

1. Introdução

O mercado de gás natural (GN), em geral, tem suas vendas atreladas a contratos de longo prazo e com baixa liquidez. A racionalidade limitada dos agentes com o objetivo de prever as situações futuras ao longo da vida útil do contrato e as incertezas inerentes ao mercado fazem com que haja necessidade de flexibilidades no contrato para responder de forma eficiente a mudanças não previstas, no momento da contratação.

Nos mercados de energia, em particular, do GN, muitos contratos incorporam flexibilidades no volume a ser entregue, opções conhecidas como *swing*. Sujeitos a restrições, esses contratos permitem ao titular a opção de exercer o direito de receber volumes maiores ou menores do GN contratado de acordo com os preços de mercado, indicadores econômicos e a demanda. Através das opções de *swing* é possível valorar as flexibilidades embutidas num contrato de GN. Essas opções fazem parte das chamadas opções exóticas cujas características são específicas distinguindo-se das opções padrões.

Um dos aspectos mais importantes é determinar de que forma são tratadas as incertezas do contrato. Na maioria dos estudos, assume-se que esses fatores de incerteza seguem um processo estocástico, ou seja, sua evolução no tempo tem uma parcela de aleatoriedade. No presente trabalho, o modelo de dois fatores de Schwartz e Smith (2000) para preços de *commodities* é usado para explorar a dinâmica do mercado de GN, com base na série histórica do preço do *Henry Hub*¹. Nesse modelo, o preço à vista de uma *commodity* pode ser decomposto em dois fatores estocásticos, o preço de equilíbrio de longo prazo e as variações de curto prazo dos preços, consideradas mudanças temporárias. Como as *commodities*, em geral, possuem sazonalidade em termos de preço, adiciona-se ao modelo de Schwartz e Smith (2000) um componente sazonal determinístico trimestral. Para

¹ O *Henry Hub* é o ponto físico de convergência de grandes gasodutos no Estado da Luisiana e de onde os preços de suprimento de GN nos Estados Unidos são referenciados, sendo ainda usado como referência para os contratos futuros de GN na Bolsa de Mercadorias de Nova Iorque (NYMEX). Os preços fixados em *Henry Hub* são denominados em \$/MMBtu (milhões de unidades térmicas britânicas).

avaliar os contratos, é necessário analisar e modelar a série de preços do GN e posteriormente apreçar as flexibilidades embutidas.

Num primeiro estudo de alguns artigos baseados em avaliação de contratos de GN, tais como Jaillet *et al.* (2004) que avalia contratos com opções de *swing* através de árvores trinomiais para o modelo de um fator, Figueroa (2006), Haff *et al.* (2007), Adland *et al.* (2008), Cartea e Williams (2008), Hambly *et al.* (2008), Guigues *et al.* (2010) e Zhang e Oosterlee (2010), foi selecionado o modelo de Hull-White (1994b) para o apreçamento de opções de *swing*. A implementação do modelo é feita através de uma árvore trinomial para o modelo de dois fatores. Após um estudo mais aprofundado com base em Park (2003), Parsons (2007), Brigo e Mercurio (2010) e Baldvinsdóttir e Palmborg (2011), concluiu-se que o modelo de Hull-White (1994b) para dois fatores se aplica a processos de reversão à média, não podendo ser estendido para o modelo de dois fatores de Schwartz e Smith (2000). Árvores trinomiais sugeridas por Clewlow e Stickland (1999) e Tseng e Lin (2007) não se adaptam do mesmo jeito. Essa conclusão foi confirmada por Hahn e Dyer (2011) que apresentaram a mesma dificuldade e adotaram árvores binomiais baseados em Boyle (1988) e Nelson e Ramaswamy (1990) para o modelo de dois fatores de Schwartz e Smith (2000). Simões *et al.* (2011) também utilizaram árvores trinômias para o cálculo de opções de *swing* no mercado de energia elétrica, porém adotando somente um fator estocástico. Assim, o trabalho consiste na aplicação desse modelo binomial, porém para a análise de contratos de GN com opções de *swing*, tendo como base o mesmo contrato analisado por Jaillet *et al.* (2004), num contexto neutro ao risco.

Como resultado, analisou-se o valor das cláusulas contratuais, ou seja, opções de *swing* que ajudam na necessidade de *hedge* de um mercado sujeito a incertezas. O preço das opções de *swing* é desenvolvido no contexto de dois fatores para o processo estocástico do preço do GN, a partir do ponto de vista de um agente que maximiza retornos. Tal agente não é impedido de vender o excesso de volume que ele não pode consumir. Assim, qualquer decisão de exercer ou não a opção é feita apenas por razões econômicas.

Devido a não padronização de contratos de GN no mercado brasileiro, analisando um contrato como as mesmas características de Jaillet *et al.* (2004), o

presente trabalho visa avaliar a inclusão de opções de *swing* em contratos de GN de forma discreta através de árvore binomial bi-variável. Além de desenvolver uma análise de contratos sem a necessidade de uma matemática complexa, capaz de embutir não só essa flexibilidade como outras e avaliar demais tipos de contratos ambos que sejam relevantes ao mercado de energia no Brasil.

O estudo será estruturado em seis partes. O capítulo 2 apresenta os principais modelos estocásticos de dois fatores para preços de *commodities* e detalha o modelo de dois fatores de Schwartz e Smith (2000). O terceiro capítulo trata das principais aproximações dos processos estocásticos através de árvores binomiais, destacando-se a árvore binomial bi-variável de Hahn e Dyer (2011) para o modelo de Schwartz e Smith (2000). No capítulo 4, elabora-se um estudo do mercado de opções, relacionando-se as principais características, aprofundando o estudo na opção de *swing*. O quinto capítulo explica detalhes dos contratos de GN com opções de *swing*, assim como o desenvolvimento dos cálculos, com base num exemplo de Jaillet *et al.* (2004) e contextualiza o mercado de GN. No capítulo 6, analisa-se um estudo de caso, desenvolvendo as variáveis do modelo, definindo seus parâmetros e os cálculos necessários para valorar a opção de *swing*, mostrando os principais resultados. Por fim, o capítulo 7 descreve as principais conclusões.