

# 1

## Introdução

### 1.1

#### Considerações Gerais

Durante a última década do século passado, o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) passou por um grande processo de reestruturação, saindo de uma situação de monopólio estatal (em sua quase totalidade, onde reinavam empresas estaduais e federais) para uma de desestatização, que aconteceu em paralelo com essa reestruturação (Gomes et al, 2005).

Com a privatização de vários agentes o mercado aproximou-se mais da livre competição (embora isso não ocorra totalmente), pois é através da interação desses agentes que se formam os preços praticados no mercado.

As crises energéticas ocorridas no início do século XXI fizeram com que durante os anos de 2003 e 2004 o Governo Federal lançasse as bases de um novo modelo para o SEB, sustentado pelas Leis nº 10.847 e nº 10.848, de 15 de março de 2004; e pelo Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004.

Uma particularidade do mercado de energia elétrica no Brasil na atual configuração é que não existe um preço de mercado de curto prazo, propriamente dito, que seja fruto das interações entre os agentes. O que existe é um preço que serve para a liquidação das diferenças entre carga demandada e carga efetivamente consumida, devidas à impossibilidade de previsão da demanda, por parte desses agentes. Esse preço, calculado com base nos custos operacionais das usinas térmicas e hidroelétricas do SEB, é chamado de Preço de Liquidação de Diferenças (PLD) e além de ser útil para a liquidação financeira dos excessos e faltas de eletricidade dos usuários serve também de base para o apreamento dos contratos derivados da energia elétrica no Brasil.

Em se tratando de uma commodity – termo usado como referência aos produtos de base em estado bruto (matérias-primas) ou com pequeno grau de industrialização, de qualidade quase uniforme, produzidos em grandes quantidades e por diferentes produtores – muito embora com uma dinâmica diferente das outras, vale a pena observar seu comportamento especial em um mercado onde o livre comércio há muito tempo rege o mercado (mesmo que essa regra não se aplique ao mercado de energia elétrica no Brasil) e compará-lo com o comportamento de outras commodities nesse mesmo mercado.

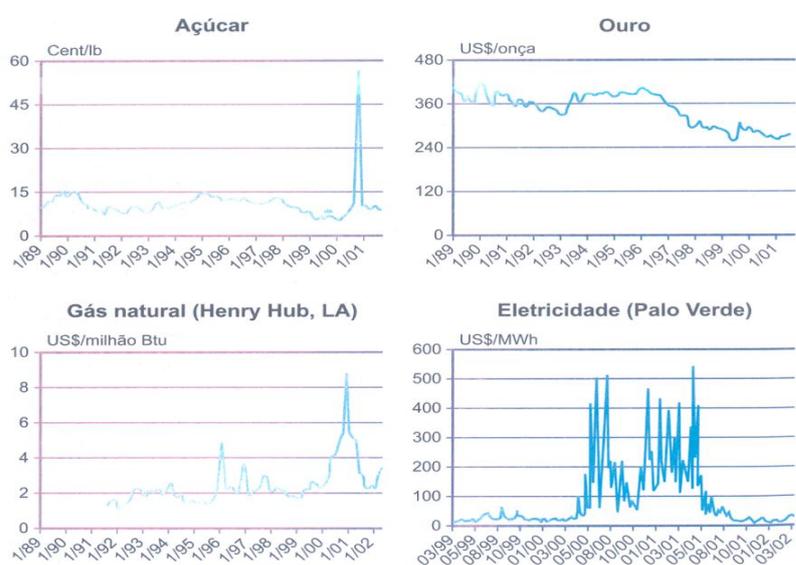


Figura 1.1 - Preços de Curto Prazo de Algumas Commodities

Fonte: Mayo (2009)

Uma análise da Figura 1.1 comprova, ao menos à primeira vista, a dinâmica particular da commodity energia elétrica ante as outras commodities apresentadas. Dessa figura podemos depreender ao menos três características principais dos preços spot da energia elétrica:

1. Estes são muito voláteis;
2. Existe um nível ao qual reverterem, com grande velocidade; e
3. Existem variações que se dão na forma de saltos do tipo *spike*, ou seja, saltos positivos elevados e com um rápido retorno à média de longo prazo.

No Brasil, as principais causas dessas características, que podem ser observadas empiricamente, são:

1. **Forte dependência das afluições nos rios** (que dependem basicamente dos níveis pluviométricos), dado que a geração no SEB é basicamente hidrelétrica;
2. **Forte intervenção dos órgãos reguladores** (Estado), que definem preços máximos e mínimos para a energia elétrica;
3. **Intervenções no modelo que estima o Custo Marginal de Operação (CMO)**, através dos Níveis Meta para os reservatórios dos submercados (porcentagem de armazenamento mínima no final do ano) e Curva Bianual de Aversão ao Risco (CAR), que será discutida na seção 2.5.1; e
4. A **não-estocabilidade da energia elétrica** diminui a possibilidade de regulação da oferta, pois o que é estocável é sua fonte (água ou combustíveis) e não a energia em si. Segundo Pinto Jr et al (2007) este fato tem duas implicações:
  - a. Como os despachos das usinas são programados antes do consumo, existe a necessidade de antecipação do comportamento da demanda para que se possa planejar o sistema para o curto, médio e longo prazo.
  - b. Sobre capacidade planejada, de produção e de transporte, devido às características da curva de demanda elétrica, com períodos de pico e de vale.
5. **Ocorrência ocasional de spikes**, que são mudanças repentinas (de curto prazo) no preço de um ativo, que retornam rapidamente a seu nível anterior, quando há uma estiagem prolongada, uma quebra na transmissão ou condições de demanda não usuais que fazem com que seja atingido o limite de capacidade do sistema. Quando o sistema volta a sua normalidade e/ou a demanda cai, o preço rapidamente retorna a níveis mais típicos.

## 1.2

### Motivação

No mundo moderno, com a criação de uma sociedade da informação, principalmente com advento da internet e o aumento da acessibilidade a computadores, tanto para empresas quanto para indivíduos, é elevada a probabilidade de se receber novas informações. Em uma empresa onde o consumo de energia, e o conseqüente gasto a ele relacionado, é uma preocupação primordial, é possível se ter informações praticamente em tempo real.

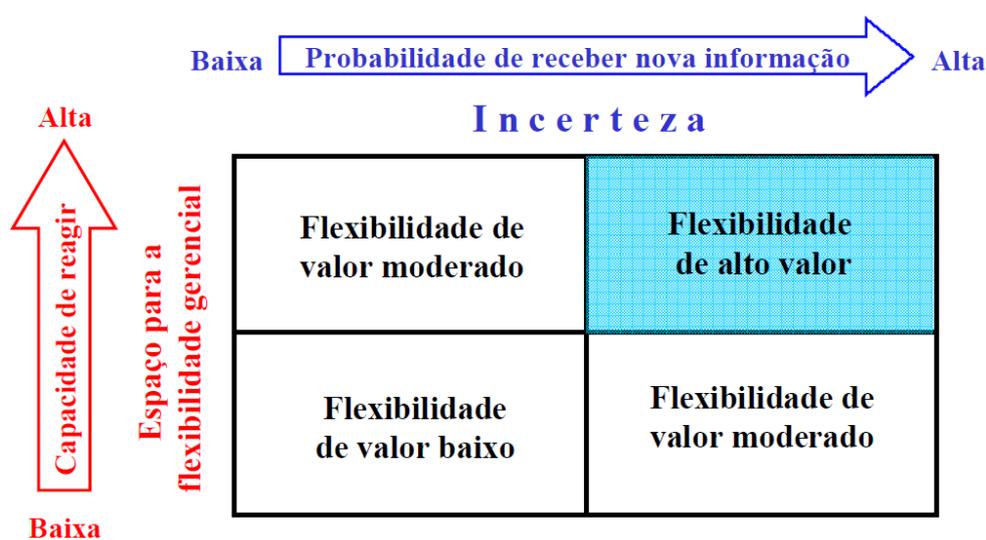


Figura 1.2 - Quando as Opções Reais são Valiosas - Incerteza x Flexibilidade

Fonte: Copeland e Antikarov (2001)

E é nesse contexto que inserimos a Teoria das Opções Reais (TOR). Uma análise da Figura 1.2 mostra que os projetos de energia elétrica se encontram justamente no quadrante onde a utilização da TOR é mais indicada, dada a alta probabilidade de recepção de novas informações e a, também elevada, flexibilidade dos projetos que envolvam energia elétrica, como a possibilidade de troca de ambiente de contratação (Regulado ou Livre), a escolha da quantidade solicitada junto ao gerador (dentro de um limite especificado em contrato), entre outras.

### 1.3

#### Objetivos

A presente dissertação possui os seguintes objetivos:

- O1. Apresentar o SEB, as transformações que ocorreram no sistema principalmente a partir do início da década de 90 e as empresas que nele atuam, assim como discutir o panorama da comercialização de energia no Brasil, de forma a contextualizar o leitor e servir de base para a compreensão do meio onde são negociados os contratos de energia elétrica;
- O2. Entender a formação dos preços da energia elétrica no mercado à vista (Spot Price Marketing – no Brasil conhecido como PLD), em um sistema basicamente hidrotérmico, como no caso brasileiro;
- O3. Construir um modelo para os preços à vista da energia elétrica (na figura do PLD) que capte as principais características dessa commodity e sirva de base para o cálculo de opções reais geradas pelas flexibilidades existentes em seus contratos;
- O4. Resolver o problema estilizado de um consumidor de energia elétrica, que detém uma opção real, devido à flexibilidade de compra ou de venda de um percentual da energia contratada existente em um acordo firmado com um gerador.

### 1.4

#### Metodologia

Esse trabalho se valerá de um poderoso ferramental teórico para atingir seus objetivos. Esse arsenal é composto da Teoria de Opções Reais (TOR), do Método (ou Simulação) de Monte Carlo (MMC) e da Programação Dinâmica (PD).

### 1.4.1

#### Teoria das Opções Reais

A visão clássica de finanças sobre o investimento corporativo é a de que as empresas somente devem investir em projetos quando a expectativa de retorno for maior que a taxa mínima de atratividade (custo de oportunidade do capital). De acordo com essa visão, a taxa interna de retorno (TIR) e o valor presente líquido (VPL) são as ferramentas mais usadas na análise de oportunidade de investimento.

Essas técnicas utilizam fluxos de caixa esperados dos projetos e taxas ajustadas ao risco. O VPL é considerado como ferramenta mais robusta por evidenciar a criação de valor para o acionista, e permitir a priorização de projetos em decisões que envolvam a escolha entre múltiplas oportunidades de investimentos.

É possível supor que ao término de determinada avaliação um analista conclua com base em projeções que o VPL seja positivo. Admitindo que não existam outras oportunidades de investimento a serem analisadas, e que o projeto atenda às restrições orçamentárias dos investidores, a decisão determinada pela técnica do VPL seria a de investir. Em muitos casos, porém, mesmo com VPL positivo, os investidores não tomam a decisão de investimento imediatamente.

Ao contrário, há situações nas quais o investimento é feito mesmo quando o VPL indica a inviabilidade (VPL negativo). Essas situações evidenciam que muitos investidores consideram o VPL incapaz de incorporar todos os fatores estratégicos que deveriam ser levados em conta na tomada de decisão de investimentos.

Para o melhor entendimento do exposto anteriormente, vale pôr como hipótese adicional no caso onde o VPL foi positivo, que o projeto estivesse relacionado a algum tipo de flexibilidade operacional. O detentor dessa flexibilidade teria, por exemplo, a possibilidade de escolher entre dois ou mais combustíveis diferentes para gerar energia elétrica. Suponha, também, que o início das operações poderia ser efetuado imediatamente, ou postergado. O investidor, nessa situação, poderia julgar mais interessante esperar informações novas

provenientes do mercado para investir com maior segurança (com maior margem de segurança ou menor nível de incerteza). O balanço feito pelo investidor entre a espera e o investimento imediato, também deveria considerar os possíveis fluxos de caixa perdidos pelo atraso no início do projeto.

O exemplo para aplicar o segundo caso - VPL negativo - seria o do investidor que tem a possibilidade de investir em um projeto piloto. Considerando que este investidor não possui o nível adequado de informação, supõe-se que ele opte inicialmente por investir em um projeto reduzido, mesmo que com a perspectiva seja de VPL negativo, pois este não teria escala suficiente para diluição dos custos fixos. Como justificativa para esta decisão tem-se a possibilidade de ampliação futura do projeto caso o mercado demonstrasse condições favoráveis, o que significaria ao projeto a condição de VPL positivo. Em contrapartida, caso desde o início tivessem sido efetuados investimentos no projeto completo e o mercado não se demonstrasse favorável, o prejuízo maior seria inevitável por causa da irreversibilidade total ou parcial dos investimentos realizados.

Em situações como essas, nas quais foram identificadas incerteza elevada e boa flexibilidade da ação gerencial, é possível perceber que as regras clássicas de avaliação podem fornecer respostas incompletas para a decisão sobre investimentos. É nesse contexto que se faz necessária a busca por outro tipo de ferramental que contemple o processo de otimização das escolhas gerenciais em ambientes de incerteza. Esse ferramental é o método de avaliação de opções reais.

O método de avaliação por opções reais é aquele que considera o Valor Presente dos fluxos de caixa futuros gerados por ativos reais (projetos), contingentes ao exercício de otimizações determinadas por meio do uso de alternativas estratégicas em todos os possíveis estados da natureza e ao longo do tempo de vida do projeto. O objetivo dessas otimizações - uso de opções estratégicas - é a maximização do valor para o acionista, condicional ao estado da natureza que se revele no futuro.

O conceito-chave para o surgimento das opções reais é a flexibilidade associada à incerteza. Nos casos onde não houver, ou for baixa, a mobilidade gerencial para alterar características do projeto, ou ainda níveis de incerteza que justifiquem o exercício desta flexibilidade, o valor encontrado pelo método das opções reais não deverá ser significativamente distinto àquele obtido por métodos clássicos.

A TOR será a ferramenta utilizada para o cálculo do valor da flexibilidade do objetivo O4.

#### **1.4.2**

#### **Método de Monte Carlo**

O Método (ou Simulação) de Monte Carlo (MMC) consiste de um método estatístico utilizado em simulações estocásticas com aplicações em diversas áreas científicas. A partir da geração de observações de determinadas distribuições de probabilidade, o MMC propicia a obtenção de aproximações numéricas de funções complexas, permitindo a observação do desempenho de variáveis de interesse em função do comportamento de variáveis que encerram elementos de incerteza.

O método de Monte Carlo pode ser utilizado para simulação das possíveis trajetórias das variáveis que compõem o fluxo de caixa de um empreendimento, possibilitando determinar estimativas de resultados e consequentes otimizações condicionadas aos cenários que se descortinem no futuro. Desta forma, o MMC simplifica a avaliação das Opções Reais complexas, por tornar desnecessária a definição das equações diferenciais para descrição do comportamento do valor do ativo no tempo, permitindo que os processos estocásticos das fontes de incerteza dos projetos sejam simulados de forma direta e simultânea. Comumente em Opções Reais é efetuada a simulação neutra ao risco dos processos estocásticos.

Um ponto negativo do método, porém, é o alto custo computacional em termos de tempo, determinando muitas vezes que soluções alternativas sejam preferíveis para caso de opções mais simples, como, por exemplo, quando houver a possibilidade de determinação de solução analítica para a opção.

Segundo Dias (2011d), até 1993 o MMC era utilizado somente na solução de opções europeias e posteriormente, em função do surgimento de métodos de otimização acopláveis o MMC, passou a ser possível a avaliação de opções americanas.

Como nesse trabalho pretendemos apenas entender a dinâmica do PLD como balizador dos contratos derivados da eletricidade, usaremos MMC baseado em dados históricos para a previsão dos preços da energia.

### 1.4.3

#### Programação Dinâmica (PD)

Programação dinâmica é um método para a construção de algoritmos para a resolução de problemas computacionais, em especial de otimização combinatória. É aplicável a problemas nos quais a solução ótima pode ser computada a partir da solução ótima previamente calculada e memorizada – de forma a evitar recálculo – de outros subproblemas que, sobrepostos, compõem o problema original.

Para que a programação dinâmica seja aplicável, um problema de otimização deve apresentar duas características: **subestrutura ótima e superposição de subproblemas**.

Um problema apresenta uma subestrutura ótima, quando uma solução ótima para o problema contém em seu interior soluções ótimas para subproblemas.

A superposição de subproblemas acontece quando um algoritmo recursivo reexamina o mesmo problema muitas vezes.

A ideia-chave por trás da programação dinâmica é bastante simples. Em geral, para resolver um determinado problema, precisamos resolver as diferentes partes do problema (subproblemas), e em seguida, combinar as soluções dos subproblemas para alcançar uma solução global. Muitas vezes, esses subproblemas são os mesmos. A abordagem de programação dinâmica procura

resolver cada subproblema uma única vez, reduzindo assim o número de cálculos. Isto é especialmente útil quando o número de subproblemas de repetição é exponencialmente grande.

A Programação Dinâmica, em si, não será usada como ferramenta nesta dissertação, entretanto, é de fundamental importância no cálculo do PLD.

## 1.5

### Revisão Bibliográfica

Em muitos países industrializados, o consumo de eletricidade vem crescendo nos últimos anos. Dadas a recente volatilidade dos preços da energia e a preocupação acerca das mudanças climáticas devidas às emissões de gases do efeito estufa na atmosfera, grandes usuários de eletricidade estão expostos a riscos financeiros e políticos em se mantendo consumidores passivos de energia elétrica.

Devido às privatizações ocorridas no setor os participantes do mercado estão mais expostos às incertezas dos preços, em contrapartida, têm um papel mais atuante na segurança do fornecimento e na proteção contra suas variações (Wilson, 2002).

Alguns trabalhos recentes têm usado a abordagem de OR para tratar as incertezas e ajudar na tomada de decisões sobre administração de riscos, escolha do melhor momento para investir e para a escolha da melhor tecnologia, sobre incerteza de preços (Maribu et al., 2007), (Maribu e Fleten, 2008) e (Siddiqui e Maribu, 2009).

A Teoria das Opções Reais (TOR) apresenta uma alternativa às ferramentas clássicas de análise econômica de projetos, como Valor Presente Líquido (VLP) e Taxa Interna de Retorno (TIR). O termo “*real options*” foi usado pela primeira vez em Myers (1977), apenas alguns anos após a publicação dos artigos de Black & Scholes (1973) e Merton (1973) sobre valoração de opções financeiras. Myers (1977) caracterizou as oportunidades de investimento das firmas em ativos reais, como projetos de investimento, como sendo análogas a opções de compra sobre esses ativos reais. Assim, a TOR reconhece e valoriza o

fato de as firmas terem o direito (e não a obrigação) de investir em um projeto. Tourinho (1979) foi o primeiro a aplicar a teoria de opções para valorar reservas de recursos naturais.

O salto dado pela teoria de finanças na década de 70 através da teoria das opções possibilitou grandes avanços na teoria de finanças corporativas, como algumas contribuições que foram reconhecidas com o Prêmio Nobel de Economia em 1990. Foram laureados Markowitz – pela teoria do portfólio –, Miller – pelas proposições de Modigliani e Miller sobre estrutura de capital e Sharpe – pela teoria de apreçamento de ativos de capital, conhecida mundialmente como Capital Asset Pricing Model (CAPM) desenvolvida, independentemente, por Sharpe, Lintner e Mossin, baseados no trabalho de Markowitz.

As bases para a teoria das opções começaram na década de 60 quando Samuelson (1965), com ajuda de McKean, introduz o cálculo estocástico em finanças e deduz a condição de exercício ótimo da opção Americana perpétua, condição, suficiente para o exercício ótimo da opção, hoje é conhecida por smooth-pasting condition.

O professor Marco Antonio Guimarães Dias em sua tese de doutorado (Dias, 2005) lista os artigos de OR mais citados durante as décadas de 80 e 90, os principais livros-texto e de coletâneas de artigos sobre o assunto. Dentre eles não se pode deixar de citar os livros de Dixit e Pindyck (1994) – livro pioneiro de OR, com foco em métodos em tempo contínuo (equações diferenciais) –, Trigeorgis (1996) – livro mais abrangente, com valoração tanto em tempo contínuo quanto em tempo discreto – e Copeland e Antikarov (2001) – livro com foco mais quantitativo e prático, sendo primeiro livro de OR traduzido para o português.

Já na área de energia elétrica, Crookes (1999) cita como principais derivativos os contratos futuros e a termo, opções e swaps e define *hedge* como a tomada de posição por meio de um instrumento financeiro ou não para minimização de risco, se protegendo de possíveis movimentos adversos dos preços da energia, das taxas de juros, índices e etc.

Para a modelagem dos preços de mercado de energia elétrica tem sido usado um ponto de vista financeiro usando séries históricas de preços. Os modelos mais famosos são os modelos de dois fatores de Schwartz (1997), de Pilipovic (1997) e de Schwartz e Smith (2000) que levam em conta a estrutura a termo dos preços da energia elétrica e sua volatilidade. Johnson e Barz (1999) fazem uma seleção do processo estocástico que melhor se adéqua às propriedades dos preços da eletricidade – reversão à média, com: efeitos sazonais, volatilidade dependente dos preços e spikes ocasionais de preços.

Um modelo simplificado, que também inclui componentes sazonais, de reversão à média e de difusão com saltos é proposto por Mayo (2009). Um propósito mais operacional requer uma análise mais minuciosa de curto prazo, como em Lucia e Schwartz (2002) e Villaplana (2003).

Em 1949, N. Metropolis e S. Ulam escreveram o primeiro artigo sobre o Método (ou Simulação) de Monte Carlo (MMC) (Metropolis e Ulam, 1949), e com o advento dos primeiros computadores nesta década, diferentes áreas passaram a usar MMC para a resolução de problemas complexos.

No presente trabalho o MMC será de suma importância para a simulação dos PLDs, dado que este método resolve o problema pela simulação direta do processo, não sendo necessário lançar mão do Lema de Itô.

O MMC é popular para apreçar derivativos complexos e é largamente utilizado para a avaliação de Opções Reais, pois é eficaz para a resolução de opções do tipo americana (Averbukh, 1997) e permite o uso das mais avançadas técnicas de amostragem, aumentando velocidade de simulação e acurácia (Berman, 1996). É uma ferramenta flexível para manusear vários detalhes específicos de problemas da vida real, incluindo problemas com várias restrições (condições de fronteira e outras), estrutura complexa de payoffs e problemas com várias fontes de incertezas. Em seu artigo J. Putney (Putney, 1999) usa MMC para o apreçamento de derivativos de eletricidade.

## 1.6

### Organização do Trabalho

Além desta introdução, essa dissertação conta com os seguintes capítulos:

- Capítulo 2 – Apresenta o Setor Elétrico Brasileiro (SEB), suas modificações e os resultados dessa nova configuração. Apresenta também as instituições do SEB. Discorre sobre o panorama da comercialização de energia no Brasil. E, por fim, discute a formação dos preços a vista da energia elétrica no mercado de curto prazo brasileiro, o PLD.
- Capítulo 3 – Cria o modelo que será utilizado no apereçamento das OR, levando em consideração as principais características da energia elétrica, apresenta os processos estocásticos usados para a criação do modelo, a modelagem dos preços da eletricidade em si, a estimação dos parâmetros do modelo e discute a aderência do modelo às séries temporais de preço spot de energia elétrica;
- Capítulo 4 – Apresenta algumas flexibilidades que podem existir em contratos de energia elétrica. Apresenta um consumidor cujas necessidades de eletricidade são supridas por um contrato estilizado de compra de energia, e para este, calcula-se o valor opção real de alteração parcial da quantidade fornecida em um dado período;
- Capítulo 5 – Apresenta as principais conclusões e oportunidades para trabalhos futuros; e
- Capítulo 6 – Apresenta as referências bibliográficas utilizadas neste trabalho e a bibliografia utilizada, mas não explicitamente citada nesta dissertação.