UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

RAFAELE ALMEIDA MUNIS

MODELOS ESTOCÁSTICOS APLICADOS AO PREÇO DA MADEIRA DE EUCALIPTO: VALORAÇÃO DE OPÇÕES REAIS

Botucatu
2020

RAFAELE ALMEIDA MUNIS

MODELOS ESTOCÁSTICOS APLICADOS AO PREÇO DA MADEIRA DE EUCALIPTO: VALORAÇÃO DE OPÇÕES REAIS

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

Orientador: Danilo Simões.

Botucatu

2020

M966m

Munis, Rafaele Almeida
Modelos estocásticos aplicados ao preço da madeira de eucalipto: valoração de Opções Reais / Rafaele Almeida Munis. -- Botucatu, 2020
85 p. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
Orientador: Danilo Simões

1. Engenharia florestal. 2. Eucalipto. 3. Processo estocástico. 4. Análise econômico-financeira. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: MODELOS ESTOCÁSTICOS APLICADOS AO PREÇO DA MADEIRA DE EUCALIPTO: VALORAÇÃO DE OPÇÕES REAIS

AUTORA: RAFAELE ALMEIDA MUNIS
ORIENTADOR: DANILO SIMOES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. DANILO SIMOES
Engenharia de Produção / UNESP - Campus Experimental de Itapeva

Profa. Dra. MIRIAM HARUMI TSUNEMI Miriam Harumi Tsunemi
Bioestatística / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA Richardson Barbosa Gomes da Silva
Pós-Doutorando - Departamento de Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

Botucatu, 21 de janeiro de 2020.

Em memóra dos meus amados avós:

Dorival Munis, José Elias e Maria de Lurdes.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus amados pais, Ana Andréa e Daniel Munis, por serem minha inspiração e exemplos de seres humanos a seguir, além de todo apoio e amor incondicional.
Aos meus queridos e amados irmãos, Aline e Alisson, pelo companheirismo, afeto e amor.
Ao meu amigo e companheiro, Diego, pela motivação, apoio e amor em todo percurso.
A minha amada avó Rute, pela inspiração e orações.
Ao Prof. Dr. Danilo Simões, pela orientação, ensinamentos, paciência e exemplo de pesquisador e educador.
Aos professores que compõe a banca pelos ensinamentos compartilhados para o desenvolvimento do estudo: Profa. Dra. Miriam Harumi Tsunemi, Prof. Dr. Richardson Barbosa, Profa. Dra. Magali Ribeiro, Profa. Dra. Gislaine Batistela.
Aos professores que me acolheram durante o intercambio nas Universidad Nacional del Litoral e Universidad Nacional de San Luis, em especial: prof. Julián Esterellas, profa. María Rosa Sánchez Rossi e prof. Luis Guillermo Quintas.
Aos meus amigos de departamento pelo auxílio diário: Emilio, Gilberto, Hilda, Jean, Jorge, Lara e Ricardo. E a todos meus amigos e familiares que me auxiliaram e apoiaram durante o desenvolvimento do estudo.
A Unesp campus de Botucatu e todos os funcionários do departamento de Ciência Florestal.

Ademais, o presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

A escolha do número ideal de rotações de florestas plantadas sob um regime de manejo silvicultural resulta em incertezas aos fluxos de caixa esperados de projetos florestais. Nesta perspectiva, a abordagem estocástica das Opções Reais com a modelagem do ativo subjacente, ou seja, do preço da madeira, favorece na elucidação do risco unitário, aos quais gestores florestais estão expostos. Neste estudo, objetivou-se verificar se o ajuste da modelagem do preço da madeira por meio do Movimento Browniano Fracionário é superior ao Movimento Geométrico Browniano, com vistas à valoração de um projeto destinado a florestas plantadas com *Eucalyptus*, para então, consentir incorporar flexibilidades gerenciais ao projeto de investimento florestal. Utilizou-se a abordagem de precificação de opções europeias, em tempo discreto, com a aplicação do método de simulação de Monte Carlo. Deste modo, houve supervalorização de 31,44 % do projeto de investimento florestal com a modelagem por meio do Movimento Geométrico Browniano. Com a constatação da memória longa verdadeira na série de preços do *Eucalyptus*, conclui-se que o Movimento Browniano Fracionário é mais indicado para modelagem do preço da madeira de *Eucalyptus*, o qual, após incorporação de 100 % das opções europeias torna o projeto de investimento florestal viável economicamente em contraste ao método determinístico.

Palavras-chave: Ativos biológicos. Movimento Browniano Fracionário. Flexibilidade gerencial. Tempo discreto. Volatilidade.

ABSTRACT

Choosing the optimal number of planted forest rotations under a silvicultural management regime results in uncertainties about expected cash flows from forestry projects. In this perspective, the stochastic approach of Real Options with the modeling of the underlying asset, that is, the price of wood, favors the elucidation of the unit risk to which forest managers are exposed. In this study, the objective was to verify if the adjustment of the wood price modeling by means of the Fractional Brownian Motion is better than the Geometric Brownian Motion, in order to valuing a project for forests planted with *Eucalyptus*, and then allowing to incorporate management flexibilities into the forestry project. It was used the European option pricing approach in discrete time with the Monte Carlo simulation method. Thus, there was an overvaluation of 31.44% of the forest project with te Geometric Brownian Motion modeling. With the finding of real long memory in the *Eucalyptus* price series, it is concluded that the Fractional Brownian Movement is more indicated that the Fractional Brownian Motion is more suitable for modeling this asset, which, after incorporating 100% of European options, makes the forestry project economically viable in contrast to the deterministic method.

Keywords: Biological assets. Fractional Brownian Motion. Managerial flexibility. Discrete time. Votatility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Simulações dos preços de Eucalyptus por meio do (a) MBF e (b) MGB 41
Figura 2 — Análise dos resíduos da regressão linear 46
Figura 3 — Histograma das simulações, com o MBF, do preço da madeira para as rotações 49
Figura 4 — Histograma das simulações, com o MGB, do preço da madeira para as rotações 50
Figura 5 — Boxplot do Valor Presente expandido para os modelos estocásticos MBF e MGB 51

Lista de siglas e abreviaturas

BOVESPA	Bolsa de Valores de São Paulo
CAPEX	*Capital Expenditure*
CAPM	Modelo de Precificação de Ativos de Capital
CMPC	Custo Médio Ponderado de Capital
COFINS	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
CSLL	Contribuição Social sobre Lucro Líquido
EUA	Estados Unidos da América
MBF	Movimento Browniano Fracionário
IMA	Incremento Médio Anual
IR	Imposto de Renda
MGB	Movimento Geométrico Browniano
PIS	Programa de Integração Social
OR	Opções Reais
USD	Dólares Norte-Americanos
VMI	Volume Médio Individual
VP	Valor Presente
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 19
2 REVISÃO DE LITERATURA 21
2.1 Cultura do *Eucalyptus* 21
2.2 Avaliação de projetos de investimentos 22
2.3 Fluxo de caixa esperado 23
2.4 Taxa do custo de oportunidade do capital 24
2.4.1 Custo médio ponderado de capital 24
2.4.2 Taxa do custo de capital dos acionistas 25
2.5 Valor Presente Líquido 28
2.6 Flexibilidade gerencial 29
2.7 Teoria das Opções 30
2.7.1 Opções financeiras 30
2.7.2 Opções Reais 31
2.8 Técnicas de apreçamento de opções 33
2.8.1 Movimento Geométrico Browniano 33
2.8.2 Movimento Browniano Fracionário 34
2.8.3 Modelo de Black Scholes 35
2.8.4 Método de simulação de Monte Carlo 36
2.8.5 Volatilidade 37
3 MATERIAL E MÉTODOS 39
3.1 Espécie e manejo silvicultural 39
3.2 Análise da série temporal do preço da madeira 39
3.3 Modelagem do preço do ativo subjacente 40
3.4 Fluxo de caixa esperado do projeto de investimento florestal 41
3.5 Taxa do custo de oportunidade do projeto de investimento florestal 42
3.6 Precificação das opções por meio da técnica de Monte Carlo 44
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 46
4.1 Modelagem do preço do ativo subjacente 46
4.2 Valoração do projeto de investimento florestal 48
4.3 Reflexo da escolha da modelagem do preço no valor final do projeto 51
5 CONCLUSÕES 53
REFERÊNCIAS 55

1 INTRODUÇÃO

A análise dos projetos de investimento florestais, possibilita a adoção de medidas mitigadoras, além de proporcionar subsídios que favorecem a criação de valor à uma empresa. Contudo, o setor florestal pode ser caracterizado como volátil, mediante oscilações da demanda pela madeira, intempéries da natureza, preço da madeira, entre outras que, por conseguinte, influenciam no processo decisório, como exemplo, na escolha do número de rotações de florestas plantadas sob determinado manejo silvicultural.

Nesta perspectiva, considerar uma alternativa de investimento pautada em valores presentes, pode resultar em conclusões subestimadas e refletir a principal defasagem dos métodos tradicionais de avaliação econômica. Com efeito, a metodologia das Opções Reais (OR) busca como vertente incluir a flexibilidade gerencial no planejamento dos gestores e proporcionar alternativas ou opções que possam ser assumidas mediante cenários contrastantes.

Logo, a versatilidade do emprego das OR em diferentes cenários econômicos no âmbito florestal, traduz a necessidade da inserção da flexibilidade gerencial que ela proporciona em atividades que envolvam riscos de investimentos em capital, não apenas no início da implantação do povoamento florestal, mas também com as atividades silviculturais e, sobretudo com as receitas futuras.

Contudo, ao incorporar o método das Opções Reais em uma análise de projeto de investimento, a modelagem do ativo subjacente, ou seja, do preço futuro da madeira é uma das principais questões a serem analisadas, para isso alguns processos estocásticos são assumidos. Estes modelos devem ser capazes de descrever a trajetória do preço do ativo subjacente, isto é, sem a necessidade de adoção de pressupostos irreais aos dados, como exemplo, independência temporal.

Em suma, os cálculos das Opções Reais baseiam-se em séries temporais de preços do ativo subjacente. Logo, o tempo consiste na primeira fonte de dependência dos dados, a qual pode ser comprovada por meio de alguns testes estatísticos, que por conseguinte, permitem a estimativa de outros parâmetros, com exemplo, a memória longa verdadeira, que acentuam a qualidade da modelagem por permitir relacionar impactos de crises e estresse financeiro ao comportamento do preço de ativos biológicos como a madeira.

Nesse sentido, a adoção do Movimento Browniano Fracionário (MBF) para modelagem do preço do ativo subjacente pode superar a qualidade do ajuste de modelos, como do Movimento Browniano Geométrico (MGB), por considerar parâmetros como auto-similaridade e existência da memória longa verdadeira que resultarão em subsídios mais confiáveis à tomada de decisões.

Logo, a modelagem do preço do ativo subjacente por meio do MBF, para então precificação das Opções Reais, justifica-se por permitir incorporar a flexibilidade gerencial nas tomadas de decisões e possibilitar criação de valor a empresas de base florestal mediante investimento em ativos biológicos, com adequado tratamento econométrico.

Dessa forma, objetivou-se verificar se o ajuste da modelagem do preço da madeira por meio do Movimento Browniano Fracionário é superior ao Movimento Geométrico Browniano, com vistas à valoração de um projeto destinado a florestas plantadas com *Eucalyptus*, para então, consentir incorporar flexibilidades gerenciais ao projeto de investimento florestal.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do *Eucalyptus*

Para diminuir a pressão sobre as florestas naturais, aumentaram-se as áreas dedicadas às florestas plantadas, as quais representam cerca de 280 milhões de hectares de todas as florestas do mundo (BINKLEY et al., 2017; PAYN et al., 2015). Como resultado, o plantio de árvores de rápido crescimento tornou-se uma prática florestal comum (ZEWDIE; OLSSON; VERWIJST, 2009).

Devido à sua natureza de crescimento rápid e maior adaptação a diferentes condições ambientais (DEJENE; RUEDA; PINTO, 2017), além de ser um importante contribuinte para a economia (SALAS et al., 2016), o *Eucalyptus* é comercialmente atraente e tem ganhado destaque entre os gêneros a serem plantados em todo o mundo (ESPAÑA et al., 2017; FORRESTER, 2013).

Na América do Sul, o gênero *Eucalyptus* resulta no segundo maior grupo de espécies exóticas (JOBBÁGY; BALDI; NOSETTO, 2011), e no Brasil a área total de árvores plantadas totalizou 7,84 milhões de hectares em 2016, crescimento de 0,5% em relação ao ano de 2015, devido exclusivamente ao aumento das áreas com *Eucalyptus* (SARAIVA et al., 2017), a qual representa cerca de 5,67 milhões de hectares (IBÁ, 2017).

Das espécies exóticas introduzidas no Brasil, o *Eucalyptus* tem ocupado grandes áreas de plantios em todo o território brasileiro devido às diversas conquistas no campo da silvicultura (XAVIER; SILVA, 2010). O gênero é de fácil obtenção, e tem sido aplicado em diversos segmentos industriais, como na construção civil, siderurgias, indústrias farmacêuticas, entre outras (CACERES et al., 2017; HIGGINS; PALMER; NIXON, 2015; PARK et al., 2018) e pode ser implantado como uma estratégia de gerenciamento favorável para múltiplos serviços ecossistêmicos (ZHOU et al., 2018).

O gênero *Eucalyptus* é nativo da Austrália, e conta com mais de 700 espécies, em sua maioria de procedência australiana (HE; MURRAY; LYONS, 2000). O período de rotação está compreendido no intervalo de seis a oito anos no Brasil, e possui outras vantagens como, potencial para se investir em florestas plantadas, ocorrência de talhadia (condição de rebrota), alta densidade da madeira e excelentes propriedades físicas e mecânicas (DOUGHERTY; WRIGHT, 2012; MAIER et al., 2017).

2.2 Avaliação de projetos de investimentos

Ponderar se os custos de investir hoje são justificados pelos futuros benefícios esperados é fundamental para as decisões de investimento (YESCOMBE; FARQUHARSON, 2018), por isso, para novos projetos de investimentos é necessária a realização de uma análise da aplicação de capital, caso contrário, os prejuízos poderão ser significativos em função do elevado volume de recursos aplicados (DALLEMOLE; LINS; SANTANA, 2008).

Uma análise de investimento pode ser abordada em quatro momentos da vida útil de um projeto: na decisão de investir, na divulgação da decisão de investir, na realização do investimento ou na apuração do investimento (RODRIGUES; BRITO, 2009). Logo, especificar qual o momento do investimento será objeto de estudo é fundamental para verificar qual o indicador mais adequado, visto que diferentes critérios são utilizados para avaliar um projeto, medir a eficiência econômica e auxiliar nas tomadas de decisões (MARCHIONI; MAGNI, 2018).

Destarte, o foco central de uma análise de projeto de investimento é identificar se as despensas de capital, ou seja, o *Capital Expenditure* (CAPEX) a ser realizado agregará valor aos proprietários e agentes interessados (SANTOS; ZOTES, 2011), assim, quanto mais informações de qualidade há sobre o negócio ou desempenho econômico de determinado projeto, teoricamente, mais se pode esperar diferente percepção do risco por parte do investidor (SILVA; NARDI; PIMENTA JUNIOR, 2012).

No âmbito florestal, há um interesse crescente em direção a florestas plantadas como oportunidades de investimento para geração de lucro e construção de ativos estratégicos (PRA et al., 2019). Deste modo, a análise de investimento permite estabeler comparativos entre retornos econômicos de determinadas espécies florestais, que resultam em informações estratégicas, as quais embasam a implantação de politicas florestais, econômicas e sociais (XIE et al., 2019).

Contudo, de acordo com Foo, Bloch e Salim (2018), as decisões sobre oportunidades de investimento estão sujeitas a vários fatores. Para Dixit e Pindyck (1994), a maioria das decisões de investimento possuem três principais fatores em diferentes graus: primeiro, o investimento é parcial ou completamente irreversível, segundo, há incerteza sobre as futuras recompensas do investimento, e terceiro, há sempre alguma liberdade sobre o tempo de investimento.

A incerteza implícita no planejamento econômico induz a riscos (MAULEÓN; HAMOUDI, 2017) e os projetos estão sujeitos a várias fontes de incerteza. Assim a mensuração do risco e do retorno em qualquer projeto é o pressuposto inicial para uma avaliação de investimento (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2002), os quais apresentam flexibilidades incorporadas durante e após o processo de desenvolvimento (BRANDÃO; FERNANDES; DYER, 2018) que permitem algumas escolhas na hora de se tomar uma decisão (TANG et al., 2017).

2.3 Fluxo de caixa esperado

O valor de uma empresa está diretamente relacionado com os montantes e as épocas em que os fluxos de caixa estarão disponíveis para os detentores de capital, que é a abordagem fundamentada na regra do fluxo de caixa descontado (LIMA et al., 2010). Logo, a previsão do fluxo de caixa esperado é fundamental para a avaliação e o investimento de uma empresa (FARSHADFAR; MONEM, 2013; KRISHNAN; LARGAY, 2000; RIGHETTO; MORABITO; ALEM, 2016).

A avaliação do fluxo de caixa descontado fornece uma estimativa do valor da empresa por meio do valor presente acumulado de seus fluxos de caixa futuros (GAJEK; KUCIŃSKI, 2017). Esse método evidencia a eficiência esperada por um negócio e revela, com isso, o potencial econômico residente nos itens sob avaliação (MONTE; ARAUJO NETO; RÊGO, 2009).

Teixeira, Brandão e Gomes (2010) salientam que técnicas tradicionais de avaliação de investimentos podem não ser adequadas para avaliação do valor de projetos que envolvem diferentes opções, isso por que, ela não captura o valor eventual de flexibilidade de um empreendimento, tendendo a subavaliá-lo (RODRIGUES et al., 2013).

Em geral, a análise da viabilidade econômica de projetos de investimento e até de empresas, é realizada por meio de técnicas tradicionais do fluxo de caixa descontado (SERRA; MARTELANC; SOUSA, 2012). O método tradicional de fluxo de caixa descontado é muito limitado para tratar de incertezas e de flexibilidades e, frequentemente, leva a decisões equivocadas (SAMANEZ; COSTA, 2009). Por isso, outros métodos de avaliações estão sendo aplicados na valoração de projetos (ZILIO; LIMA, 2015).

2.4 Taxa do custo de oportunidade do capital

O problema de tomar decisões de investimento é discutido sob uma perspectiva de custo de oportunidade (MA; ZHAO; XI, 2016). Dessa forma, durante anos, a questão de como os fluxos de caixa esperados devem ser descontados, a fim de se obter um valor presente adequado, vem sendo discutida na literatura (BADE, 2009).

A taxa do custo de oportunidade do capital ocupa lugar importante na tomada de decisões de gestão e investimento (GARCÍA-SÁNCHEZ; NOGUERA-GÁMEZ, 2017) e geralmente na execução de um projeto é ignorada, o que provoca uma reflexão inadequada de todos os possíveis custos (TSAI; CHIANG; MILLER, 2016). Goulart (2002) evidencia a relevância da taxa do custo de oportunidade de capital e seu grande potencial de aplicação nas atividades empresariais, como na avaliação de resultados.

Em termos de efeitos de valor direto, a consciência da existência da taxa do custo de oportunidade do capital pode levar a vantagens competitivas em longo prazo, devido a um desempenho superior, na seleção e gerenciamento de opções, tanto operacionais quanto estratégicas (IOULIANOU; TRIGEORGIS; DRIOUCHI, 2017; ZHU; LI; LI, 2017).

Deste modo, esperam-se maiores custos de oportunidade de capital para proprietários com maior comprometimento com a estratégia de investimento na empresa que gerenciam, porém deve-se atentar ao cuidado de assimilação coerente das informações mercadológicas, ou seja, das alternativas disponíveis para investimentos (HE; LEPONE; LEUNG, 2013; PATTITONI et al., 2013). Com isso, a compreensão das situações mercadológicas auxilia no processo de criação dos custos de oportunidades, os quais refletem não apenas nos riscos externos, mas também nos riscos internos das empresas (DZURIÞKOVÁ; FABINYOVÁ; MIHALÞOVÁ, 2015; TRIGEORGIS; TSEKREKOS, 2018).

2.4.1 Custo médio ponderado de capital

A definição básica do Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC) consiste na média ponderada do custo de capital proveniente do patrimônio próprio e da dívida, capital de terceiros (FARBER; GELLET; SZAFARZ, 2006), que é a taxa mínima de atratividade para a tomada de decisão sobre a viabilidade ou não do investimento

proposto (FODRA; ESPERANCINI, 2013). Para Cunha et al. (2013), o CMPC pode ser assumido como a taxa do custo de oportunidade dos acionistas da empresa, ou ainda, o retorno mínimo esperado por eles.

O CMPC de um ativo é obtido por meio da diferença entre o retorno instantâneo esperado da dívida (custo do capital do credor) e o componente de retorno após à proteção fiscal da dívida, ou seja, da alíquota marginal do Imposto de Renda (GRINBLATT; LIU, 2008). Deste modo, o custo do capital do credor é formado pela taxa básica ou taxa livre de risco, cujo valor equivale a taxa de retorno de um título de renda fixa emitido pelo governo, de menor risco entre todos os existentes no mercado financeiro e por um prêmio (*spread*) determinado pelo credor em função do risco de inadimplência do cliente (BRASIL et al., 2007).

Contudo, o propósito do CMPC é que assim como os credores, os acionistas obtenham recompensas pela taxa do custo de oportunidade de estarem investindo em um projeto específico, ao invés de fazê-lo em outro com risco equivalente (DIAS, 2014). Destarte, o CMPC fornece informações adicionais sobre como o valor do projeto é criado e como a equidade e a dívida interagem na geração desse valor (MAGNI, 2015).

De acordo com Frank e Shen (2016) o custo médio ponderado do capital é importante para o investimento corporativo, uma vez que a forma do impacto depende de como o custo do patrimônio é medido. Logo, por meio da abordagem é possível analisar a estrutura de capital e as conseqüências fiscais resultantes da avaliação de um fluxo de fluxos de caixa (BADE, 2009).

2.4.2 Taxa do custo de capital dos acionistas

O custo de capital dos acionistas é a taxa de retorno requerida para investimento dos fundos dos acionistas na empresa (ASSAF NETO; LIMA; ARAÚJO, 2008) e o modelo mais adotado para o cálculo deste custo é o Modelo de Precificação de Ativos de Capital (CAPM), o qual desempenha papel fundamental em finanças teóricas, empíricas e modernas (CAI; REN; YANG, 2015; ZABARANKIN; PAVLIKOV; URYASEV, 2014).

O modelo foi desenvolvido por Sharpe (1964), Lintner (1965) e Mossin (1966) e é definido como um modelo linear de fator único, que relaciona os retornos esperados de um ativo com uma carteira de mercado, no qual a inclinação denominada beta de

ativos, serve como medida do risco não diversificável (sistemática) do ativo (BOLLERSLEV; ENGLE; WOOLDRIDGE, 1988). Algumas empresas que atuam no mercado internacional ajustam a equação do CAPM para incluir também o risco-país, o qual reflete o fato de que um projeto pode estar mais ou menos exposto ao risco-país (DAMODARAN, 2010).

O modelo CAPM, permite relacionar o retorno de um título com o risco não diversificável (AMORIM; LIMA; MURCIA, 2012), por meio do coeficiente beta (β), proposto por Sharpe (1964) e Lintner (1965). Este modelo tem sido referência na pesquisa de preços de ativos devido à sua facilidade de uso e eficiência no cálculo do custo de equidade (KIM; KIM, 2016).

De acordo com Vendrame, Guermat e Tucker (2018) é simples, intuitivo e fundamentado em uma teoria econômica sólida. Normalmente, este modelo é utilizado como base teórica para consultoria de investimento, pois fornece fórmulas para avaliação de novos empreendimentos (KOCH-MEDINA; WENZELBURGER, 2018) e detém, em um cenário dinâmico de mercado, informações exógenas (NEGREA; TOMA, 2017).

O CAPM estabelece as relações de risco e retorno esperado para verificar se determinado título está sendo negociado dentro de seu preço justo e fornecer mecanismos de avaliação do investimento realizado em relação ao risco e retorno da carteira (AMARAL et al., 2004) que servem não apenas para estimar os custos de capital de uma empresa, mas também as taxas de desconto do projeto (GRAHAM; HARVEY, 2001).

2.4.2.1 Coeficiente de risco sistemático

O risco total de um ativo pode ser decomposto em risco não sistemático (risco diversificável) e em risco sistemático (não diversificável). O primeiro é decorrente de fatores específicos da empresa e que pode ser eliminado pela combinação com outros ativos (SILVA; QUELHAS, 2006). Já o risco sistemático deriva das oscilações do mercado causadas, por exemplo, por mudanças na economia ou na situação política, que afetam todas as empresas (BOLLERSLEV; ENGLE; WOOLDRIDGE, 1988; MAZZEO, 1988).

O coeficiente beta é o risco sistemático de uma empresa alavancada financeiramente, o qual evidencia o grau em que o retorno de um título de participação

patrimonial (ações) de uma empresa responde às variações que ocorrem no retorno geral do mercado (FALCINI, 1995). Logo, ao relacionar dentro do modelo de precificação de ativos, o comportamento de um título com a carteira de mercado (ASSAF NETO, 2006), ou seja, por meio de uma análise de regressão pelos mínimos quadrados para encontrar o coeficiente da regressão (β) da equação da reta característica é possivel obter o coeficiente de risco sistemático (GITMAN, 2016).

O primeiro passo para elaborar uma análise de regressão, de acordo com Ehrhardt e Brigham (2012), é realizar o levantamento dos dados históricos do ativo e do mercado, depois o preço das ações é convertido em taxa de retorno, para então obtenção da reta característica. A inclinação da reta característica é o beta do capital próprio, que matematicamente é obtido por meio da razão da covariância do retorno do ativo e do retorno da carteira de mercado pela variância do retorno da carteira de mercado (FAMA; FRENCH, 2007).

A abordagem da covariância do retorno do ativo e do retorno da carteira de mercado demonstram de forma eficaz a flutuação que ocorre com o beta ao longo do tempo, o que supera algumas abordagens tradicionais, as quais assumiam os betas como constantes ao longo do tempo (ANG; CHEN, 2007; BAJPAI; SHARMA, 2015; BANSAL et al., 2014).

Ao conhecer as características do coeficiente de risco sistemático (beta) de uma ação, é possível estimar o retorno requerido pelo mercado, para aquela ação, onde um beta igual a 1,0 significa que há uma correlação perfeita entre os retornos da ação e os retornos do mercado como um todo (ALCÂNTARA, 1981). Logo, ações com beta maior que um são mais voláteis do que o mercado, sendo denominadas agressivas, já os títulos que apresentam beta menor que um são chamados de defensivos, pois possuem variações menores em comparação ao mercado (AYTAÇ; HOANG; MANDOU, 2016).

Diante disso, é necessario que o risco sistemático de uma empresa seja ponderado, uma vez que que as modificações que a mesma sofre derivada de seu endividamento e dos impostos que incidem sobre o seu lucro (SOUZA NETO; MARTINS, 2011). Essa ponderação resulta no beta realavancado, que é a incorporação, em sua estrutura, do passivo em relação ao patrimônio líquido da empresa (HIGGINS, 2011). Assim, quanto maior o financiamento por meio de dívidas que uma empresa possuir em sua estrutura de capital, maior será a alavangem

financeira que ela tem, e por conseguinte, maior será o seu beta realavancado (ROSS; WESTERFIELD; JAFFE, 2012).

A obtenção da medida do coeficiente de risco sistemático é uma estimativa, emitida por meio do cálculo do beta, onde o ruído nos retornos pode ocultar o beta verdadeiro, sendo recomendado efetuar o cálculo do beta de um setor, o qual apresenta erro-padrão menor, porém, deve-se atentar que as operações das empresas sejam similares às do resto do setor (BREALEY; MYERS; ALLEN, 2016; ROSS et al., 2015).

2.5 Valor Presente Líquido

As decisões de investimento podem ser avaliadas por meio de diferentes métricas (critérios), que são funções de um índice norteador (MARCHIONI; MAGNI, 2018). A avaliação desses indicadores pode fornecer orientações para compreender o desenvolvimento do projeto e ajudar os gestores na tomada de decisão (XI; AN, 2018).

O método do Valor Presente Líquido (VPL) é um critério que permite decidir qual é o melhor entre dois projetos excludentes, que difere-se por apresentar uma rotina de cálculo simples e de fácil entendimento (ILHA; CAMPOS, 2014). Segundo Stone (1988) é definido como a soma dos valores atuais dos rendimentos líquidos anuais obtidos no período de exploração de um projeto.

Dentre os critérios quantitativos de análise de investimento mais utilizados, destaca-se o VPL (BEN-HORIN; KROLL, 2017), uma vez que, na ausência da flexibilidade gerencial, ele geralmente é creditado como o método mais confiável para a mensuração financeira dos projetos (CUTHBERT; MAGNI, 2016).

Berkovitch e Israel (2004), Fleten et al. (2016), Magni (2002) e Ross (1995), apontam para a ineficiência do método para avaliar economicamente os projetos, uma vez que o seu uso na tomada de decisões leva a alguns conflitos, pois a viabilidade de um projeto pode mudar devido a existência de flutuações dos dados (SOBEL; SZMEREKOVSKY; TILSON, 2009).

Contudo, para Shaffie e Jaaman (2016) os dois maiores problemas do VPL estão na incerteza da estimativa de fluxos de caixa do investimento e na ausência da flexibilidade gerencial. No primeiro caso, em projetos de investimento de alto risco, o método tradicional pode adotar taxas de desconto mais altas para descontar os fluxos

de caixa do projeto, no entanto, taxas de desconto mais altas podem subestimar o valor do projeto e rejeitar um projeto com potencial (LIAO; HO, 2010).

A maneira pela qual os fluxos de caixa esperados são recebidos está além do controle da parte responsável pela execução do projeto, o que leva a necessidade de se analisar o efeito da flexibilidade no VPL (LEYMAN; VANHOUCKE, 2016) e ignorar as ocilações das condições do mercado, resulta na perda do valor real do projeto, uma vez que o investimento pode ser adiado por novas informações que diminuiria o risco e consequentemente, o resultado indesejável (HO; LIAO, 2011).

2.6 Flexibilidade gerencial

A estimativa e a inferência humana estão sujeitas a serem tendenciosas, sendo que distorções cognitivas podem levar a decisões equivocadas (STEEN, 2004). Com o aumento da flexibilidade na tomada de decisões, os gerentes são capazes de discernir quais as melhores opções para investir na sua empresa e os melhores momentos (HILARY et al., 2016).

Destarte, a capacidade de responder às mudanças imprevisíveis no mercado está se tornando um fator chave na sobrevivência das organizações (PHILLIPS; WRIGHT, 2009). Assim, a flexibilidade gerencial pode ser definida como a capacidade de se adaptar a diferentes requisitos nos negócios, haja vista que essa diversificação cria um potencial de crescimento organizacional, além de proporcionar maiores graus de liberdade em resposta às novas necessidades do negócio (FINK; NEUMANN, 2009).

Uma vez que a flexibilidade gerencial permite o gerenciamento de opções para adaptação das decisões de investimento, como, decisões de expandir, adiar, aumentar, diminuir ou abandonar os investimentos para novos projetos econômicos (SAVOLAINEN, 2016). O valor da gestão de flexibilidade aumenta com a complexidade dos sistemas a serem planejados e do horizonte de planejamento de interesse, o investimento no tempo *t* oferece à gestão de opções utilidades para implementar, atrasar ou abandonar os planos de expansão (ODETAYO et al., 2018; RAMANATHAN; RAMANATHAN; BENTLEY, 2018).

Para Teece (2007), as empresas tendem a continuamente emergir, colidir, dividir, evoluir ou recuar, por isso, investimentos estratégicos e tomadas de decisões exigem que os gerentes respondam às mudanças externas rapidamente. Isso difere da metodologia tradicional de planejamento, onde os planos de longo prazo são

desenvolvidos com base em pressupostos e metas atuais (GUEDES; SANTOS, 2016; KRÜGER, 2012).

2.7 Teoria das Opções

2.7.1 Opções financeiras

Os instrumentos financeiros desempenham papel fundamental em uma análise de investimento, uma vez que, as empresas podem gerenciar um conjunto de fatores de risco por meio deles, especialmente por meio de opções (MALAQUIAS; ZAMBRA, 2018). Uma opção é um instrumento financeiro cujo pagamento é baseado em ativos subjacentes como: ações, índices, moedas, volatilidades, commodities, títulos, hipotecas e inúmeros outros (LYUU; TENG, 2011). Como os preços são variáveis voláteis, as perdas e benefícios dos investidores são funções do preço das opções (KIESEL; RAHE, 2017).

Nesta perspectiva, países europeus, americanos e outros utilizam o preço das opções em suas cadeias econômicas (GHAFARIAN; HANAFIZADEH; QAHI, 2018). Como exemplo, a opção americana é um instrumento que dá ao proprietário o direito de comprar ou vender um ativo de determinada ação a um preço fixo a qualquer momento antes do tempo de expiração pré-determinado (CHEN et al., 2018). Já as opções europeias, fazem com que o aumento do número de ativos subjacentes tornem o problema de preços uma tarefa mais desafiadora: encurta a duração da vida útil da opção de preço (LIN; LI; JING, 2018).

Como uma opção permite que um derivativo importante altere os incentivos para os investidores coletarem informações privadas, relevantes para investimentos de longo prazo (BLANCO; WEHRHEIM, 2017), a aplicação de métodos de precificação de opções, que foram inicialmente desenvolvidos para ativos negociados financeiramente, agora também são aplicados à avaliação de opções sobre ativos reais, proporcionando maior segurança aos gerentes na tomada de decisão (GAO; DRIOUCHI, 2018; GLENSK; MADLENER, 2018).

2.7.2 Opções Reais

As abordagens tradicionais para o orçamento de capital corporativo, como o modelo de fluxo de caixa esperado, sugerem que as empresas tomem decisões de investimento apenas com base no VPL de um projeto, contudo, autores como Abel et al. (1996), Boyarchenko (2004), Brandão e Dyer (2009), Copeland e Antikarov (2001), Kogut e Kulatilaka (1994), Lambrecht (2017), Sant'anna e Nogueira (2010), são contrários a esse pressuposto.

Essa contrariedade pode ser explicada, segundo Xie (2009), devido às condições de mercado mudarem ao longo do tempo, e essas mudanças podem afetar os fluxos de caixa futuros estimados e taxas de desconto, e, portanto, o VPL de um projeto. Desta forma, emprega-se o fluxo de caixa esperado como uma entrada na avaliação da Opção Real de tempos contínuos, pois a análise contínua do tempo permite otimizar o momento para a tomada de decisão (PENNINGS, 2017).

Neste sentido, a abordagem das Opções Reais (OR) enfatiza que muitos investimentos iniciais criam oportunidades relevantes que dão à empresa a oportunidade (mas não a obrigação) para fazer investimentos subsequentes, mais precisamente, as Opções Reais conferem possibilidades para adquirir ou alienar ativos no futuro (FAVATO; VECCHIATO, 2017; LIU; RONN, 2020). Logo, a aplicação das Opções Reais prevê que o investimento no tempo pode ser atrasado pela incerteza sobre as receitas futuras (OH; YOON, 2020).

Nessa perspectiva, a metodologia das OR demonstra superioridade em relação às técnicas tradicionais de orçamentação de capital, destacando sua capacidade de captar incerteza e flexibilidade (KOZLOVA, 2017). De acordo com Smit (2003) e Xiao et al. (2017), as OR analisam o investimento ótimo quando o futuro fluxo de caixa esperado é incerto. Para isso, soluções heurísticas e simulações numéricas são utilizadas para tirar conclusões em condições de mercado muito específicas.

Para estimar o valor da adição da flexibilidade em um projeto com aplicação das Opções Reais, há uma série de diferentes métodos (BORISON, 2005; COLLAN, 2011), Henao et al. (2017), por exemplo, propõe a utilização de um modelo binomial, este modelo é uma árvore binomial de tempo discreto que permite calcular explicitamente o valor do investimento, por meio da flexibilidade ao longo do tempo.

2.7.2.1 Opções Reais aplicadas ao setor florestal

As Opções Reais têm sido utilizadas a poucas décadas na economia, inclusive na área florestal, para analisar problemas que envolvem decisões irreversíveis e estocásticas (JACOBSEN, 2007). O estudo de Tourinho (1979), por exemplo, foi o primeiro modelo matemático de Opções Reais desenvolvido, em que o autor verificou a aplicação da teoria de precificação de opções, no qual considerou que um recurso natural pode ser assumido como um ativo, o qual pode ser mantido à curto ou longo prazo pelos investidores, e que uma reserva natural pode ser assumida como uma opção sobre esse ativo.

O método de análise por meio das OR também é aplicado em problemas envolvendo colheita da madeira (CHAUDHARI; KANE; WETZSTEIN, 2016). Dada a volatilidade da demanda da madeira no setor florestal, justifica-se a absorção das OR, uma vez que os preços da madeira tendem a flutuar anualmente (BRAZEE; MENDELSOHN, 1988) e ignorar essas flutuações do mercado na silvicultura tornam a tomada de decisão tendenciosa (SHOGREN, 2007).

A eficiência da abordagem das Opções Reais na economia florestal faz com que ela seja priorizada por alguns autores, como exemplo, Gjolberg e Guttormsen (2002) que em seu estudo buscaram definir a opção florestal em termos financeiros. Destarte, a silvicultura pode ser considerada um negócio arriscado e imprevisível, assim, é recomendado que alguma medida de risco seja capturada para ajudar no processo de tomada de decisão (CHANG; DEEGEN, 2011).

Sauter et al. (2016) utilizaram-se da abordagem das Opções Reias para decidir o momento ideal da colheita de um povoamento florestal, Abdallah e Lasserre (2007) para determinar os níveis ideais de exploração de uma espécie florestal, já Morgan, Abdallah e Lasserre (2008) para a tomada de decisão no manejo florestal para proteger uma espécie ameaçada da extinção e Kitabatake (2002) na avaliação de um projeto de construção de estradas florestais em grande escala em um parque nacional do Japão.

Tee et al. (2014) utilizaram as Opções Reais para verificar o efeito da política de crédito de carbono estabelecida na Nova Zelândia sobre o valor das florestas plantadas locais, Srinivasan (2015) na avaliação de serviços ecossistêmicos. Já Abdallah e Lasserre (2016) avaliaram a idade ideal de colheita e a escolha da melhor espécie a ser plantada de acordo com as características silviculturais. E Cairns (2017)

buscou aprimorar a compreensão das florestas como formas de capital de investimento irreversível.

No Brasil, alguns estudos foram desenvolvidos buscando também a aplicação das OR no âmbito florestal, Moreira et al. (2000) na valoração de concessões florestais da Amazônia, Brobouski (2004) para estimular a produção florestal por meio de um vínculo entre produtores rurais e empresas de reflorestamentos e Baran (2005) para avaliar uma floresta de *Eucalyptus* na presença de um mercado de certificados para redução de emissões de carbono.

Rocha et al. (2006) utilizaram da abordagem para quantificar os benefícios econômicos do manejo florestal na região Amazônica, Martins e Melo (2007) para valorar a opção de preservação de um parque de proteção ambiental e, Kallio, Kuula e Oinonen (2012) em investimentos de florestas plantadas com *Eucalyptus*.

Broz, Woitschach e Milanesi (2014) adotaram as OR para a determinação da idade ótima de colheita para dois tipos de manejo florestal, Oliveira et al. (2014) na avaliação de projeto de cogeração de energia a partir de biomassa florestal e Cardoso (2014) buscou a abordagem na análise de investimento de capital em uma indústria de papel e celulose. Joaquim et al. (2015) para analisar projetos de investimento em sistemas agroflorestais, Rodrigues (2016) buscou avaliar a viabilidade econômica de um investimento em concessão florestal e Souza (2017) na análise de projeto de investimento com geração de energia elétrica a partir da madeira de *Eucalyptus*.

2.8 Técnicas de apreçamento de opções

2.8.1 Movimento Geométrico Browniano

A utilização do Movimento Geométrico Browniano (MGB) é abordada na literatura para descrever diversos processos como o movimento de preços, desenvolvimento tecnológico e também para representar demanda e oferta (MANUEL; JOSÉ, 2014; PRINGLES; OLSINA; GARCES, 2015; WANG et al., 2016). Isso porque, em alguns processos, é útil prever valores futuros com base em dados anteriores, uma vez que, a predição implica em ter um modelo de evolução, mesmo quando se há processos complexos e aleatórios (LIN; WECK; MACGOWAN, 2012).

Com isso, normalmente os pressupostos do MGB são assumidos e a modelagem dos ativos subjacentes de projetos de investimentos seguem este movimento

(LAJBCYGIER; CONNOR, 1997). Destarte, de acordo com Kim et al. (2016), o modelo binomial converge para o MGB, o que facilita a modelagem matemática, uma vez que é uma ferramenta de facil aplicação, porém robusta e precisa para modelos de avaliação de opções.

A árvore binomial é uma das maneiras mais comuns de derivar o preço de opções e é uma aproximação do MGB (MUROI; SUDA, 2013). Ela auxília na determinação dos fluxos de caixa e nas probabilidades que fornecem os valores corretos do projeto quando descontados para cada período e para cada estágio de incerteza (BRANDÃO; DYER; HAHN, 2005). O método é simples e utilizado na precificação de opções européias, americanas, entre outras, onde cada regime é descrito por uma simulação dinâmica do MGB (AHMADI; HOSSEINI; BASTANI, 2020). O que corrobora o MGB como o modelo mais simples disponível na literatura no apreçamento de opções (PIRJOL; ZHU, 2016).

Contudo, deve-se atentar que a assimilação de pressupostos, que não correspondem ao caminho de orientação natural dos ativos subjacentes pode resultar em subvaloração ou supervaloração de projetos de investimentos (LIANG et al., 2009), porém, para alguns casos pode ser suficiente com a abordagem do MGB, que é razoavelmente precisa (OSSENBRUGGEN; LAFLAMME, 2019).

2.8.2 Movimento Browniano Fracionário

O Movimento Browniano Fracionário (MBF) é um dos modelos mais populares para descrever fenômenos dependentes de curto e longo alcance. São exemplos de aplicações vários campos físicos, biológicos, hidrológicos, pesquisa em rede, sobretudo matemática financeira (YOSEF; BARANES, 2020). Ele consiste em um processo estocástico, não markoviano, com incrementos não estacionários, cuja função densidade de probabilidade é uma distribuição gaussiana no espaço (XU et al., 2020).

Processos estocásticos de dependência de longo ou curto alcance, com auto-similaridade, tem sido intensivamente utilizado como modelos para diferentes fenômenos (YAN; YU, 2019). O MBF é um processo gaussiano com média zero que, de acordo com Pei, Xu e Wu (2020), teve sua autosimilaridade e dependência de longo alcance introduzidas por Kolmogorov (1940) e apronfundadas por Mandelbrot e Ness (1968).

O MBF admite a auto-similaridade e incrementos estacionários, além de exibir a memória longa, logo, essas propriedades compactas auxiliam na caracterização de alguns fenômenos do mundo real (YU, 2019). As propriedades de auto-similaridade e dependência de longo alcance tornam o movimento browniano fracionário adequado em diferentes aplicações como finanças matemáticas (AHMADIAN; ROUZ, 2020).

O campo aleatório gaussiano com incrementos estacionários pode admitir direções particulares nas quais sua regularidade é maior, o que permite que a análise fractal aumente a acurácia de diagnósticos, inclusive com aplicações médicas (BIERMÉ; LACAUX, 2020). O Movimento Browniano Fracionário é um processo estocástico (ZHOKH; STRIZHAK, 2019) e assim como no movimento browniano regular, ele é gerado por meio da soma de uma série de etapas aleatórias com distribuição gaussiana, porém agora, o somatório é ponderado sobre as etapas brownianas anteriores (ADDISON et al., 1998).

Muitos fenômenos físicos aos quais o movimento browniano não se aplica podem ser explicados por meio do MBF, uma vez que não é limitado aos pressupostos do processo de Markov e de semimartingale, o que faz com que o MBF seja aplicado com sucesso a dados econômicos (HAN; SUN, 2019). O processo estocástico não-Markoviano subjacente fornece uma estrutura natural para analisar sequências complexas onipresentes de flutuações (VIOLANDA; BERNIDO; CARPIO-BERNIDO, 2019).

2.8.3 Modelo de Black Scholes

Durante as últimas décadas, pesquisadores tiveram interesse no problema da modelagem e derivação dos mercados financeiros (KARIPOVA; MAGDZIARZ, 2017) decorrente dos trabalhos publicados Black e Scholes (1973) e Merton (1973). Esses trabalhos tiveram impactos sobre o mercado financeiro e suscitaram grande interesse acadêmico por criarem os princípios do preço das opções de arbitragem (HU; GAN, 2018).

Uma abordagem popular para os contratos de opções de preços é o uso de modelos matemáticos baseados em equações diferenciais, partindo do pressuposto de mercados perfeitamente líquidos (PATSIUK; KOVALENKO, 2018; SHINDE; TAKALE, 2012). Para Black e Scholes (1973), o valor de uma opção européia em uma ação, cujo preço segue um movimento geométrico browniano com deriva e

volatilidade constante, é regido por um diferencial parabólico parcial de equação de segunda ordem em relação ao tempo e ao preço das ações. Tal pressuposto, deu origem à conhecida equação de Black-Scholes (CEN et al., 2018).

Além de ser um dos modelos mais efetivos de opções de preços, a equação de Black-Scholes é também o modelo mais simples para o preço de derivados financeiros, no qual o preço de todas as opções de compra e venda podem ser escritos de forma fechada (CHANANE, 2011; SOUSA; CRUZEIRO; GUERRA, 2018). Porém o modelo de Black-Scholes-Merton só pode valorar as opções européias, enquanto que a abordagem do modelo binomial pode também ser utilizada para opções americanas de exercício antecipado (HAHN; DYER, 2008).

2.8.4 Método de simulação de Monte Carlo

O método de simulação de Monte Carlo foi inicialmente incorporado em finanças em problemas de derivativos de precificação (WANG; KAO, 2016) e tem como objetivo estimar diferentes cenários em um determinado momento e permitir anexar um valor de probabilidade ao VPL do projeto (ROUT; SAHOO; THOMAS, 2018).

A simulação de Monte Carlo é uma ferramenta flexível e simples que é amplamente utilizada na avaliação de caminhos aleatórios (FATHI-VAJARGAH; SALIMIPOUR, 2017), é muito mais flexível e capaz de reproduzir certos processos com maior exatidão comparada a outros processos (FLORA; VARGIOLU, 2020). Contudo, a técnica pode ser aliada ao método binomial, uma vez que a simulação de Monte Carlo corrobora com a captura do valor da flexibilidade na evolução do preço do ativo, e, desta forma, permite que o tomador de decisões responda às diferentes variáveis previstas (BLANCO et al., 2011; BOYLE; GUTHRIE, 2006; TRIGEORGIS; SCHWARTZ, 2001).

Na precificação das Opções Reais, a utilização do método de simulação de Monte Carlo facilita o tratamento do fluxo de caixa esperado e permite a avaliação das opções propostas (LOPES et al., 2019). Deste modo, a simulação de Monte Carlo é empregada como um eficiente método de precificação de opções (PELLEGRINO; CARBONARA; CONSTANTINO, 2019).

Os métodos de avaliações das Opções Reais levam em consideração a presença de um alto nível de incerteza e flexibilidade gerencial no processo de decisões de investimento, favoráveis à aplicação da simulação de Monte Carlo (RĘBIASZ, 2019).

Contudo, é fundamental a definição da distribuição de probabilidade dos ativos subjacentes, para que a simulação de Monte Carlo produza valores das Opções Reais mais precisas (GUJ; CHANDRA, 2019).

O problema do número ideal de rotações de uma cultura florestal com a escolha do manejo silvicultural adequado, pode ser considerado como um conjunto de opções de compra europeia com distintos prazos de vencimento, com as quais o exercício deve ser, imprescindivelmente, no prazo de vencimento (SAMANEZ; FERREIRA; NASCIMENTO, 2014), ou seja, após a colheita da floresta plantada. Logo, ao exercer a opção de continuar com determinado manejo silvicultural para rotação seguinte, uma nova opção poderá, não obrigatoriamente, ser exercida após sete anos e, assim, sucessivamente.

2.8.5 Volatilidade

Decisões em projetos de investimento são diretamente dependentes da estimativa da demanda, onde mesmo pequenos aumentos inesperados de incerteza podem impactar no valor esperado dos fluxos de caixa (ALVAREZ, 1999). Nesse sentido, a volatilidade pode ser expressa como a variação que o ativo subjacente sofre ao longo do tempo, o qual irá indicar a incerteza (risco) produzida por meio dos retornos deste ativo (MONTEIRO, 2003).

Logo, a incerteza no preço do ativo subjacente deve ser determinada das estratégias ótimas de entrada e saída (ALVAREZ, 1998), uma vez que o impacto da incerteza nas decisões é um fator importante a ser considerado nas abordagens de avaliação econômica (MOON; BARAN, 2018) e ela refere-se à uma concepção generalizada de risco ou probabilidade de ganhos e perdas nos investimentos (TANG et al., 2017).

A estrita positividade da volatilidade é uma propriedade essencial na modelagem financeira (FONSECA; MARTINI, 2016) e sua inclusão nos processos, condicionará descrições mais precisas da dinâmica dos retornos (CAPORIN; ROSSI; MAGISTRIS, 2017). Contudo, na literatura existente sobre OR assume-se volatilidade dos ativos é constante (WANG; WANG; ZHOU, 2017).

A hipótese de volatilidade constante é claramente incompatível com os padrões de inclinação que geralmente estão presentes nos preços das Opções Reais (SOUSA; CRUZEIRO; GUERRA, 2018). Uma maneira natural de abordar esta questão é

introduzir aleatoriedade na volatilidade (TAKAISHI, 2018). Por esta razão, diversas extensões foram propostas para lidar com o comportamento estocástico da volatilidade (CARAVENNA; CORBETTA, 2018; NISHINO; KAKAMU; OGA, 2012; THAVANESWARAN; PEIRIS; APPADOO, 2008) e o principal mecanismo utilizado para a redução da incerteza, bem como a distribuição imparcial de riscos, envolve uma abordagem de Opção Real (LEE et al., 2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Espécie e manejo silvicultural

O presente estudo foi pautado em coeficientes técnicos-econômicos de florestas plantadas com *Eucalyptus*, clonal, com espaçamento de 3 m x 2 m, logo, demandou a área de 3.615,85 hectares, localizada na região Centro-Oeste do estado de São Paulo, Brasil, destinadas à produção de painéis de madeira particulada. Diante disso foram ponderadas três rotações consecutivas, sob diferentes manejos silviculturais, caracterizadas, respectivamente, por:

Implantação florestal (IF), 0 ao 7°ano: implantação de florestas plantadas com 1.667 árvores por hectare, Volume Médio Individual (VMI) de 0,22 m³ e Incremento Médio Anual (IMA) de 52,38 $m^3ha^{-1}ano^{-1}$;

Condução florestal (CFI), 8° ao 14° ano: talhadia de florestas plantadas com 1.333 árvores por hectare, VMI de 0,23 m³ e IMA de 44,42 $m^3ha^{-1}ano^{-1}$;

Condução florestal (CFII), 15° ao 21° ano: talhadia de florestas plantadas com 1.067 árvores por hectare, VMI de 0,25 m³ e IMA de 37,67 $m^3ha^{-1}ano^{-1}$.

3.2 Análise da série temporal do preço da madeira

Foi utilizada uma série temporal dos preços mensais da madeira de *Eucalyptus*, com tamanho de amostra igual a 90 meses, compreendia do intervalo de janeiro de 2011 a junho de 2018, os valores, em Real brasileiro (BRL), foram deflacionados utilizando o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP - DI) divulgado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2019), para o mês base, junho de 2019.

Para verificar o comportamento da série temporal, foram aplicados testes econométricos de normalidade, tendência, estacionaridade, autocorrelação e linearidade (MATIAS; SILVA; VIEIRA, 2005; OLSSON; HILLRING; VINTERBACK, 2011) e, por meio do *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019), os testes aplicados foram: teste Jarque Bera (JARQUE; BERA, 1980) com hipótese nula de distribuição normal dos dados, pacote *tseries*; teste de Cox Stuart (COX; STUART, 1955) com hipótese nula de que a série temporal possui tendência, pacote *randtests*; teste de Phillips-Perron (PHILLIPS; PERRON, 1988) com hipótese nula de raiz unitária, I (1), pacote *aTSA*; teste KPSS (KWIATKOWSKI et al., 1992) com hipótese

nula de estacionaridade, I (0), pacote *aTSA*; estimativa GPH (GEWEKE; PORTER-HUDAK, 1983) do parâmetro diferencial fracionário (d), pacote *fracdiff*.

3.3 Modelagem do preço do ativo subjacente

Por meio dos dados históricos do preço da madeira, foram calculados os valores do *drift* (α) de -7,93 % e volatilidade (σ) de 11,80 % em termos anuais. E assim, o preço do ativo subjacente foi modelado como um MBF (Equação 1), conforme Manley Niquidet (2017).

$$P_T = P_{t-1} e^{\left(\alpha T - \frac{\sigma^2 T^{2H}}{2}\right)} e^{\alpha\sqrt{\Delta T} W^H} \quad (1)$$

Em que:

H é o coeficiente de Hurst (H), que leva em conta o parâmetro de diferencial fracionario.

W^H é o ruído gaussiano fracionário.

A fim de estabelecer um comparativo, foi realizada a modelagem do ativo subjacente seguindo o MGB (Equação 2), conforme Miranda, Brandão e Lazo (2017). Desse modo, a diferença entre os modelos foi testada por meio do teste *Wilcoxon Rank Sum Test* (MANN; WHITNEY, 1947), com nível de significância de 5%.

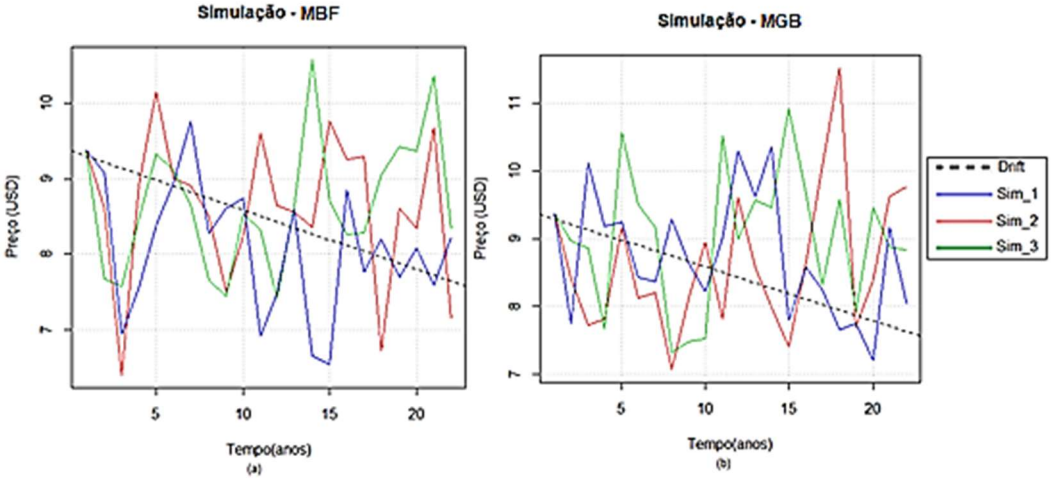
$$P_T = P_{t-1} e^{\left(\alpha - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta T} e^{\sigma\varepsilon\sqrt{\Delta T}} \quad (2)$$

Em que:

ε é o erro aleatório com distribuição normal padrão.

Com vistas à demonstrar o comportamento da série histórica do preço da madeira de *Eucalyptus*, quando a mesma é modelada por meio dos modelos estocásticos, plotou-se a Figura 1 (a), a qual representa a evolução dos preços da madeira seguindo o MBF e a Figura 1 (b) que representa a evolução por meio do MGB para os próximos 21 anos em três simulações. A linha tracejada representa a tendência, ligeiramente negativa dos preços, em 21 anos.

Figura 1 — Simulações dos preços de *Eucalyptus* por meio do (a) MBF e (b) MGB



3.4 Fluxo de caixa esperado do projeto de investimento florestal

Os valores monetários foram expressos em Dólar americano (USD) por ser uma divisa internacional de referência, conforme preconizado por Simões, Cervi e Batistela (2018), onde a taxa de câmbio utilizada foi de 3,8316 BRL, emitida pelo Banco Central do Brasil (2019) em 28 de junho, 2019.

A remuneração do capital pelo uso da terra, isto é, o custo de oportunidade que o produtor possui em decorrência do desenvolvimento de uma cultura em detrimento de outra (COSTA; PIKETTY; ABRAMOVAY, 2013) teve como premissa o valor da terra nua para reflorestamento, tendo como base a região de abrangência do estudo, conforme os dados disponibilizados pelo Instituto de Economia Agrícola (2019).

O valor monetário da exaustão dos ativos biológicos, ou seja, das florestas plantadas com *Eucalyptus* e as deduções dos tributos foram ponderados no período em que ocorreu o corte raso, em decorrência da geração de receitas. Logo, o enquadramento tributário do projeto de investimento foi pautado na legislação vigente, conforme Brasil (1996), lei nº 9.430, que dispõe sobre a legislação tributária federal, no regime tributário do lucro real, o qual considera geração de receita bruta superior a USD 5.399. Portanto, a alíquota do Imposto de Renda (IR) foi de 25 % e a Contribuição Social sobre Lucro Líquido (CSLL) foi de 9 %, além destes foram deduzidos 1,65 % referente ao Programa de Integração Social (PIS) e 7,6 % inerente à Contribuição para Financiamento da Seguridade Social (COFINS).

O fluxo de caixa esperado (Equação 3) foi projetado para um horizonte de planejamento de 21 anos, portanto, período considerado como a vida útil do ativo

biológico. Desta forma, ponderaram-se as despesas desembolsáveis provenientes dos tratamentos silviculturais, como: roçada, talhoamento, aplicação de formicidas e defensivos químicos, capina química, calagem mecanizada, subsolagem, coveamento, plantio, replantio, irrigação, reformas de cercas, transporte de insumos, adubação manual e mecânica, abertura de dreno, manutenção de aceiros, condução da rebrota e eliminação dos brotos.

$$FCL_{i,j} = [(V_i * P_i) * (1 - D) - Ito - Ex - R_T] * (1 - Tr) + Ex + R_T \quad (3)$$

Em que:

$FCL_{i,j}$ é o fluxo livre de caixa na idade i no estado de preço j;

V_i é o volume de madeira na idade i;

P_i é o preço da madeira na idade i;

D é o somatório das deduções de PIS, COFINS;

Ito são as despesas desembolsáveis provenientes do tratamento silvicultural;

Ex é a exaustão;

R_T é a remuneração pelo uso da terra;

Tr é a tributação.

3.5 Taxa do custo de oportunidade do projeto de investimento florestal

Diante da necessidade de estimar a taxa do custo de capital exigida pela participação dos credores no investimento, para efeito dos cálculos, tomou-se como base o CMPC (Equação 4), que é uma ponderação entre o custo de capital dos acionistas e o custo do capital dos credores, ajustado à taxa livre de risco (BRIGHAM; HOUSTON, 2012).

$$CMPC = k_e \frac{k_p}{k_p + k_t} + k_d \frac{k_t}{k_p + k_t} (1 - \mathrm{IR}) \quad (4)$$

Em que:

k_e é o custo de capital dos acionistas;

k_d é o custo de capital dos credores;

k_p é a participação do capital dos acionistas;

k_t é a participação do capital dos credores;

IR é a alíquota do Imposto de Renda.

Destarte, a taxa do custo de capital dos acionistas foi estimada, de acordo com Baker e English (2011), por meio da equação (5).

$$k_e = R_f + \beta l \left(R_m - R_f\right) + \alpha_{Br} \quad (5)$$

Em que:

R_f é a taxa livre de risco;

βl é o beta realavancado do setor;

R_m é o retorno esperado pelo mercado;

$\left(R_m - R_f\right)$ é o prêmio pelo risco de mercado;

α_{Br} é o prêmio risco-país.

Devido à sensibilidade do modelo de precificação de ativos de capital (CAPM) em descrever a percepção do risco de se investir em uma empresa, sobretudo no setor florestal, mensurou-se o retorno exigido pelos acionistas de 10,5 %, com taxa livre de risco de 5,5 %. Ressalta-se que, a taxa livre de risco incidiu da série histórica disponibilizada pelo Departamento do Tesouro dos EUA (2019) desde o ano de 1962, com prazo de maturidade de dez anos, que é a maturidade comumente empregada pelos analistas financeiros (VIEBIG et al., 2008). A predileção por períodos mais longos para cada variável resultará em ausência de qualquer tendência ao longo do tempo (DAMODARAN, 2012).

Para o coeficiente de risco sistemático do mercado, estimou-se o beta realavancado do setor de madeira e celulose, por meio das empresas de capital aberto, que possuíam ações negociadas na B3 S.A. - Brasil, Bolsa, Balcão (2019), foram elas: Celulose Irani, Duratex, Eucatex, Klabin e Suzano, que resultou no coeficiente sistemático médio desalavancado de 0,33 e 0,42, após realavancagem. Como prêmio de risco de mercado, assumiu-se o índice *S&P Global Timber & Forestry*, fornecido pela *S&P Dow Jones* (2019) para um período de 10 anos, resultando em retorno anualizado de 7,8 %.

Assim como a taxa livre de risco, o prêmio pelo risco Brasil de 4,1 % foi a média geométrica dos títulos de dívida emitidos por países emergentes desde o ano de 1994 (EMERGING MARKETS BOND INDEX + BR, 2019), ponderados geometricamente,

para não superestimar os valores das variáveis devido aos longos períodos de dados (DAMODARAN, 2010).

Para acuidade dos credores, o retorno exigido foi de 9,1 %, sendo o *spread* de 3,6 % pela inadimplência dos clientes, uma vez que o Brasil possuía, no período do estudo, a classificação de crédito especulativo (BA2) de acordo com a Moody's (2019). Dessa forma, a taxa do custo de oportunidade do projeto de investimento florestal, por meio do Custo Médio Ponderado de Capital (CMPC), foi de 8,6 %, com 34 % da alíquota do Imposto de Renda, conforme a tributação vigente no País, e 43 % da participação do capital dos credores.

3.6 Precificação das opções por meio da técnica de Monte Carlo

A escolha do número de rotação ideal pode ser resolvida por meio da metodologia de Monte Carlo, uma vez que é uma abordagem flexível para o cálculo de valores de opção, de uso específico em campos como o manejo florestal, e, sobretudo, porque pode ser colocado como problema de maximização (Equação 6) de expectativa (PETRÁSEK; PEREZ-GARCIA, 2010).

$$VF_{máx} = max[\sum_{n=0}^{N} \frac{[(V_i * P_i) * (1 - D) - Ito - Ex - R_T] * (1 - Tr) + Ex + R_T}{(1 + CMPC)^n}] \quad (6)$$

Em que:

$VF_{máx}$ é o valor esperado para cada rotação, em decorrência do máximo do fluxo de caixa esperado para cada rotação, com N sendo um múltiplo de 7.

Diante disso, por meio da abordagem de Ibáñez e Zapatero (2004), estabeleceu-se que o valor da continuação, ou seja, a adoção de uma nova rotação, consiste na fronteira ideal do valor do exercício, quando este é igual ao valor da continuação. E ainda, por meio da adaptação do algoritmo registrado pelos autores (Equação 7), realizou-se a abordagem de recursão inversa, com o limite máximo definido de três rotações consecutivas das florestas plantadas, ou seja, $t = 21$ anos.

$$VP_{exp} = \frac{1}{M}\sum_{i}^{7} VF_{máx} + \frac{1}{M}\sum_{i}^{14} VF_{máx} + \frac{1}{M}\sum_{i}^{21} VF_{máx} \quad (7)$$

Em que: M representa o número total de séries de preços simulados.

Ademais, executou-se a simulação de Monte Carlo dos fluxos de caixa descontados para cada rotação, com base na simulação do preço do ativo subjacente, os quais seguiram as distribuições dos modelos MBF e MGB, por meio do auxílio do *software* R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019), pacote *longmemo*, com geração de 50.000 trajetos de preços, com parâmetro inicial fixo "*22*".

O prêmio das opções (VO), as quais consideramos concomitantemente na análise do valor presente expandido foi resultante da diferença entre o valor presente expandido (VP_{exp}) com o valor presente sem flexibilidade (Equação 8).

$$VO = VP_{exp} - VP_{deter} \tag{8}$$

Em que:

VP_{deter} é o valor presente determinístico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

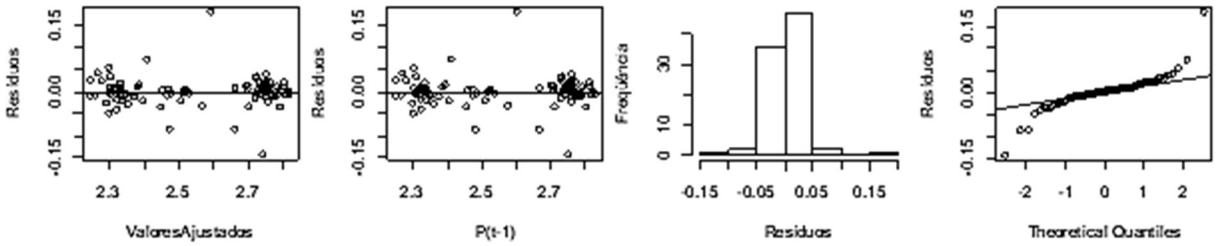
4.1 Modelagem do preço do ativo subjacente

Para a série temporal do preço da madeira de *Eucalyptus*, rejeitou-se a primeira hipótese testada de normalidade dos dados, por meio do teste de Jarque Bera (valor p de 0,0037). Logo, a escolha por testes não paramétricos, justifica-se por permitir maior acurácia dos resultados na presença de autocorrelação e heteroscedasticidade não condicional (AREAL; ARMADA, 1999).

Por meio do teste de Cox Stuart, constatou-se que a série temporal não paramétrica possuía tendência, com o qual rejeitou-se a hipótese nula (valor p de $5{,}684e^{-14}$). Conseguinte, o teste de Phillips-Perron, com a hipótese de que a série temporal, com *drift* e tendência possuía raiz unitária, atestou que a série era não estacionária, com valor p de 0,481.

Com a realização da análise de regressão, foi encontrado que o preço da madeira no tempo $t-1$ influiu significativamente o preço no tempo t (b = 0,9899), com estatística *t* de 55,106. Logo, a qualidade do ajuste da regressão foi verificada por meio da hipótese de normalidade dos resíduos que, por meio do teste de Jarque Bera, foi rejeitada com *valor p* de $2{,}2e^{-16}$, sugerindo que os resíduos não eram aleatórios, portanto, outro fator que influenciou na variável dependente (lnP_{t-1}) não foi considerado no ajuste (Figura 2). Desse modo, a independência dos incrementos, que é um dos pressupostos para aplicação do MGB, não pôde ser assumida para a série temporal.

Figura 2 — Análise dos resíduos da regressão linear



Frequentemente, preços de *commodity* são analisados sob a hipótese de reversão a média (KULATILAKA, 1993; SCHWARTZ, 1997). Pindyck (1999) verificou que muitas vezes a reversão da média só pode ser comprovada para séries temporais

com mais de 100 anos. Como o período de análise deste estudo foi de 90 meses, adotou-se outro teste para confirmar a condição de não estacionaridade da série, o teste KPSS, porém, com hipótese de estacionaridade I (0), uma vez que por meio deste teste é possível verificar se uma série é realmente I (d) e se sua segunda diferença segue um processo I (0), identificando uma memória longa verdadeira contra memória longa espúria (NIQUIDET; SUN, 2012).

Por meio do teste KPSS, a hipótese de estacionaridade da série não foi rejeitada, a qual apresenta memória longa verdadeira (valor p de 0,1). Logo, por meio da estimativa de GPH, para a série temporal do preço da madeira de *Eucalyptus* (lnP), o valor de 0,91 foi estimado para a memória longa verdadeira ou diferencial fracionario (d). Por conseguinte, coeficiente de Hurst de 0,85, para a série diferenciada ($lnP_t - lnP_{t-1}$).

Dessa forma, com base nos testes econométricos, atestou-se que o MBF foi mais apropriado para modelar os preços linearizados da madeira ao longo do tempo, do que o MGB. E ainda, assim como Black e Scholes (1973), que sabiam que as distribuições de retorno de preço não eram log-normais (LAJBCYGIER; CONNOR, 1997), este pressuposto foi assumido para o presente estudo.

As variações no preço do ativo subjacente, ou seja, no preço da madeira para projetos florestais, em alguns momentos, seguem um padrão repetitivo, os quais têm implicações diretas na escolha do manejo silvicultural adotado e, por conseguinte, afetam a adequação de políticas florestais (NIQUIDET; SUN, 2012), bem como políticas fiscais aplicáveis ao setor. Desse modo, ao verificar o comportamento da série histórica do preço da madeira, subsídio à escolha do melhor ajuste matemático são alcançados, como exemplo, a estimativa do parâmetro de diferencial fracionario , o qual para a série do preço da madeira de *Eucalyptus*, em um país de economia emergente, foi de 0,87.

Estimativas do fator do diferencial fracionario para outras espécies madeireiras foram realizadas, como para o *Pinus radiata*, em um estudo desenvolvido na Nova Zelândia por Manley e Niquidet (2017), os quais obtiveram valor de 0,78, contudo para uma série de dados compreendida no intervalo de 1973 a 2016. Além de Niquidet e Sun (2012) para preços da madeira na América do Norte, para os quais o fator *d* variou entre 0,68 e 0,81, sendo que para celulose, 0,64.

Os estudos que abordam a análise de raiz unitária concentraram-se em validar as hipóteses de estacionaridade e não estacionaridade, porém há choques causados

pela fuga de dentro para fora dos mercados durante períodos de crise e estresse financeiro (BEBER; BRANDT; KAVAJECZ, 2009). Dessa forma, a estimativa do fator de memória longa verdadeira (I (d)) é fundamental para que as autoridades reguladoras busquem manter a estabilidade financeira e o gerenciamento de políticas públicas (SUN et al., 2018), bem como o fornecimento de subsídios aos gestores ao empreenderem em projetos florestais.

Com efeito, para o preço da madeira, Manley e Niquidet (2017) encontraram, para o estudo de caso da Nova Zelândia, que uma possível explicação para a presença dos choques nos preços seria em função da constante evolução das exportações no país. O mesmo argumento é aplicável para a situação do preço da madeira de *Eucalyptus* no Brasil, haja vista que as exportações de painéis de madeira particulada e em fibras no período compreendido da série de preço também foram significativamente crescentes (MINISTÉRIO DA ECONOMIA, INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS, 2019).

Contudo, é válido argumentar o reflexo do aumento da demanda pela madeira como matéria prima para produção de painéis de madeira particulada ou de fibra, na aquisição por propriedades de terra com vistas a implantação de florestas plantadas, que, por conseguinte, reflete a influência que o mesmo pode exercer nos choques de preço da madeira, dada a crescente evolução do preço da terra (INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA, 2019) ao acompanhar o período do estudo.

4.2 Valoração do projeto de investimento florestal

Com a realização das simulações por meio da técnica de Monte Carlo, as saídas do modelo ($VF_{máx}$) são distribuições de probabilidades, com vistas a apoiar o gestor florestal na escolha do valor específico (PELLEGRINO; CARBONARA; COSTANTINO, 2019). Diante disso, as simulações com o preço seguindo o MBF ou MGB retornaram probabilidades de 100 % de execução de três rotações, ordenadas consecutivamente: IF, CFI e CF II.

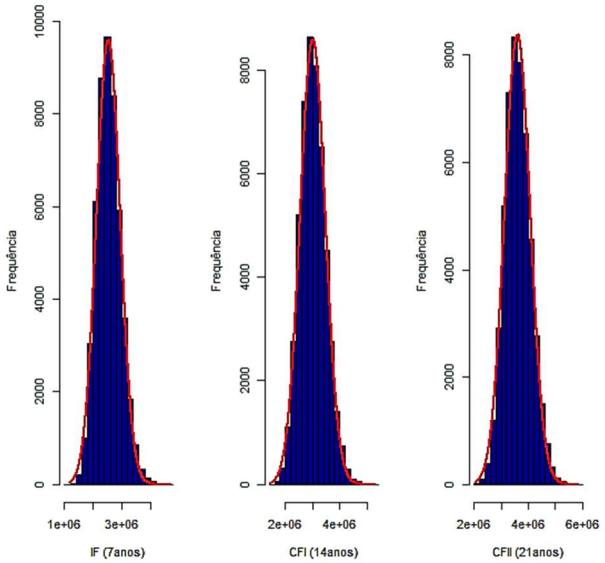
Por meio da modelagem do preço seguindo o MBF, a resultante do somatório das médias dos valores presentes simulados (Figura 3), em 50.000 séries de preços, para cada rotação, respeitando o manejo silvicultural adotado em cada ciclo, foi o valor presente expandido de USD 9.169.631, ou seja, acréscimo de 124,11 % ao valor presente determinístico de USD 4.091.543.

Nessa perspectiva, o valor presente médio simulado para a primeira rotação, com IF, foi de USD 2.543.973, desvio padrão de USD 415.419, mínimo USD 1.145.863, máximo de USD 4.701.840, com curtose e assimetria de 2,705e^{-01} e 3,724e^{-01}, respectivamente. O segundo manejo, CFI, retornou valor presente médio de USD 3.013.272, desvio padrão de USD 464.529, mínimo de USD 1.433.497, máximo de USD 5.290.618, curtose de 1,751e^{-01} e assimetria de 3,140e^{-01}.

Para a terceira rotação, CFII, a simulação resultou em valor presente médio de USD 3.612.386, desvio padrão de USD 476.140, mínimo de USD 2.024.243, máximo USD 5.850.472, curtose de 1,434e^{-01} e assimetria de 2,894e^{-01}. Observou-se que mesmo com a diminuição do volume das madeiras, conforme o término de cada rotação, houve ligeiro aumento monetário dos valores presente médios simulados, dado que as despesas silviculturais foram reduzidas com a alteração do manejo silvicultural adotado.

Destarte, com os coeficientes de curtose e assimetria estimados, as distribuições foram classificadas como leptocúrticas e simétricas, uma vez que foi estabelecido um comparativo entre a assimetria e esbeltez das distribuições com o comportamento padrão da distribuição teórica normal (MUNIS et al., 2018).

Figura 3 — Histograma das simulações, com o MBF, do preço da madeira para as rotações



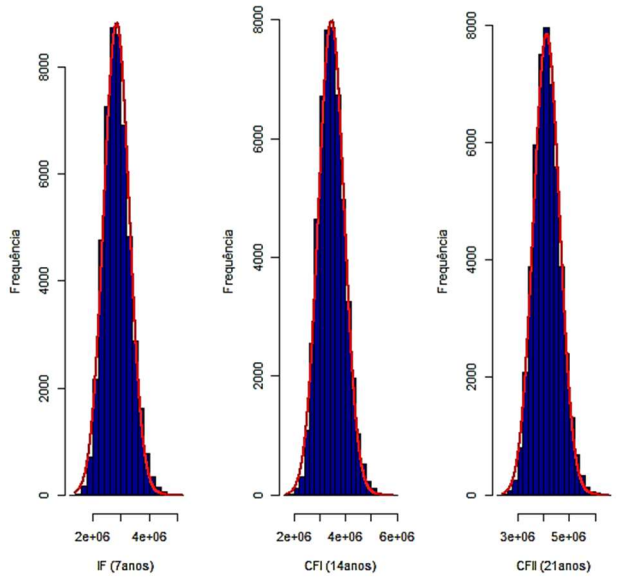
Para a modelagem do preço seguindo o MGB, o valor presente expandido resultante do somatório das médias simuladas (Figura 4), para cada rotação, foi de USD 10.456.161, acréscimo de 155,55 % ao valor presente determinístico. Por

conseguinte, o valor presente médio simulado para a primeira rotação, com IF, foi de USD 2.853.264, desvio padrão de USD 452.008, mínimo de USD 1.348.157, máximo de USD 5.146.872, com curtose e assimetria de $2{,}112e^{-01}$ e $3{,}645e^{-01}$, respectivamente.

Com a adoção do segundo manejo silvicultural, ou seja, CFI, o valor presente médio resultante foi de USD 3.467.598, desvio padrão de USD 499.195, mínimo de USD 1.676.121, máximo de USD 5.827.050, curtose de $1{,}745e^{-01}$ e assimetria de $3{,}045e^{-01}$, enquanto que para a terceira rotação, CFII, a simulação resultou em valor presente médio de USD 4.135.299, desvio padrão de USD 508.304, mínimo de USD 2.374.218, máximo USD 6.511.944, curtose de $1{,}751e^{-01}$ e assimetria de $2{,}949e^{-01}$.

As distribuições também, quando comparadas com o padrão da curva normal teórica, foram classificadas como leptocúrticas e simétricas, em consonância com os valores de curtose e assimetria obtidos.

Figura 4 — Histograma das simulações, com o MGB, do preço da madeira para as rotações



O sucesso econômico de qualquer projeto está em perceber o valor estratégico dos negócios, o que atribui às empresas, sobretudo florestais, vantagens competitivas (GROVER et al., 2018). Dessa forma, a oportunidade de uma decisão de investir em novas rotações de florestas plantadas, com a adoção de determinados sistemas de manejos silviculturais, proporcionou criação de valor ao projeto de investimento florestal, uma vez que o valor da opção de investimento é determinado pela interação

entre a incerteza do mercado e a estratégia de investimento (BELDERBOS; TONG; WU, 2019).

Como o valor das Opções Reais é uma função da flexibilidade do gestor florestal e sua capacidade de modificar suas decisões de investimento (MCDONALD; SIEGEL, 1986), as modelagens do ativo subjacente por meio do MBF e MGB, resultaram em acréscimos significativos ao projeto, 124,11 % e 155,55 %, respectivamente.

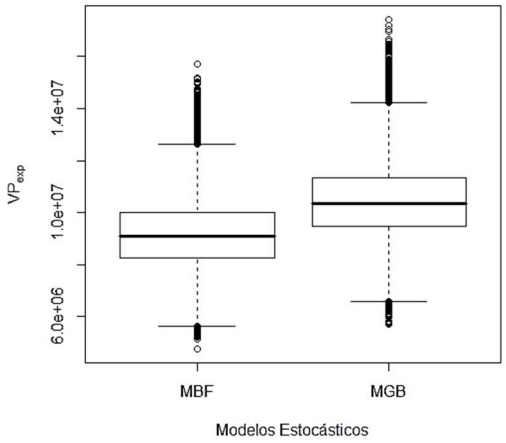
Essa parte substancial do valor do projeto, o qual tornou-o exequível face ao método determinístico, é devido ao desenvolvimento das opções disponíveis para os gestores florestais, as quais são essencialmente exercidas por meio de tomadas de decisões (CORTAZAR; SCHWARTZ; CASASSUS, 2001; SABET; HEANEY, 2017).

4.3 Reflexo da escolha da modelagem do preço no valor final do projeto

As distintas modelagens do preço da madeira, MBF ou MGB, resultaram em acréscimo de valor ao projeto de investimento que, por conseguinte, tornaram viável sua execução, uma vez que o VPL com flexibilidade foi superior a zero (SILVA; FONTES, 2005). Em contraste à abordagem tradicional, a qual resultou em déficit de USD 1.065.997, em decorrência do *Capital Expenditure* (CAPEX) de USD 5.157.540.

Contudo, com a modelagem do preço da madeira por meio do MGB o acréscimo foi de 31,44 %, como prêmio do exercício de 100 % das duas opções europeias com prazos de vencimento de 7 e 14 anos, consecutivamente, comparada à modelagem por meio do MBF. A diferença, entre as distribuições do valor presente expandido para o MBF e o para MGB, foi estatisticamente significativa (Figura 5), atestada por meio do *Wilcoxon Rank Sum Test*, com valor p menor que $2{,}2e^{-16}$.

Figura 5 — Boxplot do Valor Presente expandido para os modelos estocásticos MBF e MGB



Para desenvolver a avaliação de um ativo é necessário um modelo de desenvolvimento com valores e caracterização das dependências dos parâmetros (MARENA; ROMEO; SEMERARO, 2018). O estudo de funções aleatórias tem sido predominantemente dedicado às sequências de variáveis aleatórias independentes, porém séries temporais naturais normalmente apresentam intervalo de interdependência, que para o MBF pode ser considerado com infinito (MANDELBROT; NESS, 1968).

A legibilidade da memória longa presente na série temporal do preço do *Eucalyptus*, atestada por meio do teste de KPSS, acentuou a necessidade da eleição do padrão de modelagem correto, uma vez que há supervalorização do prêmio das opções por meio do MGB, 31,44 % quando comparado ao MBF, a qual pode resultar em dispêndios monetários significativos na alocação de estratégia para os gestores florestais.

A consciência das estratégias a serem adotadas em um projeto de investimento, quando bem observadas e mensuradas, proporcionam ganhos econômicos. Contudo, a criação de valor da opção exige alinhamento da estratégia de investimento das empresas aos ambientes em que se encontram (SODA; FURLOTTI, 2017), logo, devem ser percebidas como uma ferramenta para auxiliar o gestor florestal, não apenas em relação a projetos de baixo valores ou inviáveis por metodologias tradicionais, mas também para quantificar os ganhos reais acrescidos em projeto de alto valor (TIWANA et al., 2007).

5 CONCLUSÕES

Para a faixa de preço compreendida da série temporal para o gênero *Eucalyptus*, a modelagem por meio do Movimento Browniano Fracionário resulta em valor presente expandido, sendo este inferior ao valor presente expandido obtido por meio do Movimento Geométrico Browniano.

Quando a série temporal do preço da madeira de *Eucalyptus* indica memória longa verdadeira, a escolha do Movimento Geométrico Browniano resulta em supervalorização de 31,44 % do projeto de investimento florestal, todavia, a aplicação do capital disponível e o respectivo período de alocação, podem conduzir o gestor florestal às decisões equivocadas.

Uma vez indicada a presença de memória longa verdadeira na série temporal do preço da madeira de *Eucalyptus*, a modelagem do ativo subjacente realizada por meio do processo estocástico, Movimento Browniano Fracionário, é mais apropriada quando comparada ao Movimento Geométrico Browniano.

A incorporação de 100 % das opções europeias para as rotações das florestas plantadas com *Eucalyptus* com a modelagem do ativo subjacente por meio do Movimento Browniano Fracionário, em um horizonte de planejamento de 21 anos, agrega 124,11 % de valor ao projeto de investimento florestal, o que fomenta sua viabilidade economica em contraste ao método determinístico.

REFERÊNCIAS

ABDALLAH, S. B.; LASSERRE, P. Endangered species, real options, and forest management. **Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics**, Weinheim, v. 7, p. 1080803-1080804, 2007. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0928765511000765. Acesso em: 15 abr. 2018.

ABDALLAH, S. B.; LASSERRE, P. Asset retirement with infinitely repeated alternative replacements: Harvest age and species choice in forestry. **Journal of Economic Dynamics and Control**, Amsterdam, v. 70, p. 144-164, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165188916301208. Acesso em: 17 jun. 2018.

ABEL, A. B.; DIXIT, A. K.; EBERLY, J. C.; PINDICK, R. S. Options, the value of capital, and investment. **Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v. 111, p. 753-777,1996. Disponível em: https://www.nber.org/papers/w5227. Acesso em: 9 mar. 2018.

ADDISON, S. P.; QU, B.; NISBET, A.; PENDER, G. A non-Fickian, particle tracking diffusion model based on fractional Brownian motion. **International Journal for Numerical Methods in Fluids**, Chichester, v. 25, p.1373-1384, 1998. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/(SICI)1097-0363(19971230)25:12%3C1373::AID-FLD620%3E3.0.CO;2-6. Acesso em: 08 nov. 2019.

AHMADIAN, D.; ROUZ, O. F. Boundedness and Convergence Analysis of Stochastic Differential Equations with Hurst Brownian Motion. **Boletim da Sociedade Paranaense de Matematica**, Curitiba, v. 38, p. 187-196, 2020. Disponível em: http://www.spm.uem.br/bspm/pdf/vol38-5/12.pdf. Acesso em: 08 nov. 2019.

AHMADI, Z.; HOSSEINI, S. M.; BASTANI, A. F. A lattice-based approach to option and bond valuation under mean-reverting regime-switching diffusion processes. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, Amsterdam, v. 363, p. 156-270, 2020. Dispnível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377042719302742. Acesso em: 19 nov. 2019.

ALCÂNTARA, J. C. G. O modelo de avaliação de ativos (capital asset pricing model) aplicações. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 55-65, mar., 1981. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75901981000100006. Acesso em: 14 ago. 2018.

ALVAREZ, L. H. R. Exit strategies and price uncertainty: a Greenian approach. **Journal of Mathematical Economics**, Amsterdam, v. 29, p. 43-56, 1998. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304406896008130. Acesso em: 3 fev. 2018.

ALVAREZ, L. H. R. Optimal exit and valuation under demand uncertainty: A real options approach. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 114, p. 320-329, 1999. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221798002598. Acesso em: 7 jul. 2018.

AMARAL, H. F.; VILACA, C. S. I.; BARBOSA, C. F. M.; BRESSAN, V. G. F. Fundos de pensão como formadores de poupança interna: uma alternativa para o financiamento da atividade econômica. **Revista de Administração Contemporânea**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 137-158, jun., 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65552004000200008&lng=en&tlng=en. Acesso em: 9 abr. 2018.

AMORIM, A. L. G. C.; LIMA, I. S.; MURCIA, F. D. R. Análise da Relação entre as Informações Contábeis e o Risco Sistemático no Mercado Brasileiro. **Revista Contabilidade & Finanças**, São Paulo, v. 23, n. 60, p. 199-211, dez., 2012. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-70772012000300005. Acesso em: 7 set. 2018.

ANG, A.; CHEN, J. CAPM over the long run: 1926–2001. **Journal of Empirical Finance**, Amsterdam, v. 14, p. 1-40, 2007. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927539806000028. Acesso em: 21 maio. 2018.

AREAL, N. M. P. B. C.; ARMADA, M. J. R. Testes paramétricos e não-paramétricos de reversão para a média da rendibilidade de índices do mercado acionista. **Revista de administração contemporânea**, Curitiba, v. 3, n. 2, p. 7-28, 1999. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-65551999000200002. Acesso em: 11 nov. 2019.

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2006. 656 p.

ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G.; ARAÚJO, A. M. P. Uma proposta metodológica para o cálculo do custo de capital no Brasil. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 43, n. 1, p. 72-83, 2008. Disponível em: http://www.institutoassaf.com.br/downloads/artigo_rausp_custo_capital_no_brasil.pdf . Acesso em: 9 jun. 2018.

AYTAÇ, B.; HOANG, T. H. V.; MANDOU, C. Wine: To drink or invest in? A study of wine as an investment asset in French portfolios. **Research in International Business and Finance**, Philadelphia, v. 36, p. 591-614, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0275531915000252. Acesso em: 5 maio. 2018.

B3BOVESPA. **Cotações históricas.** Disponível em: http://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/historico/mercado-a-vista/cotacoes-historicas/. Acesso em: 11 fev. 2019.

BADE, B. Comment on “The weighted average cost of capital is not quite right”. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, Amsterdam, v. 49, p. 1476-1480, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1062976909000568. Acesso em: 7 ago. 2018.

BAJPAI, S.; SHARMA, A. K. An Empirical Testing of Capital Asset Pricing Model in India. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam, v. 189, p. 259-265, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815020145. Acesso em: 12 set. 2018.

BAKER, H. K.; ENGLISH, P. **Capital budgeting valuation**: financial analysis for today’s investment projects. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011. 518 p.

BANCO CENTRAL DO BRASIL (Org.). **Conversão de Moedas.** 2019. Disponível em:<https://www.bcb.gov.br/acessoinformacao/legado?url=https:%2F%2Fwww4.bcb.gov.br%2Fpec%2Fconversao%2Fconversao.asp>. Acesso em: 11 nov. 2019.

BANSAL, R.; KIKU, D.; SHALIASTOVICH, I.; YARON, A. Volatility, the macroeconomy and asset prices. **Journal of Finance**, New York, v. 69, p. 2471-2511, 2014. Disponível em: https://www.nber.org/papers/w18104.pdf. Acesso em: 21 out. 2018.

BARAN, F. D. **Avaliação de uma floresta de eucaliptos na presença de um mercado de certificados para reduções de emissões de carbono:** uma abordagem por opções reais. 2005. 112 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) - Pontíficia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2005.

BEBER, A.; BRANDT, M. W.; KAVAJECZ, K. A. Flight-to-quality or flight-to-liquidity? Evidence from the euro-area bond market. **The review of Financial Studies**, Oxford, v. 22, p. 925-957, 2009. Disponível em: https://www.nber.org/papers/w12376.pdf. Acesso em: 11 nov. 2019.

BELDERBOS, R.; TONG, T. W.; WU, S. Multinational investment and the value of growth options: Alignment of incremental strategy to environmental uncertainty. **Strategic Management Journal**, Sussex, v. 40, p. 127-152, 2019. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/smj.2969. Acesso em: 12 fev. 2019.

BEN-HORIN, M.; KROLL, Y. A simple intuitive NPV-IRR consistent ranking. **The Quarterly Review of Economics and Finance**, Champaign, v. 66, 108-114, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1062976917300091. Acesso em: 5 mar. 2018.

BERKOVITCH, E.; ISRAEL, R. Why the NPV criterion does not maximize NPV. **The Review of Financial Studies**, New York, v. 17, p. 239-255, 2004. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=138643. Acesso em: 6 jun. 2018.

BIERMÉ, H; LACAUX, C. Fast and exact synthesis of some operator scaling Gaussian random fields. **Applied and Computational Harmonic Analysis**, San Diego, v. 48, p. 293-320, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1063520318301362. Acesso em: 08 nov. 2019.

BINKLEY, D.; CAMPOE, O. C.; ALVARES, C.; CARNEIRO, R. L.; CEGATTA, I.; STAPE, J. L. The interactions of climate, spacing and genetics on clonal *Eucalyptus* plantations across Brazil and Uruguay. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 405, p. 271-283, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717311386. Acesso em: 15 dez. 2017.

BLACK, F.; SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of Political Economy**, Chicago, v.81, p. 637-654, 1973. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/1831029?seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 24 abr. 2018.

BLANCO, G.; OLSINA, F.; GARCÉS, F.; REHTANZ, C. Real option valuation of FACTS investments based on the Least Square Monte Carlo method. **IEEE Transactions on Power Systems**, New York, v. 26, p. 1389-1398, 2011. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/6673064. Acesso em: 29 set. 2018.

BLANCO, I.; WEHRHEIM, D. The bright side of financial derivatives: Options trading and firm innovation. **Journal of Financial Economics**, Lausanne, v. 125, p. 99-119, 2017. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2586441. Acesso em: 15 jun. 2018.

BOLLERSLEV, T.; ENGLE, R. F.; WOOLDRIDGE, J. M. A capital-asset pricing model with time varying covariances. **Journal of Political Economy**, Chicago, v. 96, p. 116-131, 1988. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/1830713?seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 10 ago. 2018.

BOYARCHENKO, S. Irreversible Decisions and Record-Setting News Principles. **The American Economic Review**, Nashville, v. 94, p. 557-568, 2004. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3592942#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 7 jul. 2018.

BOYLE, G. W.; GUTHRIE, G. A. Hedging the value of waiting. **Journal of Banking & Finance**, Amsterdam, v. 30, p. 1245-1267, 2006. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426605000981. Acesso em: 5 dez. 2018.

BORISON, A. Real options analysis: Where are the emperor's clothes? **Journal of Applied Corporate Finance**, New York, v. 17, p. 17-31, 2005. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1745-6622.2005.00029.x. Acesso em: 9 maio. 2018.

BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S. Projetos de opções reais com incertezas correlacionadas. **Revista de Administração e Contabilidade da UNISINOS**, São Leopoldo, v. 6, n. 1, p. 19-26, abr. 2009. Disponível em: http://revistas.unisinos.br/index.php/base/article/viewFile/4812/2074. Acesso em: 7 fev. 2018.

BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. Using Binomial Decision Trees to Solve Real-Option Valuation Problems. **Decision Analysis**, Catonsville, v. 2, p. 69-88, 2005. Disponível em: https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/deca.1050.0040. Acesso em: 31 out. 2018.

BRANDÃO, L. E.; FERNANDES, G.; DYER, J. S. Valuing multistage investment projects in the pharmaceutical industry. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 271, p. 720-732, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221718304557. Acesso em: 1 nov. 2018.

BRASIL. Constituição (1996). Lei nº 9430, de 27 de dezembro de 1996. **Lex**: Legislação Tributária Federal. Brasília, DF, 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9430.htm. Acesso em: 14 fev. 2019.

BRASIL, H. G.; DE FREITAS, J. M.; MARTINS, V. I. O.; GOLÇALVES, D. S.; RIBEIRO, E. **Opções reais**: conceitos e aplicações a empresas e negócios. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2007, 321 p.

BRAZEE, R.; MENDELSOHN, R. Timber harvesting with fluctuating prices. **Forest Science**, Bethesda, v. 34, p. 359-372, 1988. Disponível em: https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/34/2/359/4642432?redirectedFrom=fulltext. Acesso em: 10 fev. 2018.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C.; ALLEN, F. **Principles of corporate finance**. 12. ed. New York: McGraw-Hill. 2016. 977 p.

BRIGHAM, E. F.; HOUSTON, J. F. **Fundamentals of Financial Management**. 13. ed. Boston: Cengage learning, 2012. 708 p.

BROZ, D. R.; WOITSCHACH, G. B. M.; MILANESI, G. A real options approach to the determination of optimal harvesting age for two kinds of forest management. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 1, p. 89-96, mar.2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602014000100012. Acesso em: 2 mar. 2018.

BROBOUSKI, W. J. P. **Teoria das Opções Reais aplicada a um contrato de parceria florestal com preço mínimo**, 2004. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

CACERES, A. I.; LIU, B.; JABBA, S.; ACHANTA, S.; MORRIS, J. B.; JORDT, S. E. Transient Receptor Potential Cation Channel Subfamily M Member 8 channels mediate the anti-inflammatory effects of eucalyptol. **British Journal of Pharmacology**, London, v. 174, p. 867-879, 2017. Disponível em:

https://bpspubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/bph.13760. Acesso em: 9 mar. 2018.

CAI, Z.; REN, Y.; YANG, B. A semiparametric conditional capital asset pricing model. **Journal of Banking & Finance**, Amsterdam, v. 61, p. 117-126, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378426615002599. Acesso em: 22 ago. 2018.

CAIRNS, R. D. F. Faustmann's formulas for forests. **Natural Resource Modeling**, Tempe, v. 30, p. 52-73, 2017. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nrm.12105. Acesso em: 18 ago. 2018.

CARAVENNA, F.; CORBETTA, J. The asymptotic smile of a multiscaling stochastic volatility model. **Stochastic Processes and their Applications**, Amsterdam, v. 128, p. 1034-1071, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304414915300351. Acesso em: 17 abr. 2018.

CARDOSO, S. O. **Análise de investimento de capital na indústria brasileira de papel e celulose por meio da Teoria das Opções Reais:** o caso da Fibria papel e celulose S.A. 2014. 148 f. Dissertação (Mestrado em engenharia de produção) - Pontíficia Universidade Católica, Rio de Janeiro, 2014.

CAPORIN, M.; ROSSI, E.; MAGISTRIS, P. S. Chasing volatility: A persistent multiplicative error model with jumps. **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 198, p. 122-145, 2017. Disponível em: https://econpapers.repec.org/paper/aahcreate/2014-29.htm. Acesso em: 17 ago. 2018.

CEN, Z.; HUANG, J.; XU, A.; LE, A. Numerical approximation of a time-fractional Black–Scholes equation. **Computers and Mathematics with Applications**, New York, v. 75, p. 2874-2887, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0898122118300269. Acesso em: 6 set. 2018.

CHANG, S. J.; DEEGEN, P. Pressler’s indicator rate formula as a guide for forest management. **Journal of Forest Economics**, v. 17, p. 258-266, 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1104689911000390. Acesso em: 9 set. 2018.

CHANANE, B. Solutions of a class of partial differential equations with application to the Black–Scholes equation. **Applied Mathematics and Computation**, New York, v. 217, p. 7845-7850, 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0096300311003365. Acesso em: 13 mai. 2018.

CHAUDHARI, U. K.; KANE, M. B.; WETZSTEIN, M. E. The Key Literature of, and Trends in, Forestry Investment Decisions Using Real Options Analysis. **International Forestry Review**, Craven Arms, v. 18, p. 146-180, 2016. Disponível em: https://bioone.org/journals/International-Forestry-Review/volume-18/issue-

2/146554816818966291/The-Key-Literature-of-and-Trends-in-Forestry-Investment-Decisions/10.1505/146554816818966291.full. Acesso em: 14 out. 2018.

CHEN, S.; ZHANG, Q.; WANG, G.; ZHU, L.; LI, Y. Investment strategy for underground gas storage facilities based on real option model considering gas market reform in China. **Energy Economics**, Guildford, v. 70, p. 132-142, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988318300070. Acesso em: 10 ago. 2017.

COLLAN, M. Thoughts about selected models for real option valuation, Acta Universitatis Palackinae Olomucensis. **Mathematica**, Bucharest, v. 50, p. 5-12, 2011. Disponível em: https://dml.cz/bitstream/handle/10338.dmlcz/141747/ActaOlom_50-2011-2_1.pdf. Acesso em: 12 nov. 2018.

COPELAND, T. E.; ANTIKAROV, V. **Opções reais**: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos. 1. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2001. 368 p.

CORTAZAR, G.; SCHWARTZ, E. S.; CASASSUS, J. Optimal exploration investments under price and geological-technical uncertainty: a real options model. **R&D Management**, Oxford, v. 31, p. 181-189, 2001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780750653329500094. Acesso em: 31 maio. 2018.

COX, D. R.; STUART, A. Some quick sign tests for trend in location and dispersion. **Biometrika**, Oxford, v. 42, p. 80-95, 1955. Disponível em: https://academic.oup.com/biomet/article-abstract/42/1-2/80/241199?redirectedFrom=fulltext. Acesso em: 11 nov. 2019.

CUNHA, M. F.; CRUZ, A. F.; RECH, I. J.; PEREIRA, E. M. Custo de capital médio ponderado na avaliação de empresas no Brasil: uma investigação da aderência acadêmica e a prática de mercado. **Revista Ambiente Contábil**, Natal, v. 5, n. 2, p. 20-36, jul./dez. 2013. Disponível em: https://periodicos.ufrn.br/ambiente/article/view/4142. Acesso em: 9 jan. 2018.

CUTHBERT, J. R.; MAGNI, C. A. Measuring the inadequacy of IRR in PFI schemes using profitability index and AIRR. **International Journal Production Economics**, Amsterdam, v. 179, p. 130-140, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527316300949. Acesso em: 23 jan. 2018.

COSTA, R. C.; PIKETTY, M. G.; ABRAMOVAY, R. Pagamentos por serviços ambientais, custos de oportunidade e a transição para usos da terra alternativos: o caso de agricultores familiares do Nordeste Paraense. **Sustentabilidade em Debate**, Brasília, v.4, n. 1, p. 99-116, 2013. Disponível em: http://seer.bce.unb.br/index.php/sust/article/view/9202. Acesso em: 13 fev. 2019.

DALLEMOLE, D.; LINS, P.; SANTANA, A. C. Análise de investimento de coqueiral híbrido PB-121 para produção de coco seco. **Revista de Estudos Sociais**, Sinop, v. 2, n. 20, p. 7-17, 2008. Disponível em:

http://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/res/article/view/226. Acesso em: 5 ago. 2018.

DAMODARAN, A. **The dark side of valuation** – valuing young, distressed, and complex businesses. 2. ed. Upper Saddle River: FT Press/ Pearson Education, 2010. 590 p.

DAMODARAN, A. **Investment philosophies**: successful strategies and the investors who made them work. 2 ed. Hoboken: Wiley, 2012. 609 p.

DEJENE, T.; RUEDA, J. A. O.; PINTO, P. M. Fungal diversity and succession under *Eucalyptus grandis* plantations in Ethiopia. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 405, p. 179-187, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717307661. Acesso em: 24 out. 2018.

DEPARTAMENTO DO TESOURO DOS EUA. (Org.). **Daily Treasury Long Term Rate Data.** 2019. Disponível em: https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=longtermrate. Acesso em: 13 fev. 2019.

DIAS, M. A. G. **Análise de investimentos com opções reais**: Teoria e Prática com Aplicações em Petróleo e em outros Setores. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 322 p.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R.S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994. 488 p.

DOUGHERTY, D.; WRIGHT, J. Silviculture and economic evalution of eucalypt plantations in the Southern US. **BioResources**, Raleigh, v. 7, p. 1994-2001, 2012. Disponível em: http://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_07_2_1994_Dougherty_W_Silviculture_Economic_Eval_Eucalypt_US/1479. Acesso em: 26 jul. 2018.

DZURIÞKOVÁ, J.; FABINYOVÁ, R.; MIHALÞOVÁ, B. The opportunity cost of equity capital. **Procedia Economics and Finance**, Amsterdam, v. 23, p. 1492-1498, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115004621. Acesso em: 7 ago. 2017.

EHRHARDT, M. C.; BRIGHAM, E. F. **Administração Financeira**: Teoria e Prática. 13. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 969 p.

EMERGING MARKETS BOND INDEX + BR (Org.). **EMBI+ Risco-Brasil.** 2019. Disponível em: http://www.ipeadata.gov.br/ExibeSerie.aspx?serid=40940&module=M. Acesso em: 13 fev. 2019.

ESPAÑA, M. D.; ARBOLEDA, J. W.; RIBEIRO, J. A.; ABDELNUR, P. V.; GUZMAN, J. D. *Eucalyptus* leaf byproduct inhibits the anthracnose-causing fungus

Colletotrichum gloeosporioides. **Industrial Crops & Products**, v. 108, p. 793-797, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669017305137. Acesso em: 25 nov. 2018.

FALCINI, P. **Avaliação econômica de empresas**: técnica e prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1995. 205 p.

FAMA, E. F.; FRENCH, K. R. O modelo de precificação de ativos de capital: teoria e evidências. **RAE Clássicos**, São Paulo, v. 47, n. 2, p. 103-118, jun., 2007. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-75902007000200015. Acesso em: 12 maio. 2018.

FARBER, A.; GELLET, R.; SZAFARZ, A. A General Formula for the WACC. **International Journal of Business**, Bruxelles, v. 11, p.1-11, 2006. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=898420. Acesso em: 2 fev. 2018.

FARSHADFAR, S.; MONEM, R. Further Evidence on the Usefulness of Direct Method Cash Flow Components for Forecasting Future Cash Flows. **International Journal of Accounting**, Urbana, v. 48, p. 111-133, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020706312001513. Acesso em: 16 jun. 2018.

FATHI-VAJARGAH, B.; SALIMIPOUR, A. Evaluating Wave Random Path Using Multilevel Monte Carlo. **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**, Amsterdam, v.7, p. 001-010, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405535217300165. Acesso em: 9 abr. 2018.

FAVATO, G.; VECCHIATO, R. Embedding real options in scenario planning: A new methodological approach. **Technological Forecasting & Social Change**, New York, v. 124, p. 135-149, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162516300841. Acesso em: 17 jan. 2018.

FGV- Fundação Getúlio Vargas. **Índice Geral de Preços - IGP-DI**. Disponível em: https://portalibre.fgv.br/estudos-e-pesquisas/indices-de-precos/igp/. Acesso em: 11 nov. 2019.

FINK, L.; NEUMANN, S. Exploring the perceived business value of the flexibility enabled by information technology infrastructure. **Information & Management**, Amsterdam, v. 46, p. 90-99, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378720608001419. Acesso em: 19 fev. 2018.

FLETEN, S. E.; LINNERUD, K.; MOLNÁR, P.; NYGAARD, M. T. Green electricity investment timing in practice: Real options or net present value? **Energy**, Oxford, v. 116, p. 498-506, 2016. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036054421631386X. Acesso em: 28 jun. 2018.

FLORA, M.; VARGIOLU, T. Price dynamics in the European Union Emissions Trading System and evaluation of its ability to boost emission-related investment decisions. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 280, p. 383-394, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221719305909. Acesso em: 08 nov. 2019.

FODRA, M.; ESPERANCINI, M. S. T. Análise de viabilidade econômica de um sistema de co-geração de energia elétrica em condições de risco. **Revista Brasileira de Energia**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 197-211, 2013. Disponível em: http://new.sbpe.org.br/artigo/analise-de-viabilidade-economica-de-um-sistema-de-co-geracao-de-energia-eletrica-em-condicoes-de-risco/. Acesso em: 16 out. 2018.

FONSECA, J.; MARTINI, C. The α-hypergeometric stochastic volatility model. **Stochastic Processes and their Applications**, Amsterdam, v. 5, p. 1472-1502, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304414915002999. Acesso em: 17 maio. 2018.

FOO, N.; BLOCH, H.; SALIM, R. The optimisation rule for investment in mining projects. **Resources Policy**, Guildford, v. 55, p. 123-132, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420717302829. Acesso em: 30 nov. 2018.

FORRESTER, D. I. Growth responses to thinning, pruning and fertiliser application in *Eucalyptus* plantations: A review of their production ecology and interactions. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 310, p. 336-347, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112713005744. Acesso em: 31 ago. 2017.

FRANK, M. Z.; SHEN, T. Investment and the weighted average cost of capital. **Journal of Financial Economics**, Lausanne, v. 119, p. 300-315, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304405X15001683. Acesso em: 31 ago. 2017.

GAJEK, L.; KUCIŃSKI, L. Complete discounted cash flow valuation. **Insurance: Mathematics and Economics**, Amsterdam, v. 73, p. 1-19, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167668715303279. Acesso em: 2 fev. 2018.

GAO, Y.; DRIOUCHI, T. Accounting for ambiguity and trust in partial outsourcing: A behavioral real options perspective. **Journal of Business Research**, Athens, v. 92, p. 93-104, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296318302996. Acesso em: 9 dez. 2018.

GARCÍA-SÁNCHEZ, I. M.; NOGUERA-GÁMEZ, L. Integrated information and the cost of capital. **International Business Review**, Pergamon, v. 26, p. 959-975, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969593117301774. Acesso em: 6 abr. 2018.

GEWEKE, J.; PORTER-HUDAK, S. THE ESTIMATION AND APPLICATION OF LONG MEMORY TIME SERIES MODELS. **Journal of time series analysis**, Chichester, v. 4, p. 221-238, 1983. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/j.1467-9892.1983.tb00371.x. Acesso em: 11 nov. 2019.

GHAFARIAN, B.; HANAFIZADEH, P.; QAHI, A. H. M. Applying Greek letters to robust option price modeling by binomial-tree. **Physica A**: **Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 503, p. 632-639, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437118303145. Acesso em: 12 dez. 2018.

GITMAN, L. J. **Princípios de adminstração financeira**. 16. ed. São Paulo: Pearson, 2016. 380 p.

GJOLBERG, O.; GUTTORMSEN, A. G. Real options in the forest: what if prices are mean-reverting? **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 4, p.13-20, 2002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934101000764. Acesso em: 10 fev. 2018.

GLENSK, B.; MADLENER, R. Evaluating the enhanced flexibility of lignite-fired power plants: A real options analysis. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 177, p. 737-749, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418310653. Acesso em: 10 fev. 2018.

GOULART, A. M. C. Custo de oportunidade: oculto na contabilidade, nebuloso na mente dos contadores. **Revista Contabilidade & Finanças**, São Pailo, v. 13, n. 30, p. 19-31, 2002. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1519-70772002000300002. Acesso em: 6 maio. 2018.

GRAHAM, J. R.; HARVEY, C. R. The theory and practice of corporate finance: evidence from the field. **Journal of Financial Economics**, Lausanne, v. 60, p. 187-243, 2001. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304405X01000447. Acesso em: 31 out. 2018.

GRINBLATT, M.; LIU, J. Debt policy, corporate taxes, and discount rates. **Journal of Economic Theory**, San Diego, v. 141, n. 1, p. 225-254, jul., 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022053107001263. Acesso em: 22 jul. 2018.

GROVER, V.; CHIANG, R. H. L.; LIANG, T. P.; ZHANG, D. S. Creating Strategic Business Value from Big Data Analytics: A Research Framework. **Journal of Management Information Systems**, Armonk, v: 35, p. 388-423, 2018. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/07421222.2018.1451951. Acesso em: 12 fev. 2018.

GUEDES, J.; SANTOS, P. Valuing an offshore oil exploration and production project through real options analysis. **Energy Economics**, Guildford v. 60, p. 377-386, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988316302699. Acesso em: 7 set. 2018.

GUJ, P.; CHANDRA, A. Comparing different real option valuation approaches as applied to a copper mine. **Resources Policy**, Guildford, v. 61, p. 180-189, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420718303702. Acesso em: 08 nov. 2019.

HAHN, W. J.; DYER, J. S. Discrete time modeling of mean-reverting stochastic processes for real option valuation. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 184, p. 534-548, 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221706011490. Acesso em: 17 abr. 2018.

HAN, Y.; SUN. Y. Stochastic linear quadratic optimal control problem for systems driven by fractional Brownian motions. **Optimal Control Applications And Methods**, Sussex, v. 40, p.900-913, 2019. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/oca.2523?af=R#accessDenialLayout. Acesso em: 08 nov. 2019.

HE, W. P.; LEPONE, A.; LEUNG, H. Information asymmetry and the cost of equity capital. **International Review of Economics and Finance**, Greenwich, v. 27, p. 611-620, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105905601300018X. Acesso em: 28 dez. 2018.

HE, C.; MURRAY, F.; LYONS, T. Monoterpene and isoprene emissions from 15 *Eucalyptus*ecies in Australia. **Atmospheric Environment**, Oxford, v. 34, p. 645-655, 2000. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S105905601300018X. Acesso em: 6 fev. 2018.

HENAO, A.; SAUMA, E.; REYES, T.; GONZALEZ, A. What is the value of the option to defer an investment in Transmission Expansion Planning? An estimation using Real Options. **Energy Economics**, Guildford, v. 65, p. 194-207, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014098831730141X. Acesso em: 9 dez. 2018.

HIGGINS, J. C.; PALMER, A.; NIXON, R. *Eucalyptus* oil: contact allergy and safety. **Contact Dermatitis**, Copenhagen, v. 72, p. 344-346, 2015. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/cod.12376. Acesso em: 30 out. 2018.

HIGGINS, R. C. **Analysis for Financial Management**. 10. ed. New York: McGraw-Hill. 2011. 484 p.

HILARY, G.; HSU, C.; SEGAL, B.; WANG, R. The bright side of managerial over-optimism. **Journal of Accounting and Economics**, Amsterdam, v. 62, p. 46-64, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165410116300040. Acesso em: 14 jun. 2018.

HO, S. H.; LIAO, S. H. A fuzzy real option approach for investment project valuation. **Expert Systems with Applications**, New York, v. 38, p. 15296-15302, 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417411009055. Acesso em: 4 ago. 2018.

HU, J.; GAN, S. High order method for Black–Scholes PDE. **Computers and Mathematics with Applications**, New York, v. 75, p. 2259-2270, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0898122117307654. Acesso em: 6 jul. 2018.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório IBÁ 2017**. São Paulo. 2017. Disponível em: https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf. Acesso em: 23 jan. 2020.

IBÁÑEZ, A.; ZAPATERO, F. Monte Carlo valuation of Amerian Options through computation of the optimal exercise frontier. **Journal of financial and quantitative analysis**, Cambridge, v. 39, p. 253-275, 2004. Disponível em: https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-financial-and-quantitative-analysis/article/monte-carlo-valuation-of-american-options-through-computation-of-the-optimal-exercise-frontier/2B11DAAACA4992A4AE97C46218CD8524. Acesso em: 11 nov. 2019.

ILHA, M. S. O.; CAMPOS, M. A. S. Qualidade de investimentos no uso de água pluvial: Particles Swarm Optimization para a maximização do valor presente líquido. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 374-382, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/esa/v19n4/1413-4152-esa-19-04-0373.pdf. Acesso em: 7 jun. 2018.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Valor da terra nua**. Disponível em: ciagri.iea.sp.gov.br/bancoiea_TEste/Precor_TerraNua_SEFAZ.aspx. Acesso em: 11 nov. 2019.

IOULIANOU, S.; TRIGEORGIS, L.; DRIOUCHI, T. Multinationality and firm value: The role of real options awareness. **Journal of Corporate Finance**, Amsterdam, v. 46, p. 77-96, 2017. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929119917303905. Acesso em: 7 fev. 2018.

JACOBSEN, J. B. The regeneration decision: a sequential two-option approach. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 37, p. 439-448, 2007. Disponível em: https://pubag.nal.usda.gov/catalog/707822. Acesso em: 2 maio, 2018.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. **Economics Letters**, Amsterdam, v. 6, p. 255-259, 1980. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165176580900245. Acesso em: 11 nov. 2019.

JOAQUIM, M. S.; SOUZA, Á. N., SOUZA, S. N., PEREIRA, R. S., ANGELO, H. Aplicação da Teoria das Opções Reais na análise de investimentos em sistemas agroflorestais. **CERNE**, Lavras, v. 21, n. 3, p. 439-447, set. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-77602015000300439&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 19 ago. 2018.

JOBBÁGY, E. G.; BALDI, G.; NOSETTO, M. D. **Forests in Development**: A Vital Balance. Dordrecht: Springer, 2011, 86 p.

KALLIO, M.; KUULA, M.; OINONEN, S. Real options valuation of forest plantation investments in Brazil. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 217, p. 428-438, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722171100868X. Acesso em: 18 nov. 2018.

KARIPOVA, G.; MAGDZIARZ, M. Pricing of basket options in subdiffusive fractional Black–Scholes model. **Chaos, Solitons and Fractals**, Oxford, v. 102, p. 245-253, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960077917301959. Acesso em: 17 ago. 2018.

KIESEL, R.; RAHE, F. Option pricing under time-varying risk-aversion with applications to risk forecasting. **Journal of Banking and Finance**, Amsterdam, v. 76, p.120-138, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037842661630200X. Acesso em: 14 nov. 2018.

KIM, K. H.; KIM, T. Capital asset pricing model: A time-varying volatility approach. **Journal of Empirical Finance**, Amsterdam, v.37, p. 268-281, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0927539816300032. Acesso em: 25 set. 2018.

KIM, Y. S.; STOYANOV, S.; RACHEV, S.; FABOZZI, F. Multi-purpose binomial model: Fitting all moments to the underlying geometric Brownian motion. **Economics Letters**, Amsterdam, v. 145, p. 225-229, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165176516302014. Acesso em: 20 set. 2018.

KITABATAKE, Y. Real options analysis of the Minami Alps forest road construction project: new valuation approach to social infrastructure project with sequential unit projects. **Environmental Economics and Policy Studies**, Tokyo, v. 5, p. 261-290, 2002. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/BF03353925. Acesso em: 21 jul. 2018.

KOCH-MEDINA, P.; WENZELBURGER, J. Equilibria in the CAPM with non-tradeable endowments. **Journal of Mathematical Economics**, Amsterdam, v. 75, p. 93-107, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304406817301428. Acesso em: 3 mar. 2018.

KOGUT, B.; KULATILAKA, N. Operating flexibility, global manufacturing and the option value of a multinational network. **Management Science**, Providence, v. 40, p. 123-139, 1994. Disponível em: https://pubsonline.informs.org/doi/10.1287/mnsc.40.1.123. Acesso em: 4 abr. 2018.

KOLMOGOROV, A. Wienersche spiralen und einige andere interessante kurven im Hilbertschen raum. **C. R. Dokl. Acad. Sci. URSS (N.S.)**, v. 26, p. 115-118, 1940. Disponível em: https://mathscinet.ams.org/mathscinet-getitem?mr=0003441. Acesso em 19 nov. 2019.

KOZLOVA, M. Real option valuation in renewable energy literature: Research focus, trends and design. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Pergamon, v. 80, p. 180-196, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117307669. Acesso em: 5 abr. 2018.

KRISHNAN, G. V.; LARGAY, J. A. The predictive ability of direct cash flow information. **Journal of Business Finance and Accounting**, Oxford, v. 27, p. 215-245, 2000. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1468-5957.00311. Acesso em: 7 abr. 2018.

KRÜGER, N. A. To kill a real option – Incomplete contracts, real options and PPP. **Transportation Research Part A**, Oxford, v. 46, p. 1359-1371, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0965856412000730. Acesso em: 5 ago. 2017.

KULATILAKA, N. The value of flexibility: The case of a duel-fuel industrial steam boiler. **Financial Management**, Hoboken, v. 33, n. 3, p. 255-240, 1993. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3665944?seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 11 nov. 2019.

KWIATKOWSKI, D.; PHILLIPS, P. C. B.; SCHMIDT, P.; SHIN, Y. Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? **Journal of Econometrics**, Amsterdam, v. 54, p. 159-178, 1992. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030440769290104Y. Acesso em: 11 nov. 2019.

LAJBCYGIER, P. R.; CONNOR, J. T. Improved option pricing using artificial neural networks and bootstrap methods. **International Journal of Neural Systems**, Singapore, v. 8, p. 457-471, 1997. Disponível em: https://doi.org/10.1142/S0129065797000446. Acesso em: 11 nov. 2019.

LAMBRECHT, B. M. Real options in finance. **Journal of Banking & Finance**, Amsterdam, v. 81, p. 166-171, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378426617300560. Acesso em: 6 maio 2018.

LEE, H.; PARK, T.; KIM, B.; KIM, K.; KIM, H. A real option-based model for promoting sustainable energy projects under the clean development mechanism. **Energy Policy**, Surrey, v. 54, p. 360-368, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421512010336. Acesso em: 27 out. 2018.

LEYMAN, P.; VANHOUCKE, M. Payment models and net present value optimization for resource-constrained project scheduling. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 91, p. 139-153, 2016. Disponível em: sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835215004544. Acesso em: 3 out. 2017.

LIANG, X.; ZHANG, H.; XIAO, J.; CHEN, Y. Improving option price forecasts with neural networks and support vector regressions. **Neurocomputing**, Amsterdam, v. 72, p. 3055-3065, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092523120900109X. Acesso em: 19 nov. 2019.

LIAO, S. H.; HO, S. H. Investment project valuation based on a fuzzy binomial approach. **Information Sciences**, New York, v. 180, p. 2124-2133, 2010. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020025510000770. Acesso em: 4 out. 2017.

LIMA, M. V. A.; LIMA, C. R. M.; DUTRA, A.; LOPES, A. L. M. Avaliação de micro e pequenas empresas utilizando a metodologia multicritério e o método do fluxo de caixa descontado. **Revista de Ciências da Administração**, Florianópolis, p. 48-71, jan. 2010. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/adm/article/view/2175-8077.2010v12n26p48. Acesso em: 7 jul. 2017.

LIN, J.; WECK, O.; MACGOWAN, D. Modeling epistemic subsurface reservoir uncertainty using a reverse Wiener jump–diffusion process. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Amsterdam, v. 84-85, p. 8-19, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0920410512000332. Acesso em: 1 ago. 2017.

LIN, L.; LI, Y.; WU, J. The pricing of European options on two underlying assets with delays. **Physica A**: **Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 495, p.143-151, 2018. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117312621. Acesso em: 9 ago. 2018.

LINTNER, J. The valuation of risk assets and the selection of risky investments in stock portfolios and capital budgets. **The Review of Economics and Statistics**, Cambridge, v. 47, p. 13-37, 1965. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780127808505500186. Acesso em: 12 ago. 2017.

LIU, X.; RONN, E. I. Using the Binomial Model for the Valuation of Real Options in Computing Optimal Subsidies for Chinese Renewable Energy Investments. **Energy Economics**, Guildford, n. 104692, *in press*. https://doi.org/10.1016/j.eneco.2020.104692. 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988320300311. Acesso em: 03 fev. 2020.

LOPES, C. C.; BLANK, F. F.; THOMÉ, A. M. T.; VALLADÃO, D. M. Investment decisions in an oil refinery in Brazil Under a real option approach. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, Rio de Janeiro, v.16, p. 375-386, 2019. Disponível em: https://bjopm.emnuvens.com.br/bjopm/article/view/789/878. Acesso em: 08 nov. 2019.

LYUU, Y. D.; TENG, H. W. Unbiased and efficient Greeks of financial options. **Finance and Stochastics**, Berlin, v. 15, p. 141-181, 2011. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s00780-010-0137-5. Acesso em: 13 ago. 2017.

MA, Y.; ZHAO, Q.; XI, M. Decision-makings in safety investment: An opportunity cost perspective. **Safety Science**, Amsterdam, v. 83, p. 31-39, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753515002957. Acesso em: 05 fev. 2020.

MAGNI, C. A. Investment decisions in the theory of finance: some antinomies and inconsistencies. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 137, p. 206-217, 2002. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221701000339. Acesso em: 18 ago. 2017.

MAGNI, C. A. Investment, financing and the role of ROA and WACC in value creation. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 244, n. 3, p. 855-866, ago., 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221715001071. Acesso em: 9 nov. 2018.

MAIER, C. A.; ALBAUGH, T. J.; COOK, R. I.; HALL, K.; MCINNIS, D.; JOHNSEN, K. H.; JOHNSON, J.; RUBILAR, R. A.; VOSE, J. M. Comparative water use in short-rotation *Eucalyptus benthamii* and *Pinus taeda* trees in the Southern United States. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 397, p. 126-138, 2017. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112716307058. Acesso em: 10 nov. 2018.

MALAQUIAS, R. F.; ZAMBRA, P. Disclosure of financial instruments: Practices and challenges of Latin American firms from the mining industry. **Research in International Business and Finance**, Greenwich, v. 45, p. 158-167, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0275531917302350. Acesso em: 3 jan. 2019.

MANDELBROT, B.; NESS, V. Fractional Brownian motions, fractional noises and applications. **SIAM Review**, v. 10, p. 422-437, 1968. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/fe5c/19465b9e0488c19cba8e42120af3b362a495.pdf. Acesso em: 11 nov. 2019.

MANLEY, B.; NIQUIDET, K. How does real option value compare with Faustmann value when log prices follow fractional Brownian motion? **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 85, p. 76-84, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389934117301673. Acesso em: 14 set. 2018.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **Annals of Mathematical Statistics**, Shaker Heights, v. 18, n. 1, p. 50-60, 1947. Disponível em: https://projecteuclid.org/euclid.aoms/1177730491. Acesso em: 05 fev. 2020.

MANUEL, M. B.; JOSE, B. I. A valuation of wind power projects in Germany using real regulatory options. **Energy**, Oxford, v. 77, p. 422-433, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544214010834. Acesso em: 13 ago. 2017.

MARCHIONI, A.; MAGNI, C. A. Investment decisions and sensitivity analysis: NPV-consistency of rates of return. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 268, p. 361-372, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221718300079. Acesso em: 31 jul. 2018.

MARENA, M.; ROMEO, A.; SEMERARO, P. Pricing multivariate barrier reverse convertibles with factor-based subordinators. **Journal of Computational Finance**, London, v. 21, p. 97-129, 2018. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3168622. Acesso em: 09 fev. 2018.

MARTINS, G. N.; MELO, A. S. S. A. O valor da opção de preservação do parque dos Manguezais em Recife-PE: uma utilização do método de opções reais. **Revista Economia**, Niterói, v. 8, n. 4, p. 75-95, 2007. Disponível em: http://www.anpec.org.br/revista/vol8/vol8n4p75_95.pdf. Acesso em: 7 set. 2018.

MATIAS, M. A.; SILVA, C. A. T.; VIEIRA, L. Analysis of price behavior patterns for revenue projections: statistical tests of a copper price time series. **Brazilian**

business review, Vitória, v. 2, p. 108-123, 2005. Disponível em: https://doi.org/10.15728/bbr.2005.2.2.2. Acesso em 11 nov. 2019.

MAULEÓN, I.; HAMOUDI, H. Photovoltaic and wind cost decrease estimation: Implications for investment analysis. **Energy**, Oxford, v. 137, p. 1054-1065, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217304929. Acesso em: 13 nov. 2018.

MAZZEO, L. M. Análise de risco e retorno: o indice “beta" como medida de risco sistematico. **Semina**, Londrina, v. 9, n. 2, p. 90-93, 1988. Disponível em: http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/seminasoc/article/view/8941/7858. Acesso em: 3 jun. 2018.

MCDONALD, R.; SIEGEL, D. The Value of Waiting to Invest. **Quarterly Journal of Economics**, Cambridge, v. 101, p. 707-727, 1986. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/1884175?seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 3 ago. 2018.

MERTON, R. C. Theory of rational option pricing. **Journal of Economics and Management Sciences**, Durbanville, v. 4, p.141-183, 1973. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3003143. Acesso em: 5 jan. 2018.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA, INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Séries históricas**. Disponível em: http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/series-historicas. Acesso em: 11 nov. 2019.

MIRANDA, O. R.; BRANDÃO, L. E.; LAZO, J. G. L. A dynamic model for valuing flexible mining exploration projects under uncertainty. **Resources Policy**, Oxford, v. 52, p. 393-404, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301420716301945. Acesso em: 11 nov. 2019.

MONTE, P. A.; ARAUJO NETO, P. L.; RÊGO, T. F. Avaliação de empresas pelo Método do Fluxo de Caixa Descontado: o caso da Aracruz Celulose S/A. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, Florianópolis, v. 1, n. 11, p. 37-58, Jan./Jun., 2009. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/contabilidade/article/view/2175-8069.2009v6n11p37. Acesso em: 10 jul. 2018.

MONTEIRO, R. C. **Contribuições da abordagem de avaliação de opções reais em ambientes econômicos de grande volatilidade** - Uma ênfase no cenário Latino-Americano. 2003. 196 f. Dissertação (mestrado em controladoria e contabilidade) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MOODY'S. **Rating Action.** Disponível em: https://www.moodys.com/research/Moodys-altera-perspectiva-do-rating-do-Brasil-para-estvel-de--PR_382015?cy=bra&lang=pt. Acesso em: 13 fev. 2019.

MOON, Y.; BARAN, M. Economic analysis of a residential PV system from the timing perspective: A real option model. **Renewable Energy**, Oxford, v. 125, p. 783-795, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148118302908. Acesso em: 15 mar. 2018.

MOREIRA, A. R. B.; REIS, E. J.; ROCHA, K.; CARVALHO, L. A valoração das concessões nas florestas nacionais da Amazônia: uma abordagem com opções reais. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, Rio de Janeiro, v. 30, n. 3, p. 327-354, dez. 2000. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5071/1/PPE_v30_n03_Valoracao.pdf. Acesso em: 1 mar. 2018.

MORGAN, D. G.; ABDALLAH, S. B.; LASSERRE, P. A real options approach to forest-management decision making to protect caribou under the threat of extinction. **Ecology and Society**, Ottawa, v.13, p. 1-18, 2008. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/26267927#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 4 maio. 2018.

MOSSIN, J. Equilibrium in a capital asset market. **Econometrica**, Chicago, v. 34, p. 768- 783, 1966. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/1910098#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 2 abr. 2018.

MUNIS, R. A.; MIYAJIMA, R. H.; SILVA, J. P.; BARRETO, V. C. S.; SIMÕES, D. Análise antropométrica dos trabalhadores de um viveiro florestal. **Laborativa**, Assis, v. 7, n. 2, p. 112-126, 2018. Disponível em: https://ojs.unesp.br/index.php/rlaborativa/article/view/2491/pdf. Acesso em 11 jan. 2020.

MUROI, Y.; SUDA, S. Discrete Malliavin calculus and computations of greeks in the binomial tree. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 231, p. 349-361, 2013. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377221713004372. Acesso em: 9 mar. 2018.

NEGREA, B.; TOMA, M. Dynamic CAPM under ambiguity—An experimental approach. **Journal of Behavioral and Experimental Finance**, Amsterdam, v. 16, p. 22-32, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214635017300631. Acesso em: 7 set. 2018.

NIQUIDET, K.; SUN, L. Do forest prducts prices display long memory? **Canadian Journal of Agricultural Economics**, Hoboken, v. 60, p. 239-261, 2012. Disponível em: 10.1111/j.1744-7976.2012.01244.x 239. Acesso em: 11 nov. 2019.

NISHINO, H.; KAKAMU, K.; OGA, T. Bayesian estimation of persistent income inequality by lognormal stochastic volatility model. **Journal of Income Distribution**, Cambridge, v. 21, p. 88-101, 2012. Disponível em:

https://ideas.repec.org/a/jid/journl/y2012v21i1p88-101.html. Acesso em: 14 fev. 2018.

ODETAYO, B.; MACCORMACK, J.; ROSEHART, W. D.; ZAREIPOUR, H. A real option assessment of flexibilities in the integrated planning of natural gas distribution network and distributed natural gas-fired power generations. **Energy**, Oxford, v. 143, p. 257-272, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217318200. Acesso em: 27 dez. 2018.

OH, H.; YOON, C. Time to build and the real-options channel of residential investment. **Journal of Financial Economics**, Lausanne, v. 135, p. 255-269, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304405X19301722. Acesso em: 03 fev. 2020.

OLIVEIRA, D. L.; BRANDÃO, L. E.; IGREJAS, R.; GOMES, L. L. Switching outputs in a bioenergy cogeneration project: A real options approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Pergamon, v. 36, p. 74-82, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032114002500. Acesso em: 27 mar. 2018.

OLSSON, O.; HILLRING, B.; VINTERBACK, J. European wood pellet market integration–A study of the residential sector. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 35, p. 153-160, 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410002771. Acesso em: 11 nov. 2019.

OSSENBRUGGEN, P. J.; LAFLAMME, E. M. Explaining Freeway Breakdown with Geometric Brownian Motion Model. **Journal of Transportation Engineering, Part A: Systems**, Reston, v. 145, 2019. Dispnível em: https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JTEPBS.0000255. Acesso em 19 nov. 2019.

PARK, B.; HWANG, E.; SEO, S. A.; CHO, J. G.; YANG, J. E.; YI, T. H. *Eucalyptus globulus* extract protects against UVB-induced photoaging by enhancing collagen synthesis via regulation of TGF-β/Smad signals and attenuation of AP-1. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, New York, v. 637, p. 31-39, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003986117305817. Acesso em: 5 jan. 2018.

PATSIUK, O.; KOVALENKO, S. Symmetry reduction and exact solutions of the non-linear Black–Scholes equation. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, Amsterdam, v. 62, p. 164-173, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007570418300625. Acesso em: 9 jan. 2018.

PATTITONI, P.; PETRACCI, B.; POTÌ, V.; SPISNI, M. Cost of entrepreneurial capital and under-diversification: A Euro-Mediterranean perspective. **Research in International Business and Finance**, Greenwich, v. 27, p. 12-27, 2013. Disponível

em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0275531912000219. Acesso em: 10 jan. 2018.

PAYN, T.; CARNUS, J. M.; FREER-SMITH, P.; KIMBERLEY, M.; KOLLERT, W.; LIU, S.; ORAZIO, C.; RODRIGUEZ, L.; SILVA, L. N.; WINGFIELD, M. J. Changes in planted forests and future global implications. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 352, p. 57–67, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112715003473. Acesso em: 4 jan. 2018.

PEI, B.; XU, Y.; WU, J. L. Stochastic averaging for stochastic differential equations driven by fractional Brownian motion and standard Brownian motion. **Applied Mathematics Letters**, Oxford, v. 100, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0893965919303301. Acesso em: 19 nov. 2019.

PELLEGRINO, R.; CARBONARA, N.; COSTANTINO, N. Public guarantees for mitigating interest rate risk in PPP projects. **Built Environment Project and Asset Management**, Bingley, v. 9, p. 248-261, 2019. Disponível em: https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/BEPAM-01-2018-0012/full/html. Acesso em: 05 de novembro de 2019.

PENNINGS, E. Real options with ex-post division of the surplus. **Journal of Banking and Finance**, Amsterdam, v. 81, p. 200-2006, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037842661630156X. Acesso em: 8 fev. 2018.

PETRÁSEK, S.; PEREZ-GARCIA, J. A Monte Carlo methodology for solving the optimal timber harvest problem with stochastic timber and carbon prices. **International jornal of mathematical and computational forestry & natural resources sciences**, Athens, v. 2, p. 67-77, 2010. Disponível em: https://pdfs.semanticscholar.org/b58c/9a874ec34d58671c2502b61c09298238c847.pdf?_ga=2.176803557.1181155691.1573501365-1110503217.1571249552. Acesso em: 11 nov. 2019.

PHILLIPS, P. A.; WRIGHT, C. E-business's impact on organizational flexibility. **Journal of Business Research**, Athens, v. 62, p. 1071-1080, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S014829630800249X. Acesso em: 10 fev. 2018.

PHILLIPS, P. C. B.; PERRON, P. Testing for a Unit Root in Time Series Regression. **Biometrika**, Oxford, v. 75, p. 335-346, 1988. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/2336182?seq=1#metadata_info_tab_contents. Acesso em: 11 nov. 2019.

PINDYCK, R. The Long-Run Evolutions of Energy Prices. **The Energy Journal**, Cleveland, v. 20, p. 1-27, 1999. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/41322828?seq=1#page_scan_tab_contents. Acesso em: 11 nov. 2019.

PIRJOL, D.; ZHU, L. Discrete sums of geometric Brownian motions, annuities and Asian options. **Insurance: Mathematics and Economics**, Amsterdam, v. 70, p. 19-37, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167668716300075. Acesso em: 1 ago. 2018.

PRA, A.; MASIERO, M.; BARREIRO, S.; TOMÉ, M.; ARANO, I. M.; ORRADRE, G.; ONAINDIA, A.; BROTTO, L.; PETTENELLA, D. Forest plantations in Southwestern Europe: A comparative trend analysis on investment returns, markets and policies. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 109, n. 102000, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934119301777. Acesso em: 05 fev. 2020.

PRINGLES, R.; OLSINA, F.; GARCES, F. Real option valuation of power transmission investments by stochastic simulation. **Energy Economics**, Guildford, v. 47, p. 215-226, 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988314002965. Acesso em: 12 mar. 2018.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. reference index version 3.3.3. R Foundation for StatisticalComputing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em <http://www.r-project.org/>. Acesso em: 14 fev. 2019.

RAMANATHAN, R.; RAMANATHAN, U.; BENTLEY, Y. The debate on flexibility of environmental regulations, innovation capabilities and financial performance – A novel use of DEA. **Omega**, Elmsford, v. 75, p. 131-138, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048316305229. Acesso em: 7 nov. 2018.

RĘBIASZ, B. The valuation of real options in a hybrid environment. **Operations research and decisions**, Breslávia, v. 29, p. 97-119, 2019. Disponível em: http://cejsh.icm.edu.pl/cejsh/element/bwmeta1.element.desklight-66c6507f-dd21-4ccc-810c-9258701ec68e/c/06rebiasz.pdf. Acesso em: 08 nov. 2019.

RIGHETTO, G. M.; MORABITO, R.; ALEM, D. A robust optimization approach for cash flow management in stationery companies. **Computers & Industrial Engineering**, New York, v. 99, p. 137-152, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835216302352. Acesso em: 1 nov. 2018.

ROCHA, K.; MOREIRA, A. R. B.; REIS, E. J.; CARVALHO, L. The market value of forest concessions in the Brazilian Amazon: a Real Option approach. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 8, p.149-160, 2006. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389934104001017. Acesso em: 21 set. 2018.

RODRIGUES, D. A.; BRITO, M. G. M. Metodologia de acompanhamento do investimento no Brasil. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 28-39, jul./dez. 2009. Disponível em:

http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v23n02/v23n02_03.pdf. Acesso em: 23 ago. 2018.

RODRIGUES, M. I. **Aplicação da teoria das opções reais na análise de investimentos em concessão florestal**. 2016. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

RODRIGUES, P. H. F.; FERREIRA, V. A. C.; LEMME, C. F.; BRANDÃO, L. E. T. Avaliação de empresas start-up por Opções Reais: o caso do setor de biotecnologia. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 20, n. 3, p. 511-523, jan. 2013. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-530X2013000300002&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 8 mar. 2018.

ROSS, S. A. Uses, abuses, and alternatives to the net-present-value rule. **Financial Management**, Tampa, v. 24, p. 96-102, 1995. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3665561. Acesso em: 7 mar. 2018.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD. R. W.; JAFFE, J. F. **Princípios de Administração Financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 528 p.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD. R. W.; JAFFE, J. F. **Fundamentals of Corporate Finance**. 10. ed. New York: McGraw-Hill, 2012. 816 p.

ROSS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, J.; LAMB, R. **Administração Financeira**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015. 1175 p.

ROUT, A.; SAHOO, S. S.; THOMAS, S. Risk modeling of domestic solar water heater using Monte Carlo simulation for east-coastal region of India. **Energy**, Oxford, v. 145, p. 548-556, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544218300185. Acesso em: 2 jan. 2018.

SABET, A. H.; HEANEY, R. Real options and the value of oil and gas firms: An empirical analysis. **Journal of Commodity Markets**, Amsterdam, v. 6, p. 50-65, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405851315300799. Acesso em: 1 ago. 2018.

SALAS, C.; DONOSO, P. J.; VARGAS, R.; ARRIAGADA, C. A.; PEDRAZA, R.; SOTO, D. P. The forest sector in Chile: an overview and current challenges. **Journal of Forestry**, Washington, v. 114, p. 562-571, 2016. Disponível em: https://academic.oup.com/jof/article/114/5/562/4599759. Acesso em: 11 nov. 2017.

SAMANEZ, C.; COSTA, L. Análise e avaliação de flexibilidades input-output em projetos de plantas na indústria do petróleo: uma aplicação da Teoria das Opções Reais e da simulação estocástica. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Rio Claro, v. 4, n. 2, p. 63, 2009. Disponível em: https://revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/view/747. Acesso em: 7 nov. 2018.

SAMANEZ, C. P.; FERREIRA, L. R.; NASCIMENTO, C. C. Avaliação da opção de troca de combustível no -carro brasileiro flex: um estudo por região geográfica -usando teoria de opções reais e simulação estocástica. **Production**, São Paulo, v. 24, n. 3, p. 628-643, 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132014000300012. Acesso em: 08 de nov. 2019.

SANT'ANNA, A. C; NOGUEIRA, J. M. Valoração econômica dos serviços ambientais de florestas nacionais. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, Porto Velho, v. 2, n. 1, p. 82-108, abr. 2010. Disponível em: http://www.periodicos.unir.br/index.php/rara/article/view/25. Acesso em: 3 ago. 2017.

SANTOS, D. F. L.; ZOTES, L. P. Metodologias para valoração de pequenas e medias empresas. **Revista Eletrônica do Mestrado Profissional em Administração**, Natal, v. 3, n. 1, p. 17-24, out./mar. 2011. Disponível em: https://repositorio.unp.br/index.php/raunp/article/view/20. Acesso em: 9 ago. 2017.

SARAIVA, A. B., VALLE, R. A. B., BOSQUE JR., A. E. S., BERGLIN N., SCHENCK, A. V. Provision of pulpwood and short rotation *Eucalyptus* in Bahia, Brazil e Environmental impacts based on lifecycle assessment methodology. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 105, p. 41-50, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953417301897. Acesso em: 3 mar. 2018.

SAUTER, P. A.; MUßHOFF, O.; MÖHRING, B.; WILHELM, S. Faustmann vs. real options theory – An experimental investigation of foresters' harvesting decisions. **Journal of Forest Economics**, Hanover, v. 24, p. 1-20, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1104689916000052. Acesso em: 22 ago. 2018.

SAVOLAINEN, J. Real options in metal mining project valuation: Review of literature. **Resources Policy**, Guildford, v. 50, p. 49-65, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301420716301611. Acesso em: 12 abr. 2018.

SCHWARTZ, E. The stochastic behavior of commodity prices: Implications for valuation and hedging. **Journal of Finance**, v. 52, n. 4, p. 923-973, 1997. Disponível em: http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-6261.1997.tb02721.x. Acesso em: 11 nov. 2019.

SERRA, R. G.; MARTELANC, R.; SOUSA, A. F. Empreendimentos Imobiliários com Permuta: Avaliação pela Abordagem da Teoria das Opções Reais (TOR). **Revista de Gestão e Projetos - GeP**, Água Branca, v. 3, n. 2, p. 146-177, ago. 2012. Disponível em: http://www.revistagep.org/ojs/index.php/gep/article/view/107. Acesso em: 8 jun. 2018.

S&P DOW JONES. **S&P Global Timber & Forestry Index.** 2019. Disponível em: https://portugues.spindices.com/indices/equity/sp-global-timber-and-forestry-index. Acesso em: 13 fev. 2019.

SHAFFIE, S. S.; JAAMAN, S. H. Monte Carlo on Net Present Value for Capital Investment in Malaysia. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, Amsterdam, v. 219, p. 688-693, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042816301124. Acesso em: 12 ago. 2018.

SHARPE, W. F. Capital asset prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. **Journal of Finance**, New York, v.19, p. 425-442, 1964. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/2977928. Acesso em: 6 dez. 2018.

SHINDE, A. S.; TAKALE, K. C. Study of Black-Scholes Model and its Applications. **Procedia Engineering**, Amsterdam, v. 38, p.270-279, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705812019480. Acesso em: 16 mar. 2018.

SHOGREN, J. F. Behavior in forest economics. **Journal of Forest Economics**, Hanover, v. 12, p. 233-235, 2007. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S110468990600050X. Acesso em: 24 ago. 2018.

SILVA, L. S. A.; QUELHAS, O. L. G. Sustentabilidade empresarial e o impacto no custo de capital próprio das empresas de capital aberto. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 13, n. 3, p. 385-395, dez., 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-530X2006000300003. Acesso em: 19 maio. 2018.

SILVA, M. L.; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: Valor Presente Líquido (VPL), Valor Anual Equivalente (VAE) e Valor Esperado da Terra (VET). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, p. 931-936, 2005. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/%0D/rarv/v29n6/a12v29n6.pdf. Acesso em: 22 nov. 2019.

SILVA, R. L. M.; NARDI, P. C. C.; PIMENTA JUNIOR, T. O impacto da migração das empresas para os níveis diferenciados de governança corporativa da BM&F Bovespa sobre o risco e o retorno de suas ações. **Revista de Administração da UFSM**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 222-242, ago. 2012. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/reaufsm/article/view/2599>. Acesso em: 12 jun. 2018.

SIMÕES, D.; CERVI, R. G. ; BATISTELA, G. C. Quantitative analysis of the economic risk of sugarcane cultivation for bioethanol production: a case study in Brazil. **BioResources**, Raleigh, v. 13, p. 6410, 2018.

SMIT, H. T. J. Infrastructure investments as a real option game: The case of European airport expansion. **Financial Management**, Tampa, v. 32, p. 27-57, 2003. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3666135. Acesso em: 10 ago. 2018.

SOBEL, M. J.; SZMEREKOVSKY, J. G.; TILSON, V. Scheduling projects with stochastic activity duration to maximize expected net present value. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 198, p. 697-705, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708008291. Acesso em: 15 mar. 2018.

SODA, G.; FURLOTTI, M. Bringing Tasks Back In: An Organizational Theory of Resource Complementarity and Partner Selection. **Journal of Management**, Stillwater, v: 43, p. 348-375, 2017. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0149206314535435. Acesso em: 12 fev. 2019.

SOUSA, R.; CRUZEIRO, A. B.; GUERRA, M. Barrier option pricing under the 2-hypergeometric stochastic volatility model. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, Antwerpen, v. 328, p. 197-213, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377042717303643. Acesso em: 12 jun. 2018.

SOUZA, A. P. **Aplicação da Teoria de Opções Reais na análise de investimento em geração de energia elétrica a partir de madeira de eucalipto**. 2017. 98 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SOUZA NETO, J. A.; MARTINS, H. C. **Finanças corporativas na prática**: ferramentas gerenciais. Rio de Janeiro: Campus. 2011. 276 p.

SRINIVASAN, S. Economic valuation and option-based payments for ecosystem services. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, Dordrecht, v. 20, p. 1055-1077, 2015. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11027-013-9516-5. Acesso em: 4 maio. 2018.

STEEN, E. V. D. Rational over optimism (and other biases). **American Economic Review**, Nashville, v. 94, p. 1115-1141, 2004. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/3592809. Acesso em: 2 jul. 2018.

STONE, R. **Management of Engineering Projects**, London: Macmillan Education, 1988. 246 p.

SUN, Z.; HAMILL, P. A.; LI, Y.; YANGS, Y. C.; VIGNE, A. Did long-memory of liquidity signal the European sovereign debt crisis? **Annals of operations research**, New York, v. 282, p. 355-377, 2018. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10479-018-2850-y. Acesso em: 11 nov. 2019.

TAKAISHI, T. Bias correction in the realized stochastic volatility model for daily volatility on the Tokyo Stock Exchange. **Physica A**: **Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 500, p. 139-154, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437118301274. Acesso em: 9 dez. 2018.

TANG, B. J.; ZHOU, H. L.; CHEN, H.; WANG, K.; CAO, H. Investment opportunity in China's overseas oil project: An empirical analysis based on real option approach. **Energy Policy**, Surrey, v. 105, p. 17-26, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421517300976. Acesso em: 17 dez. 2017.

TEE, J.; SCARPA, R.; MARSH, D.; GUTHRIE, G. Forest Valuation under the New Zealand Emissions Trading Scheme: A Real Options Binomial Tree with Stochastic Carbon and Timber Prices. **Land Economics**, Madison, v. 90, p. 44-60, 2014. Disponível em: https://econpapers.repec.org/article/uwplandec/v_3a90_3ay_3a2014_3ai_3a1_3ap_3a44-60.htm. Acesso em: 21 maio. 2018.

TEECE, D. J. Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. **Strategic Management Journal**, Sussex, v. 28, p. 1319-1350, 2007. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/smj.640. Acesso em: 12 ago. 2018.

TEIXEIRA, D. M. S.; BRANDÃO, L. E. T.; GOMES, L. L. A decisão do preço de oferta em leilões de telecomunicação: uma análise por opções reais. **Revista de Administração Mackenzie**, São Paulo, v. 11, n. 6, p. 131-154, dez. 2010. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1678-69712010000600008&script=sci_abstract&tlng=pt. Acesso em: 21 set. 2018.

THAVANESWARAN, A.; PEIRIS, S.; APPADOO, S. Random coefficient volatility models. **Statistics & Probability Letters**, Sussex, v. 78, p. 582-593, 2008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0895717705001287. Acesso em: 12 ago. 2018.

TIWANA, A.; WANG, J.; KEIL, M.; AHLUWALIA, P. The bounded rationality bias in managerial valuation of real options: Theory and evidence from IT projects. **Decision Sciences**, Atlanta, v. 38, p. 157-181, 2007. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1540-5915.2007.00152.x. Acesso em: 12 fev. 2019.

TOURINHO, O. A. F. **The valuation of Reserves of Natural Resources**: An Option Pricing Approach. 1979. 103 f. Tese (Doutorado em economia) – University of California, Berkeley, 1979.

TRIGEORGIS, L.; TSEKREKOS, A. E. Real Options in Operations Research: A Review. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 270, p. 1-24, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221717310664. Acesso em: 14 mar. 2018.

TRIGEORGIS, L., SCHWARTZ, E. S. **Real options and investments under uncertainty**: Classical readings and recent contributions. Cambridge: MIT Press, 2001. 881 p.

TSAI, M. S.; CHIANG, S. L.; MILLER, C. A study on the distribution of the foreclosure lag, its expected capital opportunity cost and its analyses. **Journal of International Financial Markets, Institutions & Money**, Amsterdam, v. 45, p. 156-170, 2016. Disponível em:

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1042443116300622. Acesso em: 9 abr. 2018.

VENDRAME, V.; GUERMAT, C.; TUCKER, J. A conditional regime switching CAPM. **International Review of Financial Analysis**, Greenwich, v. 56, p. 1-11, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1057521917301837. Acesso em: 7 jul. 2018.

VIEBIG, J.; PODDIG, T.; VARMAZ, A. **Equity Valuation**: Models from Leading Investment Banks. Chichester: Wiley, 2008. 439 p.

VIOLANDA, R. R.; BERNIDO, C. C.; CARPIO-BERNIDO, M. V. White noise functional integral for exponentially decaying memory: nucleotide distribution in bacterial genomes. **Physica Scripta**, Bristol, v. 94, 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1402-4896/ab3739. Acesso em: 08 nov. 2019.

XAVIER, A.; SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, San Pedro de Montes de Oca, v. 34, n.1, p. 93-98, jun. 2010. Disponível em: http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242010000100009. Acesso em: 13 ago. 2018.

XI, X.; AN, H. Research on energy stock market associated network structure based on financial indicators. **Physica A**: **Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 490, p. 1309-1323, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117308403. Acesso em: 23 abr. 2018.

XIAO, Y.; FU, X.; OUM, T. H.; YAN, J. Modeling airport capacity choice with real options. **Transportation Research Part B**, New York, v. 100, p. 93-114, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0191261517301066. Acesso em: 27 mar. 2018.

XIE, F. Managerial flexibility, uncertainty, and corporate investment: The real options effect. **International Review of Economics and Finance**, Greenwich, v. 18, p. 643-655, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056008001275. Acesso em: 6 mai. 2018.

XIE, F.; ZHU, S.; CAO, M.; KANG, X.; DU, J. Does rural labor outward migration reduce household forest investment? The experience of Jiangxi, China. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 101, p. 62-69, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389934119300371. Acesso em: 05 fev. 2020.

XU, W.; LIANG, Y.; CUSHMAN, J. H.; CHEN, W. Ultrafast dynamics modeling via fractional Brownian motion run with Mittag-Leffler clock in porous media.

International Journal of Heat and Mass Transfer, Oxford, v. 151, n. 119402, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931019356698. Acesso em: 04 fev. 2020.

WANG, C. J.; KAO, M. Y. Optimal search for parameters in Monte Carlo simulation for derivative pricing. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 249, p. 683-690, 2016. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221715008164. Acesso em: 21 jun. 2018.

WANG, G.; WANG, X.; ZHOU, K. Pricing vulnerable options with stochastic volatility. **Physica A**: **Statistical Mechanics and its Applications**, Amsterdam, v. 485, p. 91-103, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378437117304569. Acesso em: 14 nov. 2018.

WANG, Z.; REN, J. H.; YANG, Y. H.; ZHANG, Y. M. Valuation of underground natural gas storage: considering stochastic volatility and seasonality of gas prices. **Natural Gas Industry**, Houston, v. 37, p. 145-152, 2016. Disponível em: http://www.cngascn.com:81/ngi_wk/EN/abstract/abstract18224.shtml. Acesso em: 10 abr. 2018.

YAN, L.; YU, X. Asymptotic behaviours of a stochastic delay equation driven by an fBm in Hilbert space. **Stochastics**, Abingdon, v. 91, p. 1164-1185, 2019. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/17442508.2019.1577430?needAccess=true. Acesso em: 19 nov. 2019.

YESCOMBE, E. R.; FARQUHARSON, E. Cash Flow and Investment Analysis. In: **Public-Private Partnerships for Infrastructure**. 2. ed. London: Butterworth-Heinemann, 2018, cap. 3. p. 25-34.

YOSEF, A.; BARANES, A. Karhunen–Loève expansion of a set indexed fractional Brownian motion. **Statistics & Probability Letters**, Amsterdam, v. 156, 2020. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167715219302755. Acesso em: 19 nov. 2019.

YU, X. Non-Lipschitz anticipated backward stochastic differential equations driven by fractional Brownian motion. **Statistics & probability letters**, Amsterdam, v. 155, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167715219302287. Acesso em: 08 nov. 2019.

ZABARANKIN, M.; PAVLIKOV, K.; URYASEV, S. Capital Asset Pricing Model (CAPM) with drawdown measure. **European Journal of Operational Research**, Amsterdam, v. 234, p. 508-517, 2014. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037722171300252X. Acesso em: 3 jan. 2018.

ZEWDIE, M.; OLSSON, M.; VERWIJST, T. Above-ground biomass production and allometric relations of *Eucalyptus globulus* Labill. coppice plantations along a chronosequence in the central highlands of Ethiopia. **Biomass Bioenergy**, Pergamon, v. 33, p. 421-428, 2009. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953408002018. Acesso em: 5 dez. 2017.

ZHOKH, A.; STRIZHAK, P. Macroscale modeling the methanol anomalous transport in the porous pellet using the time-fractional diffusion and fractional Brownian motion: A model comparison. **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation**, Amsterdam, v. 79, 2019. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007570419302436. Acesso em: 08 nov. 2019.

ZHOU, X.; ZHU, H.; WEN, Y.; GOODALE, U. M.; LI, X.; YOU, Y.; YE, D.; LIANG, H. Effects of understory management on trade-offs and synergies between biomass carbon stock, plant diversity and timber production in *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 410, p. 164-173, 2018. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112717311507. Acesso em: 4 dez. 2018.

ZHU, J.; LI, G.; LI, J. Merge to be too big to fail: A real option approach. **International Review of Economics and Finance**, Greenwich, v. 51, p. 342-353, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1059056017303647. Acesso em: 3 ago. 2018.

ZILIO, L. B.; LIMA, R. A. S. Atratividade de canaviais paulistas sob a ótica da Teoria das Opções Reais. **Revista de economia e sociologia rural**, Brasilia, v. 53, n. 3, p. 377-394, set. 2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20032015000300377. Acesso em: 9 out. 2018.