas práticos: cálculo do(s) beta(s)
- Taxas de desconto podem variar na presença de opções

◆ Simulação de Monte Carlo

- Ferramenta de simulação, não é de otimização
 - ➔ Simulação é “forward”, otimização é “backward”.
 - ➔ Precisa de otimizador ou algoritmo complementar de otimização
- Calcula valor esperado e distribuição de probabilidade
- Tem sido cada vez mais usada no cálculo de opções reais
 - ➔ MC + otimização para opções *americanas* é tema relativamente recente

◆ Árvore de Decisão

- Explicita as ações gerenciais e as incertezas
- Com a correta taxa de desconto + probabilidades, é a teoria das opções em *tempo discreto*. Se resolve “backwards”.

Recordação de Taxa de Desconto

- ◆ Num mercado em equilíbrio, risco e retorno são ligados
 - A taxa ajustada ao risco é o retorno esperado (ou exigido) pelos acionistas. Quanto maior o risco *sistemático* (risco correlacionado com a economia), maior é o retorno exigido pelo mercado.
 - Em mercados competitivos, qualquer redução desse risco é compensada por uma redução do retorno
- ◆ A taxa ajustada ao risco é composto de duas parcelas, a taxa livre de risco r_f (ajuste do valor do dinheiro no tempo) mais uma parcela de prêmio de risco, conforme o CAPM (Capital Asset Pricing Model):

$$\mu = r_f + \beta (r_m - r_f)$$

Prêmio temporal
(adiamento de consumo)Prêmio de risco

Fatores Que Afetam o Valor da Opção

- ◆ Como varia as opções de compra e de venda se variar (*ceteris paribus*) os parâmetros da fórmula de B&S&M?

Fator	Efeito na Opção de Compra	Efeito na Opção de Venda
Aumento de V (valor da ação)	Aumenta	Diminui
Aumento de K (preço de exercício)	Diminui	Aumenta
Aumento da Volatilidade	Aumenta	Aumenta
Aumento do Tempo de Expiração	Aumenta	Aumenta
Aumento na Taxa de Juros	Aumenta	Diminui
Aumento nos Dividendos Pagos	Diminui	Aumenta