

1 Introdução

1.1. Motivação

As decisões econômicas de investimento, como adquirir novos equipamentos, aumentar a força de trabalho ou desenvolver novos produtos, bem como a avaliação econômica de projetos, são afetadas por incertezas econômicas, incertezas técnicas e pelas flexibilidades gerenciais embutidas nos projetos. A incerteza econômica deve-se a fatores externos ao projeto, sendo geralmente representada pelas oscilações estocásticas do preço do produto e pelos custos. A incerteza técnica deve-se a fatores internos, como a incerteza sobre o tamanho da produção e o desempenho dos projetos em função do emprego de tecnologia. As flexibilidades gerenciais embutidas nos projetos dão liberdade ao gerente para tomar decisões, tais como investir, expandir, parar temporariamente ou abandonar um determinado projeto. Estas flexibilidades são denominadas opções reais. Se alguma destas possibilidades for ignorada na análise econômica, pode ocorrer uma sub-avaliação do projeto, levando a erros irreversíveis na tomada de decisões. Portanto, a flexibilidade gerencial tem um valor que não é considerado pelas técnicas convencionais, tais como o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR).

As opções reais consideram, além das incertezas, a flexibilidade gerencial, e têm por objetivo maximizar o valor da oportunidade de investimento.

O cálculo do valor de uma opção real [1] [2], quando existem vários fatores de incerteza, pode ser feito mediante o uso de métodos de árvores binomiais ou diferenças finitas. Infelizmente, estes métodos são impraticáveis na avaliação de opções com mais de três fatores de incerteza. Já os métodos baseados em simulação Monte Carlo são apropriados, por ser esta uma técnica indicada para problemas de alta dimensionalidade ou parâmetros estocásticos. Todavia, apresenta um elevado tempo computacional devido ao processo iterativo que aumenta segundo o grau de precisão desejada. Dado o dinamismo das decisões

gerenciais, muitas vezes não se dispõe de muito tempo para a tomada de uma decisão. Deste modo, é importante agilizar o processo de simulação Monte Carlo sem perda da precisão desejada.

Além disso, é comum no processo de tomada de decisões de investimento ou de avaliação de projetos ter-se que escolher entre várias alternativas (opções), muitas delas mutuamente exclusivas. Neste contexto, é de grande ajuda para a gerência contar com uma regra de decisão ótima, e, segundo esta, tomar a decisão entre investir ou esperar por melhores condições.

1.2. Objetivos

Este trabalho tem por objetivo investigar e propor uma metodologia que, empregando técnicas da inteligência computacional e estatísticas, seja uma alternativa mais eficiente aos métodos convencionais na determinação do valor de opções reais na presença de incertezas técnicas e de mercado. Mais especificamente, este trabalho concentra-se no problema do cálculo do valor de uma opção real na presença de diversos tipos de incerteza por meio de simulação Monte Carlo, visando reduzir o tempo computacional da simulação, e na obtenção de uma regra de decisão ótima para o caso de alternativas de investimento mutuamente exclusivas.

1.3. Descrição da Tese

Esta pesquisa foi elaborada em seis etapas, especificadas a seguir:

1. **Um estudo sobre a teoria de opções reais.** Este estudo envolveu a pesquisa bibliográfica sobre a teoria de opções financeiras, como base para as opções reais [1] [2] [3], considerando os diferentes métodos existentes para o cálculo do valor da opção (árvores binomiais, diferenças finitas e os métodos que aplicam a simulação Monte Carlo [4] [5]).
2. **Um estudo de processos estocásticos.** Nesta etapa estudou-se os diferentes processos estocásticos utilizados para representar as incertezas de mercado (preço de uma *commodity*), como o movimento geométrico

Browniano [1] [6], processo de reversão à média e processos de reversão a média com saltos [7] [8].

3. **Um estudo dos métodos de redução de variância.** Este estudo foi realizado para melhorar o desempenho computacional da simulação Monte Carlo no que se refere à geração de números aleatórios. Especificamente foram consideradas as técnicas de amostragem estratificada (*Hypercube Sampling*) [9] [10] [11] e as técnicas de amostragem quase aleatória, conhecidas também como técnicas Quase Monte Carlo [8].
4. **Um estudo das técnicas de inteligência computacional.** O estudo das técnicas de inteligência computacional empregadas neste trabalho resultou em uma breve descrição sobre Algoritmos Genéticos [12] [13] [14] [15], descrevendo seus conceitos básicos, parâmetros e operadores genéticos, além de uma introdução aos conceitos básicos de Números *Fuzzy* [16] [17] [18] e da aritmética intervalar, a qual é usada como base para a definição dos operadores de números *fuzzy* [19] [20] [21] [22].
5. **A representação das incertezas técnicas por meio de números *fuzzy* triangulares.** Comumente as incertezas técnicas são representadas por distribuições de probabilidade triangulares; isto porque se desconhece o processo estocástico que as modelam, sendo conhecidos apenas os valores máximos, mínimos e os mais prováveis. Nesta tese, estas incertezas técnicas foram representadas por números *fuzzy* triangulares e, em conjunto com a simulação Monte Carlo, foi calculado o valor da opção real, visando reduzir o tempo computacional e obter uma boa aproximação do valor da opção real.
6. **A definição do modelo para obter uma regra de decisão ótima empregando algoritmo genético.** Nesta etapa definiu-se um modelo, baseado em simulação Monte Carlo e algoritmo genético para a obtenção de uma regra de decisão ótima de investimento considerando várias opções de investimento mutuamente exclusivas. Na definição deste modelo utilizaram-se funções logarítmicas e pontos livres para aproximar as curvas de gatilho de cada opção [23] [24] [25] [26].

1.4. Contribuições

As principais contribuições deste trabalho são:

- A definição de uma metodologia para determinar o valor de uma opção real que emprega Números *Fuzzy* [16] [17] [18] para representar determinados tipos de incerteza técnicas, processos estocásticos para representar as incertezas de mercado, e a simulação Monte Carlo com técnicas de amostragem quase aleatória (Quase Monte Carlo) para obter uma boa aproximação do valor da opção real, visando reduzir o tempo computacional e assim facilitar a tomada de decisões.
- A definição de um modelo para determinar uma regra de decisão ótima quando se têm várias opções de investimento mutuamente exclusivas, que emprega um Algoritmo Genético [12] [13] [14] e simulação Monte Carlo com técnicas de redução de variância.
- O desenvolvimento e teste de uma biblioteca de aritmética intervalar e de operações com números *fuzzy* implementada em C++ Builder.

1.5. Organização da Tese

Esta tese está dividida em mais seis capítulos, descritos a seguir.

O capítulo 2 resume a teoria de Opções Reais, descrevendo os tipos de opções reais mais comuns e os métodos de avaliação das opções.

No capítulo 3 é dado destaque às técnicas de inteligência computacional utilizadas neste trabalho: Algoritmos Genéticos e a Lógica *Fuzzy*. São descritos os conceitos básicos dos algoritmos genéticos, seus parâmetros e operadores genéticos. São apresentados também os conceitos básicos de conjuntos *fuzzy* e números *fuzzy*, a aritmética intervalar e as definições dos operadores sobre os números *fuzzy*.

O capítulo 4 descreve a metodologia proposta para o cálculo do valor de opções reais, fazendo uso de técnicas de inteligência computacional, unidas às técnicas estatísticas e à simulação Monte Carlo.

O capítulo 5 apresenta o primeiro estudo de caso, onde se emprega a metodologia proposta que usa números *fuzzy* para representar incertezas técnicas,

visando reduzir o tempo computacional da simulação Monte Carlo e obter uma boa aproximação do valor da opção real. Analisa-se o problema de avaliação de uma opção real de expansão em uma reserva de petróleo, considerando incertezas técnicas e de mercado (o tamanho da reserva a ser drenada, fator de declínio exponencial da vazão, fator de declínio exponencial da produção e o preço do petróleo).

O capítulo 6 apresenta o segundo estudo de caso, onde se faz uso da metodologia proposta que emprega números *fuzzy* para representar incertezas técnicas, visando reduzir o tempo computacional da simulação Monte Carlo e obter uma boa aproximação do valor da opção real. Analisa-se o problema de avaliação de uma opção real para o investimento em informação em uma reserva de petróleo considerando incertezas técnicas e de mercado (o tamanho da jazida de petróleo, a qualidade econômica da reserva e o preço do petróleo).

O capítulo 7 descreve o terceiro estudo de caso, onde se utiliza um algoritmo genético para a obtenção de uma regra de decisão ótima quando se têm várias opções de investimento mutuamente exclusivas para desenvolver um campo de petróleo.

O capítulo 8 apresenta as conclusões e a proposta de trabalhos futuros.