

**QÜINNY SOARES ROCHA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO MANEJO SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA:  
ANÁLISE DE DIFERENTES CENÁRIOS**

**Botucatu  
2023**



**QÜINNY SOARES ROCHA**

**VIABILIDADE ECONÔMICA DO MANEJO SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA:  
ANÁLISE DE DIFERENTES CENÁRIOS**

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

Orientador: Prof. Dr. Danilo Simões

Coorientador: Prof. Dr. Richardson  
Barbosa Gomes da Silva

**Botucatu**

**2023**

R672v

Rocha, Qüinny Soares

Viabilidade econômica do manejo sustentável na Amazônia :  
análise de diferentes cenários / Qüinny Soares Rocha. -- Botucatu,  
2013

136 p. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),  
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Danilo Simões

Coorientador: Silva Richardson Barbosa Gomes da

1. Engenharia Florestal. 2. Economia Florestal. 3. Gestão de  
projetos. 4. Análise probabilística. 5. Manejo Florestal Sustentável. I.

Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

TÍTULO DA TESE: VIABILIDADE ECONÔMICA DO MANEJO SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA: ANÁLISE DE DIFERENTES CENÁRIOS

**AUTORA: QÜINNY SOARES ROCHA**

**ORIENTADOR: DANILO SIMOES**

**COORIENTADOR: RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciência Florestal, pela Comissão Examinadora:

*Richardson Barbosa Gomes da Silva*

Prof. Dr. RICHARDSON BARBOSA GOMES DA SILVA (Participação Presencial)

PosDoutorando Departamento de Ciencia Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciencias Agronomicas de Botucatu

*Paulo André de Oliveira*

Prof. Dr. PAULO ANDRÉ DE OLIVEIRA (Participação Presencial)

Agronegócio / Faculdade de Tecnologia de Botucatu

*p/ Richardson Barbosa Gomes da Silva*

Prof. Dr. LUIS CARLOS DE FREITAS (Participação Virtual)

Fitotecnia e Zootecnia / Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia

*p/ Richardson Barbosa Gomes da Silva*

Prof.ª Dr.ª DANIELA POLIZELI TRAFFICANTE (Participação Virtual)

Pós-Doutoranda - Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu

*p/ Richardson Barbosa Gomes da Silva*

Prof. Dr. MARCELO BONAZZA (Participação Virtual)

Engenharia Florestal / Universidade Federal de Santa Catarina

Botucatu, 27 de fevereiro de 2023



*Aos meus amados pais,*

*Carlino e Rosinha,*

*minha querida irmã,*

*Karen,*

*E meus anjos da guarda vovô Pedro e vovô Antônio,*

*dedico*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que nunca me deixou desistir, mesmo nos momentos mais difíceis. À Nossa Senhora Aparecida pelas graças, à São Miguel Arcanjo, meu companheiro de batalhas, à Santa Dinfa, que mesmo sem saber, me guiou pelos meus próprios labirintos, durante toda a minha vida. E à Iemanjá. É na instabilidade das suas águas que está a minha paz.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas e ao Departamento de Ciência Florestal que me acolheu de braços abertos.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

Ao meu orientador, Professor Danilo, pelo conhecimento transmitido, por ter acreditado no meu trabalho e sempre exigir o melhor de mim. Ao Professor Evandro, que me acompanha desde o mestrado e ao meu coorientador, Professor Richardson, por me auxiliar ao decorrer do doutorado.

Ao Sr. Esdras, Denys, Herison, Maurício, Fonseca, Raquel, Paula, Yago, Cleber, Dorivânia, Railine, Percília, Marta, Maria, Rosa e a todos que de alguma forma, me auxiliaram na coleta dos dados.

Ao BioTof, principalmente à Rafa, que está desde o início ao meu lado. À Thami, companheira de viagem e meus irmãozinhos e irmãzinhas do coração, Ana, André, Gabriel, Miriam, Paloma, Ricardo e Valier. É muito bolo e coxinha nessa história.

Ao meu irmão do coração, Roldão, por tolerar todas as minhas crises e me dar comida. À minha amiga Vanessa, pelas confidências, à Ana, Jhuan, Guilherme e Camila, por sempre me socorrerem. Ao Trio Parada Dura, por simplesmente, TUDO. À todas as amigas e amigos, aos novos e velhos, aos de perto e aos de longe, que deixaram meus dias muito mais leves.

Às minhas duas famílias, que nesse e em tantos outros momentos se tornou uma só, à cada conquista da minha vida. Principalmente aos meus pais Carlim e Rosinha, que nas decisões importantes sempre estiveram ao lado e à minha irmã Karen, meu exemplo de vida. As minhas tias Ruth e Mirtes, pela amizade e por sempre zelarem pela minha educação. À minha tia Ramone, amor incondicional e às minhas primas Mila, Nana e Bela, que estão sempre comigo.

Os meus sinceros e eternos agradecimentos.



“Somos todos desajustados, vivendo em um mundo em chamas.”

*People like us.* Intérprete: Kelly Clarkson. Letra: James Michael, Blair Daly e Meghan Kabir.

Sempre será “uma questão de manter a mente quieta, a espinha ereta e o coração tranquilo.”

Serra do Luar. Intérprete: Leila Pinheiro. Letra: Walter Franco.



## RESUMO

A Floresta Amazônica é foco da preservação ambiental por fornecer serviços ecossistêmicos para a manutenção da vida no planeta. Assim, o manejo florestal sustentável tem como fundamentação a produção de forma contínua, com o menor impacto na vegetação remanescente, beneficiando as populações locais e gerando retorno econômico para seus investidores. Por se tratar de projetos de longo prazo, com investimentos ao longo do horizonte de planejamento, aliado à instabilidade de produção e de mercado, é desejável que a análise da viabilidade econômica desses projetos englobe essas incertezas e as flexibilidades gerenciais. A análise de opções reais é uma abordagem complementar à análise da viabilidade econômica tradicionalmente aplicada, que considera na sua metodologia as instabilidades presentes nos projetos de investimento, além de valorar as decisões dos gestores. Isso posto, o objetivo foi avaliar se a análise de opções reais agrega valor aos projetos de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira. Os dados foram coletados em uma empresa de base florestal com atividade na Floresta Nacional Saracá-Taquera no primeiro ciclo de corte. Primeiramente, foi realizada a análise de viabilidade econômica tradicional e, complementarmente, o cálculo da análise de opções reais. Foram consideradas as variações no preço e produção da madeira em tora, bem como na taxa do custo de oportunidade. A opção de adiamento é exercida por ser mais vantajoso aguardar a obtenção de informações futuras. A opção de abandono e interrupção não são exercidas devido aos cenários otimistas calculados, indicando a continuidade do planejamento inicial. Os projetos de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica são economicamente viáveis e a análise de opções reais agrega valor aos projetos de investimento, indicando a melhor decisão estratégica.

**Palavras-chave:** floresta Amazônica; manejo florestal sustentável; viabilidade econômica; decisões estratégicas; gerenciamento de projetos; valor presente líquido expandido.



## ABSTRACT

The Amazon Forest is the focus of environmental preservation for providing ecosystem services for maintaining life on the planet. Thus, sustainable forest management is based on continuous production, with the most negligible impact on the remaining vegetation, benefiting local populations and generating economic returns for its investors. Because they are long-term projects, with investments over the planning horizon, combined with production and market instability, it is desirable that the analysis of the economic viability of these projects encompasses these uncertainties and managerial flexibilities. Real options analysis is a complementary approach to the traditionally applied economic viability analysis, which considers in its methodology the instabilities present in investment projects and valuing managers' decisions. That said, the aim was to assess whether the analysis of real options adds value to investment projects in sustainable forest management in the Brazilian Amazon Forest. Data were collected by a forestry-based company with exploration activity in the Saracá-Taquera National Forest in the first cutting cycle. First, the traditional economic viability analysis was carried out, and, in addition, the calculation of the real options analysis. Variations in the price and production of roundwood were considered as the opportunity cost rate. The postponement option is exercised because it is more waiting to obtain future information is more advantageous and interruption options are not exercised due to the calculated optimistic scenarios, indicating the continuity of the initial planning. Investment projects in sustainable forest management in the Amazon Forest are economically viable and the analysis of real options adds value to investment projects, indicating the best strategic decision.

**Keywords:** Amazon rainforest, sustainable forest management; economic viability; strategic decisions; project management; expanded net present value.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### **Capítulo 1 – Opções reais na análise da viabilidade econômica do manejo florestal sustentável em florestas certificadas da Amazônica brasileira**

Figura 1 - Localização da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira. ....	4848
Figura 2A - Estrada de acesso ao pátio da floresta; 2B. Atividade de derrubada das árvores, com uso de motosserra; 2C. Traçamento das toras; 2D. Cubagem e romaneio das toras: medição e identificação das toras manejadas; 2E. Arraste das toras até o pátio na floresta; 2F. Transporte das toras até a unidade primária de beneficiamento. ....	4949
Figura 3 - Árvore de decisão das opções de adiamento e abandono no ano zero, interrupção no ano cinco e dez, e abandono no ano quinze do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira. ....	555
Figura 4 - Probabilidades das opções reais calculadas em conjunto do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira. ....	577

### **Capítulo 2 – volatilidade do preço e da produção madeireira oriunda do manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira: uma abordagem com análise de opções reais**

Figura 1 - Localização da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira .....	722
Figura 2 - Área da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira .....	733
Figura 3 - Modelo binomial do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira .....	78
Figura 4 - Histograma de frequência da amostra aleatória dos retornos do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira com o método de Monte Carlo .....	800

Figura 5 - Valor das opções reais combinadas do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica .....	811
Figura 6 - Valor esperado do projeto de investimento com a análise econômica tradicional e com as opções reais do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira .....	82
Figura 7 - Análise de sensibilidade do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira com as opções reais .....	833

### **Capítulo 3 – Variação da escala de produção como premissa na viabilidade econômica do manejo florestal sustentável sob a análise de opções reais**

Figura 1- Localização da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira .....	944
Figura 2 - Atividades do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica .....	955
Figura 3 - Árvore de decisão da opção de adiar o início do projeto de investimento do ano zero para o ano um do horizonte de planejamento do projeto de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira.....	1022
Figura 4 - Árvore de decisão da opção de interromper as atividades no ano cinco do horizonte de planejamento dos projetos de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira.....	1033
Figura 5 - Árvore de decisão da opção de abandonar no ano zero do horizonte de planejamento dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira.....	1044
Figura 6 - <i>Boxplot</i> do valor presente líquido dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira .....	1044

## LISTA DE TABELAS

### **Capítulo 3 – Variação da escala de produção como premissa na viabilidade econômica do manejo florestal sustentável sob a análise de opções reais**

Tabela 1 – Valor presente e valor presente líquido tradicional dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira .....	1011
Tabela 2 – <i>Inputs</i> do modelo binomial da árvore de decisão dos projetos de investimento em exploração madeireira com o manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira.....	1011
Tabela 3 – Opções reais combinadas dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira .....	1022
Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o fluxo de caixa descontado e os custos e receita bruta dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira .....	1055



## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>23</b>
<b>Floresta amazônica.....</b>	<b>25</b>
<b>Manejo florestal sustentável.....</b>	<b>27</b>
<b>A tríade do manejo florestal sustentável.....</b>	<b>27</b>
<b>Certificação do manejo florestal sustentável.....</b>	<b>28</b>
<b>O setor madeireiro amazônico.....</b>	<b>29</b>
<b>Projetos de investimento florestal e análise econômica.....</b>	<b>30</b>
<b>Fluxo de caixa descontado.....</b>	<b>31</b>
<b>Taxa do custo de oportunidade.....</b>	<b>32</b>
Custo médio ponderado de capital.....	32
Modelo de precificação de ativos.....	33
Coeficiente beta.....	34
<b>Valor presente líquido.....</b>	<b>34</b>
<b>Flexibilidade gerencial.....</b>	<b>35</b>
<b>Análise de opções reais.....</b>	<b>36</b>
<b>Flexibilidades gerenciais como opções reais.....</b>	<b>37</b>
Opção de diferimento.....	38
Opção de abandono.....	39
Opção de interrupção.....	39
<b>Metodologias de cálculo para a análise de opções reais.....</b>	<b>40</b>
Equações diferenciais estocásticas.....	40
Modelo binomial.....	41
Processo estocástico de simulação.....	41
<b>Volatilidade.....</b>	<b>42</b>
Movimento Geométrico Browniano.....	43
Movimento de Reversão à Média.....	43
<b>CAPÍTULO 1 - OPÇÕES REAIS NA ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL EM FLORESTAS CERTIFICADAS DA AMAZÔNICA BRASILEIRA.....</b>	<b>45</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>46</b>

<b>1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>47</b>
1.2.1 Área analisada.....	47
1.2.2 Análise econômica.....	49
1.2.3 Input determinístico.....	50
1.2.4 Volatilidade do projeto de investimento.....	52
1.2.5 Cálculo das opções reais.....	54
<b>1.3 RESULTADOS.....</b>	<b>56</b>
1.3.1 Input determinístico.....	56
1.3.2 Volatilidade do projeto de investimento.....	56
1.3.3 Cálculo das opções reais.....	56
<b>1.4- DISCUSSÃO.....</b>	<b>57</b>
1.4.1 Input determinístico.....	57
1.4.2 Volatilidade do projeto de investimento.....	58
1.4.3 Cálculo das opções reais.....	58
<b>1.5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>
<b>CAPÍTULO 2 - VOLATILIDADE DO PREÇO E DA PRODUÇÃO MADEIREIRA ORIUNDA DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM COM ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS.....</b>	<b>69</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>70</b>
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>71</b>
2.2.1 Área manejada.....	71
2.2.2 Dados de custo e produção do manejo florestal sustentável.....	73
2.2.3 Análise econômica tradicional.....	74
2.2.4 Análise econômica estocástica.....	77
2.2.5 Incorporação da análise de opções reais.....	78
2.2.6 Análise de sensibilidade.....	79
<b>2.3 RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
2.3.1 Análise econômica tradicional.....	<b>79</b>
2.3.4 Análise econômica estocástica.....	80
2.3.5 Incorporação da análise de opções reais.....	80

2.3.6	Análise de sensibilidade.....	82
<b>2.4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>83</b>
2.4.1	Análise econômica estocástica.....	83
2.4.2	Incorporação da análise de opções reais.....	83
2.4.3	Análise de sensibilidade.....	84
<b>2.5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>
	<b>CAPÍTULO 3 - VARIAÇÃO DA ESCALA DE PRODUÇÃO COMO PREMISSA NA VIABILIDADE ECONÔMICA DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOB A ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS.....</b>	<b>91</b>
<b>3.1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>92</b>
<b>3.2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>93</b>
3.2.1	Área de estudo.....	93
3.2.2	Atividades do manejo florestal sustentável.....	95
3.2.3	Análise econômica tradicional.....	96
3.2.4	Análise econômica complementar das opções reais .....	98
3.2.5	Análise de variância.....	99
<b>3.3</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>100</b>
3.3.1	Análise econômica tradicional.....	100
3.3.2	Análise econômica complementar das opções reais.....	101
3.3.3	Análise de variância.....	104
<b>3.4</b>	<b>DISCUSSÃO.....</b>	<b>105</b>
3.4.1	Análise econômica tradicional.....	105
3.4.2	Análise econômica complementar das opções reais.....	106
3.4.3	Análise de variância.....	107
<b>3.5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>108</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>110</b>
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>114</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>115</b>
	<b>ANEXOS.....</b>	<b>133</b>



## INTRODUÇÃO GERAL

A conservação da Floresta Amazônica é de suma importância para a humanidade. A utilização racional dos recursos naturais da floresta permite abastecimento contínuo com produtos e subprodutos, garantindo a sustentabilidade. O manejo florestal sustentável apresenta-se como uma alternativa para uso dos recursos madeireiros e não madeireiros da vegetação nativa com menor perturbação do ambiente.

O manejo florestal sustentável pode ser definido como a administração da floresta para obtenção de benefícios econômicos, sociais e ambientais, resguardando a sustentabilidade do ecossistema, por utilizar técnicas de exploração de impacto reduzido. A partir de um planejamento detalhado, essas técnicas são executadas para reduzir os danos, com enfoque na segurança e saúde do manejador florestal, além de incrementar os rendimentos da atividade florestal.

O longo período de planejamento, entre 25 e 35 anos determinados por lei, as oscilações da produção e a instabilidade do mercado que influencia os preços e taxas aplicadas, são peculiaridades inerentes aos projetos de investimento de manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica. Portanto, para estimativa de sua viabilidade econômica, essas oscilações devem ser mensuradas.

Como alternativa para superar as limitações dos métodos tradicionais de avaliação econômica, a análise de opções reais é uma metodologia de avaliação de projetos de investimento que incorpora flexibilidades gerenciais e modelagem das incertezas. As opções reais são adaptadas do mercado financeiro e consiste em um direito, porém não uma obrigação, de exercer uma ação, a um custo predeterminado em um período preestabelecido.

Sua aplicação nos projetos de investimento do manejo florestal sustentável na região da Floresta Amazônica baseia-se na hipótese de que a análise de opções reais permite a captura do real valor de um projeto de investimento em ativo biológico com o exercício de flexibilidades gerenciais, estimando o impacto das incertezas.

A análise econômica dos projetos de investimento de exploração madeireira com impacto reduzido pode disseminar o manejo florestal sustentável, apresentando uma alternativa para a preservação da vegetação nativa. Assim, foi analisado se os projetos de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica

brasileira são economicamente viáveis por meio do método da Análise de Opções Reais.

A tese foi desenvolvida em três capítulos. O primeiro intitulado “Opções reais na análise da viabilidade econômica do manejo florestal sustentável em florestas certificadas da Amazônica brasileira” analisou se o projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira é economicamente viável utilizando a técnica da análise de opções reais.

O segundo capítulo intitulado “Volatilidade do preço e da produção madeireira oriunda do manejo florestal sustentável na Amazônia brasileira: uma abordagem de análise de opções reais.” analisou se a incorporação das incertezas do preço e da produção anual da madeira em tora, bem como da taxa de desconto agregam ao valor presente líquido tradicional do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira, por meio da análise de opções reais.

Por fim, o terceiro capítulo intitulado “Variação da escala de produção como premissa na viabilidade econômica do manejo florestal sustentável sob a análise de opções reais” analisou se os projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira em diferentes escalas de produção são economicamente viáveis por meio das opções reais.

## **Floresta Amazônica**

A Floresta Amazônica é a maior floresta tropical do mundo, com um ecossistema de biodiversidade única, totalizando cerca de 5,5 milhões de km<sup>2</sup>. Possui um quinto de toda a água doce do planeta e abriga contingente biológico diversificado e endêmico (MA et al., 2022; OLIVEIRA et al., 2019; SOUZA et al., 2021).

Considerada Patrimônio Natural da Humanidade declarada pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) desde 2003, a Floresta Amazônica proporciona serviços ecossistêmicos importantes como o sequestro de carbono da atmosfera, a regularidade do ciclo hidrológico e a conservação da biodiversidade. As florestas podem fornecer produtos madeireiros e não madeireiros, manter a fertilidade do solo e ajudar na conectividade biológica em áreas fragmentadas, além dos serviços culturais (BOULTON; LENTON; BOERS, 2022; EGUIGUREN et al., 2020; GATTI, 2018; NAVRUD; STRAND, 2018).

A Floresta Amazônica brasileira compreende os estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e parte do Maranhão, com 510 milhões de hectares de cobertura vegetal, ocupando aproximadamente 59% do território nacional. Ainda que sejam aplicadas de medidas de preservação, a Floresta Amazônica encontra-se ameaçada devido ao desmatamento ilegal (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019a; MAEDA et al., 2021; SILVA et al., 2021a; WANG et al., 2020).

A exploração madeireira predatória na Floresta Amazônica ocorre, geralmente, para a implantação de atividades agropecuárias, causando a degradação dos serviços ecossistêmicos, além dos efeitos antrópicos secundários, como ocupação, garimpo, caça ilegal e incêndios florestais (BEZERRA et al., 2021; CARVALHO JÚNIOR et al., 2020; CONDÉ; HIGUCHI; LIMA, 2019; MORAES et al., 2020; PINTO-HIDALGO; SILVA-CENTENO, 2022).

Por meio das leis estabelecidas no Brasil, são aplicadas iniciativas para conservar a Floresta Amazônica, a saber: Lei de Proteção da Vegetação Nativa (nº 12.651/2012) que prevê o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais em 80% da área do imóvel rural em ecossistemas florestais, denominada Reserva Legal (BRASIL, 2012), a Lei de Crimes Ambientais, nº 9605/1998 (BRASIL, 1998) e a Lei nº 11.284/2006 que regulamentou o Manejo Florestal Sustentável (BRASIL, 2006).

## Manejo florestal sustentável

Em escala global, o paradigma do manejo florestal sustentável (MFS) começou na década de 1990 com o objetivo de fornecer um novo modelo para o desenvolvimento de recursos naturais. O MFS pode ser entendido como um conjunto de técnicas de extração de recursos florestais madeireiros e não madeireiros que gera benefícios sociais, econômicos e ambientais, minimizando os impactos na floresta remanescente (BONILLA-BEDOYA et al., 2018; PINATO; SARTORI; TAVARES, 2020; SHONO; JONSSON, 2022).

O MFS é embasado nos princípios dos distúrbios naturais que acarretam o processo de sucessão ecológica, que por sua vez, é definida como conjunto de transformações que ocorrem em uma vegetação ao longo do tempo. As intervenções realizadas pelo MFS estabelecem uma dinâmica de mosaicos na vegetação, fazendo com que as florestas manejadas apresentem uma recuperação semelhante às florestas que sofreram perturbações naturais. Acompanhando a tendência mundial, o MFS é aplicado no Brasil desde 1990 e a adaptação das práticas para cada floresta proporciona benefícios econômicos significativos (FRANCO; CONJE, 2022; LIMA et al., 2020; ODUM, 1969).

O MFS no Brasil é regido pela Resolução Conama nº 406 de 2009 (BRASIL, 2009), que em conjunto com os Decretos nº 6063/2007 (BRASIL, 2007); nº 10.062/2019 (BRASIL, 2019) determinam os critérios para controlar e orientar o MFS. Adicionalmente, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) propôs um conjunto de técnicas para o MFS, conhecidas como técnicas de Exploração com Impacto Reduzido (EIR), que consiste na indicação das práticas silviculturais a serem realizadas durante todas as atividades do MFS (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 1996; LIMA et al., 2021; LONTSI et al., 2019).

As técnicas normatizadas pela FAO têm como objetivo minimizar os danos ambientais, diminuir o custo de operação, reduzir os riscos operacionais e o desperdício durante a extração madeireira. Como a intensidade é mais baixa quando comparada a outras formas de extração, os danos colaterais na floresta remanescente são menores. Dessa forma, o MFS concilia a utilização sustentável da madeira e de outros produtos florestais com todas as outras funções das florestas

nas condições ecológicas e sociais prevalentes (DIONISIO et al., 2018; FERRONATO et al., 2018; LIER et al., 2022).

Empresas e instituições acadêmicas passaram a investir em pesquisas que buscam aliar informações de conservação e produção para viabilizar a extração de produtos madeireiros e não madeireiros sob os aspectos ecológico, produtivo e econômico. Embora seja um desafio alcançar um equilíbrio entre a produção e a conservação, há evidências crescentes de que as EIR promovem melhor estrutura florestal após a extração madeireira (LIER et al., 2021; PEREIRA; VIOLA, 2020; SIVIERO et al., 2020).

As vantagens do MFS, em relação à exploração predatória, consistem na redução dos impactos negativos na floresta remanescente, recuperação da floresta após a extração, além dos benefícios sociais para a comunidade local. Pesquisadores argumentam que o MFS é, talvez, a única possibilidade de explorar os recursos florestais e preservar as florestas e sua biodiversidade (ANGELSTAM et al., 2019; D'OLIVEIRA et al., 2017; GÓMEZ-GONZÁLEZ; OJEDA; FERNANDES, 2018; PALUŠ et al., 2018; SCHELHAS et al., 2017).

### **A tríade do manejo florestal sustentável**

Tomando como base o conceito de Sachs (2009), a noção de desenvolvimento sustentável é fundamentada em um tripé, desdobrado em socialmente incluyente, ambientalmente sustentável e economicamente sustentado no tempo. A tríade do desenvolvimento sustentável propõe oito dimensões que devem ser consideradas, sendo elas a social, cultural, ecológica, ambiental, territorial, econômica e a política, em seus aspectos internos e externos.

O manejo florestal sustentável possibilita pensar na economia atrelada aos lucros que possa trazer, sem retirar a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. O desafio está condicionado à construção de um modelo que considere as dimensões para que o desenvolvimento seja considerado sustentável (RIBEIRO; FONSECA; PEREIRA, 2020; SILVA et al., 2021b).

O manejo florestal sustentável aplicado pelas empresas extrativistas de madeira na Floresta Amazônica inclui o benefício social à atividade por meio da geração de emprego e renda para as comunidades locais. Já o benefício ambiental é proporcionado pela redução da intensidade de extração e melhor planejamento das

atividades, evitando maiores danos à vegetação remanescente (ANGELO et al., 2014; CORRÊA et al., 2020).

Ressalta-se que, para a real efetivação da sustentabilidade do manejo florestal, é necessário que ações de fiscalização e monitoramento, além de difusão de conhecimento e incentivos para a sociedade, de forma que as pessoas também se tornem fiscalizadoras da sustentabilidade. Com o auxílio dos Sistemas de Informação Geográfica, são monitorados o desmatamento ilegal e a transformação do uso e ocupação do solo (NARVAES et al., 2021; RODRIGUES et al., 2020).

### **Certificação do manejo florestal sustentável**

A certificação florestal, mecanismo baseado na auditoria de terceiros no cumprimento das normas estabelecidas, foi rapidamente aceita como meio de promover o MFS e influenciou diretamente as práticas de manejo florestal. Por meio da certificação, é possível fornecer garantias críveis aos compradores de madeira sobre o cumprimento efetivo do manejo florestal com princípios sociais, ambientais e econômicos (GEORGE; KIZHA; DAIGNEAULT, 2022; HALALISAN; ABRUDAN; POPA, 2018; TIAN, 2022).

A certificação florestal foi introduzida no final da década de 1980 como uma contramedida para abordar os problemas de desmatamento e degradação florestal que causavam grande preocupação entre os ativistas ambientais. A certificação florestal pode gerar incentivos não regulatórios para o MFS, evitando assim os problemas políticos que limitam e prejudicam as iniciativas convencionais de administração ambiental em países em desenvolvimento (BLACKMAN; GOFF; PLANTER, 2018; MALEK; ABDUL RAHIM, 2022; THORNING; MARK-HERBERT, 2022).

Existem dois tipos de certificação florestal: certificação de manejo florestal e certificação da cadeia de custódia. A certificação do manejo florestal concentra-se principalmente em avaliar se as florestas são manejadas de acordo com padrões pré-definidos. Enquanto a certificação da cadeia de custódia é uma certificação para fontes e materiais de produtos finais que conectam as florestas com os consumidores (KLARIĆ et al., 2016; SEIJI et al., 2019; TIAN; PELKKI, 2021).

Os dois principais selos de certificação florestal utilizados no Brasil são o *Forest Stewardship Council* (FSC) e o Programa Brasileiro de Certificação Florestal

(CERFLOR), sendo que o FSC certificou a primeira área em 1995 e o CERFLOR foi reconhecido em 2002 pelo *Program for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC). O FSC é o sistema mais aplicado no Brasil nas modalidades manejo florestal e cadeia de custódia (BRAGA; SCALCO; PIGATTO, 2018; SANQUETTA; MILDEMBERG; DIAS, 2022; SANTOS; PELISSARI; SANQUETTA, 2017).

### **O setor madeireiro amazônico**

A madeira é um dos primeiros recursos naturais utilizados pelo homem. É empregada na fabricação de celulose, carvão vegetal, painéis, móveis, dentre outros. A madeira serrada é majoritariamente absorvida pela construção civil, devido as suas propriedades físicas, mecânicas e organolépticas. Está presente nas etapas das obras como estruturas, pisos, revestimentos, portas, janelas até a mobília (ALMEIDA et al., 2017; CORDEIRO JÚNIOR; SILVA; SOARES, 2017; EVANGELISTA; COSTA, 2017; GAMA et al., 2016; PAIVA FILHO et al., 2018).

O setor florestal amazônico é responsável por mais de 80% da madeira serrada de floresta nativa no Brasil, com alto potencial para ser uma indústria sustentável, incluindo a geração de empregos e renda para a região. Com a produção de madeira de alto valor, a Floresta Amazônica é de suma importância para a economia florestal do país (CAMPOS; PUNHAGUI; JOHN, 2021; INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2022; LUZ et al., 2020).

Ainda que esforços sejam aplicados, o comércio ilegal de madeira oriunda da Floresta Amazônica é uma realidade em todos os países que a abrigam. Estima-se que de 30% a 70% dos produtos madeireiros da Floresta Amazônica tenha origem ilegal. Aproximadamente 90% dos destinos da madeira explorada ilegalmente no Brasil são destinados para os estados do sul e sudeste do Brasil no setor da construção civil (BOURSCHEIT, 2021; GREENPEACE, 2018; NĚMEC, 2015).

A produção de madeira oriunda de florestas nativas do Brasil apresenta redução desde 2011, porém, houve ganho de 20% no valor da madeira gerado pela menor oferta. Em 2019, somente o setor da extração madeireira, foi responsável por mais de 11 mil empregos e movimentou R\$ 2 bilhões. Mesmo em meio à pandemia do COVID-19, a projeção do setor florestal brasileiro para 2020 foi positiva devido à alta na exportação e na construção civil (BRAINER, 2021; INSTITUTO BRASILEIRO DE

GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019b; MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA, 2019; SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2019).

O setor florestal brasileiro é importante para a economia interna e externa, sendo responsável por 1,2% do Produto Interno Bruto (PIB) e está entre os dez maiores produtores e consumidores de madeira do mundo (INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES, 2020; INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION, 2020; KLOCZKO et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017). Apesar da relevância apresentada, estudos que abordam a viabilidade econômica da atividade madeireira sustentável na Floresta Amazônica são incipientes.

### **Projetos de investimento florestal e análise econômica**

Antes de se realizar um investimento, é essencial verificar fatores que podem influenciar o seu sucesso. Assim, gestores buscam o melhor aproveitamento econômico de suas florestas frente aos prováveis cenários do mercado em que estão inseridos. Especificamente, a análise da viabilidade econômica deve ter como objetivo identificar o *spread* de mercado necessário para justificar os custos diretos e indiretos aplicados no projeto de investimento. Também possibilita a estimativa de todos os custos ao longo do projeto, receitas e o balanço final do investimento (GONÇALVES et al., 2017; MILESKI et al., 2016; MOKHTARI; KIANI; TAHMASEBPOOR, 2020; PEDROSO FILHO et al., 2018; SUMA et al., 2019; WEIMANN; FARIAS; DEPONTI, 2017).

A atividade florestal possui condições específicas, caracterizando o setor como de risco. Os custos de investimento ao longo do projeto, a flutuação das taxas de mercado e a oscilação da produção permitem a recuperação do capital somente a médio e longo prazo. As metodologias tradicionais de avaliação econômica de projetos de investimento, baseadas no fluxo de caixa descontado, apresentam lacunas para a tomada de decisão nos projetos florestais (CASTRO et al., 2019; GONZÁLEZ; GORGENS; RODRIGUEZ, 2017; OLIVEIRA et al., 2017).

Pesquisas de análise da viabilidade da exploração madeireira sustentável na Floresta Amazônica, em sua maioria, são pautadas apenas no fluxo de caixa descontado. Assim sendo, não consideram as diversas flexibilidades gerenciais que a atividade florestal envolve frente aos novos cenários determinados pelo mercado (BARROS; VERÍSSIMO, 2002; BONA et al., 2015; BOTTAZZI et al., 2013; GAMA;

BENTES-GAMA; SCOLFORO, 2005; GARRIDO FILHA, 2002; HOLMES et al., 2002; SILVA; SANTOS, 2011; SOUZA et al., 2004; TIMOFEICZYK JÚNIOR et al., 2009).

### **Fluxo de caixa descontado**

O fluxo de caixa é utilizado para identificar, com grau de detalhes, todas as entradas e saídas previsíveis que serão geradas por um projeto de investimento. Os fluxos de caixa fornecem informações sobre as operações, desempenho, posições e saúde financeira em um determinado momento, apresentando expressiva relação com a gestão financeira e desempenho do projeto de investimento (AL-NASSAFI, 2022; ALI et al., 2022; LIZOTE et al., 2017).

O fluxo de caixa descontado (FCD) parte do pressuposto de que o valor de um projeto de investimento pode ser alcançado por meio do valor presente dos seus fluxos de caixa projetados, descontados a uma determinada taxa. Esta técnica envolve o valor do dinheiro no tempo, que se baseia no fato de que o capital disponível no momento vale mais do que a mesma quantia no futuro (BONAZZI; IOTTI, 2016; CARNEIRO JUNIOR et al., 2018; LEE; KANG; LEE, 2020; RIBEIRO et al., 2018).

A metodologia do FCD pode ser definida em três etapas principais. A primeira é a estipulação dos cenários que contenham os valores dos fluxos de caixa futuros em um determinado período. O segundo é a determinação da taxa do custo de oportunidade que será utilizada para trazer a valor presente os fluxos de caixa estipulados. E por fim, a determinação da vida útil do projeto (BANDEIRA; REIS; CARVALHO, 2018; CLASSEN et al., 2019; LISZBINSKI et al., 2018).

A maior parte das metodologias utilizadas na viabilidade econômica de projetos de investimento é fundamentada na lógica da matemática financeira, que desconta para o presente os valores que se espera que ocorram no futuro. Assim, o FCD é a base dos métodos de análise da viabilidade econômica (COPIELLO, 2016; DRAGAN; ROSI; AVŽNER, 2017; ORFANOS, 2022).

### **Taxa do custo de oportunidade**

O custo de capital pode ser entendido como uma taxa mínima de remuneração destinada aos gestores por disponibilizarem recursos financeiros, seja o capital

próprio ou de terceiros. Esses gestores buscam projetos que promovam retornos com taxas atrativas, denominadas taxa do custo de oportunidade, taxa de desconto, taxa mínima de atratividade ou taxa mínima de atratividade requerida (BITTENCOURT; PRADO, 2017; BUENO; PAULILLO; MEIRELLES, 2020; PASSOS et al., 2017).

Nessa taxa, deve-se considerar o retorno mínimo que se poderia ter investido em um mercado financeiro sem risco, o percentual de risco agregado de acordo com o segmento analisado e o prêmio pela liquidez, ou seja, a perda da disponibilidade dos recursos financeiros investidos. Em cada projeto de investimento, é desejável ponderar uma taxa do custo de oportunidade específica, pois a propensão ao risco varia ao longo do tempo e entre os tipos de investimento (MARKAUSKAS; SABONIENE, 2020; POLZIN et al., 2021; WENDPAP et al., 2020).

A taxa do custo de oportunidade é utilizada nas metodologias de análise da viabilidade econômica que se baseiam no FCD. Conforme a origem do capital, é utilizado um modelo de cálculo específico. O *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) é usualmente adotado para o capital próprio. Já o *Weighted Average Cost of Capital* (WACC) é ponderado quando há também a aplicação de capital de terceiros (MARIANI et al., 2021; RADY et al., 2019; SARMENTO; OLIVEIRA, 2018).

#### Custo médio ponderado de capital

O WACC é definido como custo de capital ou custo de oportunidade dos provedores de capitais, ou ainda, o retorno mínimo esperado por esses provedores. Seu cálculo é realizado por meio da ponderação entre as participações dos custos de capitais de terceiros e próprios. O WACC é diretamente ligado à ideia de avaliar a atividade econômica para maximizar o capital investido, considerando que o único objetivo dos projetos de investimento é produzir dinheiro para seus provedores de capitais, mas sem deixar de pagar seus credores (FRANK; SHEN, 2016; MICHALAK, 2016; ORTIZ, 2022).

O WACC engloba a necessidade de atrair capital de terceiros para garantir a continuidade do projeto de investimento, aumentar seu valor de mercado e aumentar o retorno sobre o patrimônio. A questão de determinar o nível ideal de carga de dívida e, como resultado, a quantidade máxima de riscos é especialmente complexa em qualquer estágio de planejamento e desenvolvimento dos projetos de

investimento (ADO; MBAH, 2022; SULTANA; KHAN, 2018; ЕВДОКИМОВА; БОНДАРЕНКОВ, 2017).

O custo de capital pode moldar os projetos de investimento. Se há um aumento no custo de capital, pode transformar um projeto de valor presente líquido positivo em negativo. Caso os custos de financiamento externo sejam mais elevados, podem reduzir os investimentos devido à maior dificuldade em levantar capital para financiar projetos rentáveis. Posto isso, assumir uma taxa do custo de oportunidade padrão é muitas vezes inadequado em projetos de investimento, dada a alta sensibilidade dos resultados a essa taxa (DROBETZ et al., 2018; STEFFEN, 2020; XU, 2020).

#### Modelo de precificação de ativos

A precificação de ativos, comumente estimado por meio do *Capital Asset Pricing Model* (CAPM) é o modelo utilizado para determinar o custo de capital próprio. Este modelo foi proposto por Markowitz (1952) e aprimorado por Sharpe (1964), Lintner (1965) e Mossin (1966). O CAPM é amplamente utilizado na estimação de custo de capital próprio das empresas e taxas de desconto para a avaliação econômica de projetos de investimento (DOUKAS; HAN, 2021; KIM; KIM, 2016; SAVOIA et al., 2019).

O CAPM explica a compensação, avaliando os ativos com base no seu retorno e risco, considerando a sua correlação com a carteira de mercado. O retorno mínimo exigido é dado em função do risco sistêmico estimado pelo valor do coeficiente beta, pelas condições da taxa livre de risco e da expectativa de prêmio de mercado (FALEIROS et al., 2020; HAZNY; HASIM; YUSOF, 2020; ROQUE et al., 2021).

Devido ao mercado brasileiro apresentar considerável volatilidade entre os índices financeiros, as previsões de comportamento do mercado podem comprometer a tomada de decisão. Essa lacuna pode ser suprida incorporando ao modelo do CAPM, uma medida do risco-país ou risco soberano. Ao inseri-lo, é possível retratar o risco do investimento em um país emergente, cuja economia é instável (ASSAF NETO; LIMA; ARAÚJO, 2008; HILLIER; LONCAN, 2019; SILVA et al., 2017).

## Coeficiente beta

O coeficiente beta pode ser entendido como uma medida de risco sistemático de um título ou investimento em relação ao risco de mercado, sendo considerado o risco não diversificável do investimento. O cálculo do coeficiente beta pondera a volatilidade dos retornos das ações e os retornos do mercado, sendo a volatilidade a flutuação dos retornos dentro de um determinado período (AKRAM; SARYADI, 2017; CAI; FANG; XU, 2022; WIJAYA; FERRARI, 2020).

A estimativa do coeficiente beta é baseada nos retornos esperados de um ativo e os retornos esperados de mercado utilizando o método de regressão (KAYO et al., 2020). Assim, o coeficiente beta depende da correlação da variabilidade do próprio ativo, bem como da variabilidade do mercado (RUTKOWSKA-ZIARKO et al., 2022; ZOZULYA et al., 2021).

O coeficiente Beta mede a sensibilidade do retorno de um ativo financeiro comparado aos retornos de mercado, cujo valor de referência é igual a um. Se o valor do coeficiente beta do investimento for maior que um, é considerado de maior risco, requerendo maior retorno. Caso seja menor que um, é considerado de baixo risco, atraindo gestores avessos ao risco (HERBERT; NWUDE; ONYILO, 2017; PHUOC; KIM; SU, 2018; TAUSSIG, 2022).

## Valor presente líquido

O valor presente líquido (VPL) é um entre os diversos métodos utilizados para análise de projetos de investimento. Representa a diferença entre os recebimentos e os pagamentos de um projeto de investimento em valores monetários atuais. Ao considerar o valor do dinheiro no tempo, descontando os fluxos de caixa à taxa do custo de oportunidade em regime de juros compostos, o VPL representa o resultado econômico que o investimento irá retornar durante sua vida útil (DANTAS; LIMA; MOTA, 2017; MOTTA; COSTA JUNIOR, 2019; RABUSKE; FRIEDRICH; FONTOURA, 2018).

O resultado do VPL auxilia os gestores a escolher a alternativa que irá maximizar sua riqueza. Se o VPL for maior do que zero, o projeto irá gerar valor para seus gestores. Se menor que zero, o projeto irá anular o capital investido. Se igual a zero, o capital será recuperado e remunerado com a taxa requerida, porém não irá

gerar nem anulará valor (CARDOSO; SILVA; EUSÉBIO, 2019; DINIZ; PAIXÃO, 2017; NOGUEIRA FILHO et al., 2017).

Considerado o método de análise econômica mais utilizado no contexto acadêmico, o VPL também é o mais aplicado na avaliação de projetos de investimento em empresas. É amplamente adotado em diferentes cenários de negócios, presente em todos os segmentos da economia mundial (CHOI et al., 2020; CRISTEA et al., 2020; D'ADAMO et al., 2020).

Apesar de o VPL ser o método mais utilizado na análise da viabilidade econômica, ele não é o método mais indicado na análise de projetos de investimento inseridos em um mercado instável. Por ser um método determinístico, o VPL não capta o valor da flexibilidade gerencial e as incertezas presentes nos projetos de investimento, os quais devem ser considerados para tornar o processo de tomada de decisão mais seguro (GULARTE et al., 2017; MACEDO; ALBUQUERQUE; MORALLES, 2017; SALLES et al., 2019).

### **Flexibilidade gerencial**

As flexibilidades gerenciais podem ser consideradas como as decisões de alteração do projeto de investimento frente à chegada de novas informações, aprimorando a gestão desses projetos. Por possuírem características opcionais, as flexibilidades gerenciais podem agregar valor a um projeto de investimento (HEIDARI; HERAVI; ESMAEELI, 2020; MIRANDA; BRANDÃO; LAZO, 2017; SALUGA; GRZESIAK; KAMINSKI, 2020).

Devido às especificidades de cada projeto de investimento, esses sempre estão associados à várias fontes de incerteza, principalmente, se possuírem um longo horizonte de planejamento. Portanto, a análise da viabilidade econômica deve considerar o valor das flexibilidades gerenciais em função do seu papel essencial no enfrentamento das incertezas do ambiente de gerenciamento de projetos de investimento (ANDALIB; TAVAKOLAN; GATMIRI, 2018; ESMAEELI; HERAVI, 2018; SHUKLA; SUSHIL; SHARMA, 2019).

No ambiente incerto e dinâmico, as flexibilidades gerenciais são essenciais para que as empresas aproveitem as oportunidades de investimento. Porém, analisar e gerenciar simultaneamente diferentes flexibilidades e múltiplas fontes de incerteza pode ser uma tarefa desafiadora. Diferentes metodologias foram desenvolvidas para

apoiar a tomada de decisão sob riscos e incertezas, como por exemplo a análise de opções reais ou *Real Options Analysis* – ROA (CARDIN et al., 2017; ESMAEELI; HERAVI, 2019; KIND; BAAYEN; BOTZEN, 2018).

A ROA permite uma visão alternativa em relação ao impacto da incerteza sobre as oportunidades de investimento do projeto. Também consideram os possíveis caminhos de decisão, proporcionando a estratégia mais lucrativa. Essa metodologia pode ser caracterizada como uma abordagem eficaz na avaliação de projetos de investimento por ponderar, conjuntamente, incertezas e flexibilidades gerenciais (ASSERETO; BYRNE, 2021; HERNANDEZ-PERDOMO; MUN; ROCCO, 2017; LIN; TAN, 2021).

### **Análise de opções reais**

Uma opção real é descrita como o direito, mas não uma obrigação, de investir em uma ação a um valor predeterminado, por um período preestabelecido. Está fundamentada na possibilidade de executar uma decisão futura apenas se for benéfico para o tomador de decisão (BUURMAN; BABOVIC, 2016; COPELAND; ANTIKAROV, 2001; DAMODARAN, 2010).

A ROA surge como método de avaliação econômica de projetos, complementar ao método tradicional do VPL. Esse método compensa o investidor pelo custo de capital e o recompensa pela flexibilidade gerencial, considerando as incertezas dos projetos de investimento (BALIBREA-INIESTA; RODRÍGUEZ-MONROY; NÚÑEZ-GUERRERO, 2021; REGAN et al., 2017; ZOU; WANG; WEN, 2017) .

A ROA leva em consideração três aspectos importantes: a irreversibilidade, a incerteza e a flexibilidade do projeto de investimento. Uma das suas premissas é que a flexibilidade gerencial tem um valor. Ou seja, o fato de que um caminho diferente pode ser seguido, permite limitar o lado negativo da tomada de decisão equivocada e capturar o lado positivo de novas informações e oportunidades (GUO; ZHANG; WANG, 2019; MARTÍN-BARRERA; ZAMORA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, 2016; ZHANG et al., 2021).

O princípio é que o projeto de investimento deve ter a flexibilidade gerencial necessária para se adaptar às mudanças futuras. No seu planejamento, é necessário incorporar as opções reais que permitam adaptação à uma determinada mudança. Assim é possível gerenciar melhor a incerteza, aprimorando a valorização

do ativo, ao mesmo tempo em que limitam suas perdas (KRYSTALLIS; LOCATELLI; MURTAGH, 2020; MÜLLER et al., 2016; OFORI et al., 2021).

A ROA têm sido usada com sucesso para apoiar a tomada de decisão em ambientes incertos. Considerando apenas os projetos de investimento na Floresta Amazônica, as incertezas podem ser associadas às questões econômicas, de mercado, políticas, climáticas e produtivas. Assim, é possível gerenciar melhor a incerteza, aprimorando a valorização do ativo e, ao mesmo tempo, limitando suas perdas (ALMEIDA et al., 2021; MARCOVITCH; PINSKY, 2020; MOROZKO; MOROZKO; DIDENKO, 2018; OLIVEIRA; QUEIROZ, 2021; ROMEIRO, 1999; VENTURA NETO, 2020).

No setor florestal, a ROA foi aplicada primeiramente na avaliação de reservas de recursos naturais por Tourinho (1979). Posteriormente, foi adotada em outros estudos, como na estimação do valor de preservação de um parque urbano (MARTINS; MELO, 2007); em concessões florestais (ROCHA et al., 2006; RODRIGUES et al., 2019); na avaliação de plantios florestais de *Pinus* (MARTINEZ; BATISTELA; SIMÕES, 2019; MUNIS et al., 2022a); *Eucalyptus* (KALLIO; KUULA; OINONEN, 2012; MUNIS et al., 2022b) e sistemas agroflorestais (JOAQUIM et al., 2015).

### **Flexibilidades gerenciais como opções reais**

As opções reais mais utilizadas e estudadas são as opções de compra e venda. A opção de compra dá ao gestor o direito de comprar um ativo, como, por exemplo, iniciar o projeto de investimento. A opção de venda dá ao investidor o direito de vender um ativo, como exemplo, abandonar o projeto (BARI, 2020; SCHACHTER; MANCARELLA, 2016; SOLTANI; FIROUZI, 2020).

As opções europeias e americanas se distinguem devido aos diferentes exercícios de tempo. Para opções europeias, existe uma solução de forma fechada derivada de processos contínuos, impondo que sejam exercidas apenas na data de vencimento. As opções americanas são resolvidas, predominantemente, por uma aproximação discreta, permitindo serem exercidas a qualquer momento antes do vencimento (DEENEY et al., 2021; DONNO; PALMOWSKI; TUMILEWICZ, 2020; ZMEŠKAL et al., 2022).

Outro tipo de opção real é a arco-íris, sendo um método da ROA que avalia o valor de um projeto de investimento refletindo dois ou mais fatores de incerteza. Apesar da complexidade do cálculo, um método de avaliação que leva em conta múltiplas incertezas é mais preciso do que uma abordagem considerando apenas um fator de incerteza. Para que o modelo de opção arco-íris seja válido, os fatores de incerteza devem ser independentes uns dos outros (KIM et al., 2017; OH; KIM; KIM, 2018; SIRIPONGVAKIN; ATHIGAKUNAGORN, 2020).

### Opção de diferimento

A opção de diferimento, de espera ou de adiamento é uma opção com direito de atrasar o início ou cada etapa de um projeto de investimento. Nessa opção, os investidores podem, ou não, atrasar as operações do projeto para algum momento futuro, quando as condições de mercado lhes parecer mais lucrativa (COUTO et al., 2021; FATTAHI; NAEINI; SADJADI, 2020; GHORFI et al., 2018).

Com a opção de diferimento, é possível ganhar valor ao esperar para resolver as incertezas associadas aos projetos de investimento. Em condições incertas, os investidores estão predispostos a esperar do que a comprometer recursos. As ações fundamentadas na opção de diferimento podem fornecer o caminho estratégico correto aos investidores (AYODELE; OLALEYE, 2020; SONI; SINGH; BANWET, 2016; TRIGEORGIS; REUER, 2017).

Ao adiar o início das atividades ou as fases subsequentes do projeto, as empresas acumulam mais dados sobre suas operações. São inseridas novas informações de mercado, verificam os reais custos de produção e a projeção das receitas futuras, considerando a resposta do mercado consumidor. Nessa opção, o gerente pode optar pelo diferimento sem incorrer em quaisquer custos (MAIER; PFLUG; POLAK, 2020; NAJAFI; TALEBI, 2021; SHI; YAN; ZHAO, 2018).

### Opção de abandono

A opção de abandono pode ser aplicada caso o ambiente de mercado seja totalmente desfavorável, como nos períodos de recessão econômica. Tais eventos são considerados exógenos à empresa e podem ocorrer aleatoriamente a qualquer

momento. Nesses casos, a opção de abandonar é seguida com objetivo de reduzir as perdas (GUEDES; SANTOS, 2016; IPSMILLER; BROUTHERS; DIKOVA, 2019; MINTAH et al., 2018).

A opção de abandono pode ser exercida a qualquer momento sem incorrer nenhum custo. Caso ela seja exercida, o investidor pode receber todo o dinheiro gerado pelos fluxos de caixa do projeto antes do abandono do investimento, ou receber o valor residual definido no período da escolha da opção (MAIER, 2021; RODRIGUES; GONTIJO; ALMEIDA, 2020; SAVOLAINEN, 2016).

A opção de abandono pode ser exercida quando as incertezas inerentes ao projeto de investimento permanecerem por muito tempo. Ou ainda quando são observadas falhas no processo produtivo ou no processo organizacional e também quando o produto não for muito bem aceito pelo mercado (GHOSH; OFFODILE, 2016; YOON; KIM, 2016; ZHENG; HUANG, 2022).

#### Opção de interrupção

A opção de interrupção permite que o projeto de investimento seja paralisado e retomado a qualquer momento do horizonte de planejamento, normalmente aplicada em projetos de investimento em recursos naturais. Essa opção está relacionada à escala operacional e pode ser exercida quando, por exemplo, há a diminuição da demanda que acarreta a redução da receita bruta do projeto de investimento (BENGTSSON, 2001; KRYZIA; KOPACZ; KRYZIA, 2020; TRIGEORGIS, 2005).

O projeto de investimento pode ser interrompido por qualquer período com a retomada no futuro, caso as condições de mercado justifiquem. Os projetos de investimento podem interromper a produção, temporariamente, sem arriscar seriamente sua capacidade produtiva. Porém, longos períodos de ociosidade podem diminuir o seu valor. Ressalta-se, também, que a interrupção do projeto de investimento incorrerá em custos de manutenção (ALVAREZ, 1998; KULATILAKA, 1988; STARK, 1990).

O efeito de agregação de valor da capacidade de encerrar temporariamente será destacado, quando as margens de lucro forem pequenas. Considerando um projeto de investimento em operação, o modo ótimo de funcionamento é determinado com base nos valores das variáveis em cada instante de tempo. À medida que essas

variáveis mudam, o modo ótimo pode mudar de funcionamento para encerramento e vice-versa (LOPES et al., 2019; MCDONALD; SIEGEL, 2016; SAVOLAINEN et al., 2017).

### **Metodologias de cálculo para a análise de opções reais**

Os modelos utilizados para aplicação da ROA são descritos como equações diferenciais estocásticas, desenvolvidas por Black e Scholes (1973) e Merton (1973), programação dinâmica, sendo o mais aplicado, o modelo binomial de Cox, Ross e Rubinstein (1979) e ainda os processos estocásticos de simulação como o método de Monte Carlo, descrito inicialmente Metropolis e Ulam (1949). Cada ferramenta determina a estratégia ideal para o cálculo do valor das opções consideradas no projeto (ARAYA et al., 2021; TANG et al., 2017).

#### **Equações diferenciais estocásticas**

As equações diferenciais estocásticas desenvolvidas por Black, Scholes e Merton, são consideradas as mais básicas entre os modelos de precificação de opções europeias. Essas equações são independentes das preferências pessoais dos investidores e pode ser usada para fornecer soluções analíticas para parâmetros de risco de preço de opções (SIM, 2018; YAVUZ; ÖZDEMİR, 2018; ZHANG; WATADA, 2018).

As equações diferenciais estocásticas assumem que as informações de mercado são precisas. Como na prática o mercado é incompleto, o valor real do projeto de investimento pode ser influenciado por mudanças na economia, mercado, política local e mundial. Dependendo das condições em estudo, é possível que os resultados gerados pelo modelo sejam menos realistas (JIN et al., 2021; KIM et al., 2017; LIU et al., 2019).

Mesmo com algumas desvantagens, as equações diferenciais estocásticas são utilizadas pela facilidade da sua aplicação. Estudos foram desenvolvidos e novas metodologias foram incorporadas com intuito de descrever melhor o comportamento do mercado, aumentando a sua precisão (CHEN; HU; YEH, 2019; HSU; WU, 2020; KORNIENKO; CHABANENKO; LEHEZA, 2018; MAO, 2017; MAO; WEN, 2019).

## Modelo binomial

O modelo binomial de tempo discreto de Cox, Ross e Rubinstein é amplamente utilizado por ser um método intuitivo e prático. Outra vantagem é que o modelo permite considerar uma maior variedade de tipos de opções e seus resultados são mais fáceis de explicar comparado à outras abordagens (ARNOLD; CRACK; SCHWARTZ, 2022; RODRIGO-GONZÁLEZ; GRAU-GRAU; BEL-OMS, 2021; RYU et al., 2018).

O modelo binomial parte do pressuposto que o ativo subjacente pode assumir dois valores, ascendente e descendente, com base na volatilidade do ativo no período estabelecido. Assim, o modelo binomial permite a aproximação do processo estocástico em tempo contínuo, utilizando uma taxa livre de risco (FONSECA et al., 2017; MUZZIOLI; BAETS, 2017; WANG et al., 2019).

A árvore de decisão é a representação gráfica do modelo binomial, possibilitando a visualização das incertezas em múltiplos estágios. Em cada nó são demonstrados os possíveis valores do ativo que também representam um ponto de decisão. O investidor poderá seguir o melhor caminho dentre as possibilidades que o valor do ativo poderá seguir durante o seu período de planejamento (DAR; ANURADHA, 2017; KERN et al., 2017; KIM; HA; KIM, 2017).

## Processo estocástico de simulação

O processo estocástico, produzido pelos modelos de simulação, foi introduzido como método na ROA para considerar as várias incertezas e fatores de mercado. Os modelos de equações diferenciais e programação dinâmica até então utilizados, ponderam apenas até dois fatores de incertezas (MAEDA; WATTS, 2019; SAVOLAINEN; COLLAN; LUUKKA, 2017; ZHANG; ZHOU; ZHOU, 2016).

Basicamente, o método de Monte Carlo gera valores aleatórios e pseudoaleatórios, permitindo a visualização de diversos cenários, possibilitando a estimação do intervalo de sua ocorrência. A forma randômica que esses cenários são criados garante que os resultados não sejam influenciados por agentes externos (LI; LI; CHEN, 2020; NADERPOUR; KHEYRODDIN; MORTAZAVI, 2019; SAPOL; SZAJNFARBER, 2020).

O Método de Monte Carlo é amplamente utilizado devido a sua simplicidade e alta precisão. Ele descreve as incertezas das variáveis de entrada e saída pela função de densidade de probabilidade, possibilitando a mensuração do risco do projeto, fornecendo um intervalo de confiança para a variável resposta (ATARI et al., 2019; LIU et al., 2017; MARTÍN-BARRERA; ZAMORA-RAMÍREZ; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, 2016).

## **Volatilidade**

O grau de incerteza, denominada de volatilidade, representa o quanto o custo muda ao longo do tempo. A volatilidade é o fator mais importante da negociação de opções. Existem muitos tipos de volatilidade no mercado. A volatilidade histórica é o desvio padrão anualizado dos dados de ações anteriores. Ele mede a variação do preço da ação ao longo do tempo. A volatilidade implícita é derivada da fórmula do modelo de opções e mostra a probabilidade futura de um mercado volátil (AKRON; DEMIR; TAUSSIG, 2020; MOON; BARAN, 2018; ZHANG; YIN, 2021).

A volatilidade do mercado é um fator chave para muitas questões em finanças, relacionadas à gestão de ativos e risco. Dessa forma, os gestores se preocupam tanto com a natureza da volatilidade quanto com seu nível. A volatilidade dos preços dos recursos é uma preocupação em grande parte do mundo em desenvolvimento (ALGHALITH; FLOROS; GKILLAS, 2020; LUNDBERG; ABMAN, 2022; PAREJA VASSEUR; MARIN SANCHEZ; REATEGUI, 2021).

A volatilidade afeta diretamente o retorno econômico esperado dos projetos de investimento. Na busca para modelar a volatilidade, os modelos de simulação examinam a frequência de mudança real em diferentes cenários de correlações de custos, diferenças de nível de custo, custos de mudança e volatilidade. Existem vários modelos a fim de representar a volatilidade das variáveis em projetos de investimento, sendo os mais aplicados o movimento browniano geométrico e o movimento de reversão à média (BELDERBOS; TONG; WU, 2020; LIN et al., 2021; ZHAO et al., 2021).

## Movimento Geométrico Browniano

O *Brownian Geometric Motion* - MGB (Movimento Geométrico Browniano) pode ser usado para descrever o processo de oscilação do valor dos ativos. Inicialmente, o MGB foi desenvolvido para descrever as variações dos preços das opções financeiras ao decorrer do tempo. Esse padrão de comportamento incerto de ativos foi adotado como método para a ROA (ALHAGYAN; ALDUAIS, 2020; SAŁUGA; KAMIŃSKI, 2016; WANG et al., 2019).

Em uma situação simples, os valores dos ativos podem assumir três situações: um cenário neutro, otimista ou pessimista. Ao observar as flutuações de mercado, é possível obter um histórico dessas oscilações tratadas como incertezas. Assim, as incertezas apresentam uma tendência a convergir para o MGB (BRĂTIAN et al., 2021; HONG; BIAN; CHEN, 2020).

Ao utilizar a ROA, a maioria dos pesquisadores aplica o MBG para modelar as incertezas de diversos setores como o mercado imobiliário, turismo, transporte aéreo, bancário, construção civil, além das taxas do mercado mundial (CHOI; LIM; PARK, 2020; JIANG et al., 2020; KIM; LI, 2020; RIBEIRO; PEREIRA; BRANDÃO, 2020; SINHA, 2021; SISODIA; GOR, 2021).

## Movimento de Reversão à Média

Nos cálculos aplicados na ROA, ao modelar a fonte de incerteza dos projetos de investimento, é comumente utilizado o MGB. No entanto, muitas variáveis econômicas apresentam a tendência de reverter para sua média de longo prazo, caracterizado com movimento de reversão à média (MRM). Em comparação com o MGB, o MRM não é frequentemente aplicado devido à sua complexidade. As *commodities* tendem a apresentar maior volatilidade do que os preços das ações ou as taxas de câmbio, indicando, normalmente, um comportamento cíclico, descrito pelo MRM (KOU; LUO, 2018; KWAS; RUBASZEK, 2021; ZAHED; SHAHANDASHTI; DILTZ, 2020).

O MRM é responsável por reduzir os preços após a ocorrência de um pico. Assim, força o componente estocástico dos preços a flutuar em torno de alguma média de longo prazo, levando as densidades de probabilidade para distribuições estacionárias de longo prazo. O comportamento de MRM dos preços está

relacionado à reações a vários eventos, mas, principalmente, no desequilíbrio de oferta e demanda (AGLIARDI; CATTANI; FERRANTE, 2018; CHEN, 2018; ITKIN; LIPTON; MURAVEY, 2022).

Por meio da reversão à média, a dinâmica de curto prazo pode ser conectada ao comportamento de longo prazo dos preços das *commodities*. Além disso, o MRM pode ser calibrado em dados históricos e permite incluir um componente estrutural em termos de informações prospectivas baseadas em visões macroeconômicas sobre a evolução futura de longo prazo dos preços das *commodities* (MARI, 2021; YOSHIMOTO; JIMENEZ, 2019; ZHANG; LEUNG; ARAVKIN, 2020).

## CAPÍTULO 1

### **Opções reais na análise da viabilidade econômica do manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira <sup>1</sup>**

*Inseridos em um mercado dinâmico, passível às oscilações do valor da madeira, indica-se que os projetos de investimento em manejo florestal sustentável sejam analisados economicamente com métodos que abordem incertezas e flexibilidades gerenciais. Foi analisado se o projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira em áreas certificadas é economicamente viável por meio da análise de opções reais. A área de manejo era composta por Floresta Ombrófila Densa, em seu primeiro ciclo de corte, com 30 espécies de diâmetro à altura do peito  $\geq 50$  cm e atividade prevista para 30 anos. Atribuiu-se o movimento de reversão à média para modelar o valor da madeira em tora, considerada como incerteza do projeto. O modelo binomial de decisão foi aplicado, incorporando as opções de diferimento, abandono e interrupção. Apenas a opção de adiamento é indicada para ser exercida, com 100% de probabilidade, calculada em conjunto e separadamente. As opções de interrupção e abandono não são recomendadas em nenhum dos cenários considerados. A análise de opções reais indica a viabilidade econômica e agrega valor ao projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira em áreas certificadas.*

*Palavras-chave: produtos madeireiros; projetos de investimento, tomada de decisão; flexibilidades gerenciais; volatilidade.*

---

<sup>1</sup>A versão em inglês deste capítulo foi submetida à análise para publicação no periódico Australian Forestry.

## Introdução

O tema econômico da extração madeireira de impacto reduzido é um dos três pilares do manejo florestal sustentável (MFS) praticado na Floresta Amazônica brasileira. Na análise da viabilidade econômica, a incorporação das opções reais permite considerar as especificidades dos projetos de investimento em MFS. Assim, a análise de opções reais indica o resultado mais próximo ao real, auxiliando na adoção da melhor estratégia de investimento.

Por ser um dos sistemas essenciais para o equilíbrio ecológico global, a preservação da Floresta Amazônica é imprescindível para a população mundial. Apesar de parte da extração madeireira das florestas tropicais ser realizada de forma ilegal por meio do desmatamento, surge a necessidade que essa atividade seja substituída pelo MFS (BARAGWANATH; BAYI, 2020; BRANCALION et al., 2018; CARVALHO et al., 2020; DING et al., 2019; GUAN et al., 2020; LIMA et al., 2018; TIGRE, 2019).

O MFS pode ser entendido como um conjunto de técnicas de extração dos recursos da floresta que geram benefícios sociais, econômicos e ambientais, minimizando os impactos na vegetação remanescente. A fim de atestar que o MFS cumpre essas premissas e garantir aos consumidores a procedência legal dos produtos florestais, foram criados os sistemas de certificação florestal (ANDRADE; SACOMANO NETO; CANDIDO, 2022; BONILLA-BEDOYA et al., 2018; KÖHL et al., 2020; LIMA et al., 2020; PALUŠ; KRAHULCOVÁ; PAROBK, 2021).

No intuito de alcançar os benefícios econômicos com o MFS, é importante considerar a exploração madeireira de impacto reduzido como um projeto de investimento, no qual sua análise econômica verifica sua aplicação e seu retorno econômico. Como alternativa, a *Real Options Analysis* - ROA (análise de opções reais) pode ser aplicada como técnica complementar de análise econômica ao valor presente líquido tradicional. Ao ponderar as incertezas do retorno financeiro, a ROA valoriza a flexibilidade de tomar decisões em determinados pontos no futuro (CHOI; HEO; LEE, 2018; HERNÁNDEZ, 2019; KOGLER et

al., 2021; KOTTAYI et al., 2019; LI; WU; LI, 2018; MOKHTARI; KIANI; TAHMASEBPOOR, 2020; VALENCIA; CHÁVEZ; CARHUANCHO, 2020; YURIEVA et al., 2021).

Derivada das opções financeiras, a ROA pode ser definida como uma técnica promissora na valorização das decisões gerenciais do projeto de investimento. Como a ROA pressupõe que o futuro é incerto, os gestores tem o direito de realizar correções ao longo do projeto (AJAK; LILFORD; TOPAL, 2019; BOOMEN et al., 2019; ČIRJEVSKIS, 2021; MANOCHA; BABOVIC, 2018; PACHECO; CAMPOS, 2019).

Proposta inicialmente por Black and Scholes (1973) e Merton (1973), opção real é uma ação, não obrigatória, de empreender uma iniciativa, como adiar, encerrar e reiniciar ou abandonar o projeto de investimento, com base nos indicadores de mercado. A ROA precifica o valor de uma ação atual, considerando o valor potencial das oportunidades futuras proporcionadas por essa ação, o que possibilita a correta avaliação das ações em relação ao projeto de investimento (AGATON, 2022; BALLIAUW, 2021; LI et al., 2022).

Considerando a importância da disseminação da viabilidade econômica dos projetos de investimento do MFS, ponderando as incertezas do valor da madeira em tora e flexibilidades a eles associados, foi analisado se o projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira é economicamente viável utilizando a análise de opções reais.

## **Material e métodos**

### ***Área analisada***

Foram coletados dados referentes ao manejo florestal sustentável na Floresta Nacional Saracá-Taquera, em Bioma Amazônico brasileiro, nas coordenadas geográficas 1° 48' S e 56° 36' O, no estado do Pará (Figura 1). A área total certificada do MFS de 26.897,96 hectares foi

subdividida em 30 unidades de produção anual (UPA). Dentre estas, analisou-se uma UPA com 1.418 hectares de Floresta Ombrófila Densa em seu primeiro ciclo de manejo.

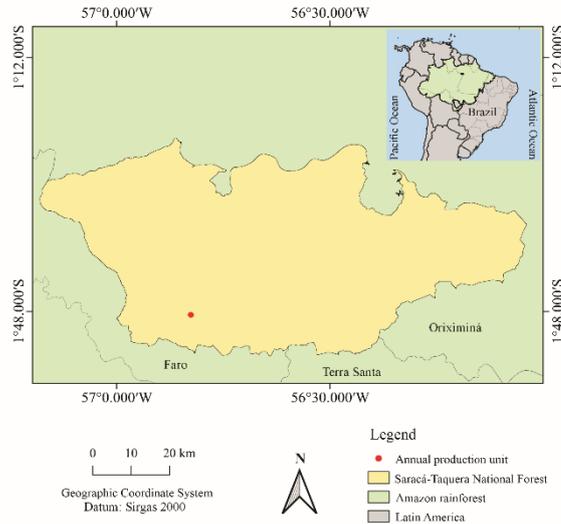


Figura 1. Localização da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira.

O MFS foi composto das atividades de inventário florestal, planejamento das atividades, abertura de estradas e pátio (Figura 2A), derrubada das árvores (Figura 2B), planejamento, traçamento (Figura 2C), cubagem, romaneio (Figura 2D), e arraste das toras até o pátio na floresta (Figura 2E), transporte até a unidade consumidora (Figura 2F) e avaliação final do ciclo de corte na UPA.



Figura 2A. Estrada de acesso ao pátio da floresta; 2B. Atividade de derrubada das árvores, com uso de motosserra; 2C. Traçamento das toras; 2D. Cubagem e romaneio das toras: medição e identificação das toras manejadas; 2E. Arraste das toras até o pátio na floresta; 2F. Transporte das toras até a unidade primária de beneficiamento.

Na UPA selecionada, foram exploradas árvores de 30 espécies (Anexo A) com diâmetro à altura do peito maior ou igual a 50 cm, com fuste retilíneo ou levemente tortuoso, cilíndrico ou com pequena excentricidade, sem defeitos aparentes, com aproveitamento mínimo de 60%. O volume total de madeira explorada foi de 19.415,61 m<sup>3</sup>, com média de 1,76 m<sup>3</sup> por tora, conforme permitido na Autorização de Exploração nº 1015.2.2021.40576.

### **Análise econômica**

Em função do tempo de concessão da área de manejo determinado por lei (BRASIL, 2006), o horizonte de planejamento do investimento foi projetado em 30 anos. Caracterizou-se o fluxo de caixa como não convencional (ZUTTER; SMART, 2021), devido às saídas de caixa ao longo do horizonte de planejamento, sendo seus componentes detalhados no Material Suplementar (Anexo B).

### **Input determinístico**

O valor presente líquido tradicional (Equação 1), foi estimado conforme Dobrowolski and Drozdowski (2022):

$$VPL_{trad} = \sum_{i=1}^n \frac{CF_n}{(1+r)^n} - I \quad (1)$$

em que  $VPL_{trad}$  é o valor presente líquido tradicional,  $CF$  é o fluxo de caixa calculado por meio da diferença entre as receitas e custos no período  $n$  considerado,  $r$  é a taxa de desconto do projeto de investimento e  $I$  é o investimento inicial.

Como taxa de desconto do projeto de investimento ( $r$ ), foi aplicado o custo médio ponderado de capital (CMPC), determinado por meio do capital próprio e de terceiros. O capital próprio foi calculado com o modelo de precificação de ativos de capital, conforme o comportamento do mercado adicionado ao risco país (Equação 2), adaptada de Markauskas and Saboniene (2020).

$$r = w_{equity} * (r_{rf} + \beta_i(r_m - r_{rf}) + r_c) + (1 - T) * w_{debt} * r_{debt} \quad (2)$$

em que  $w_{equity}$  é a participação do capital próprio,  $r_{rf}$  é a taxa livre de risco,  $\beta_i$  é a volatilidade da taxa de retorno do setor florestal brasileiro, comparado à taxa de retorno do

mercado,  $r_m$  é a taxa de retorno do mercado,  $r_c$  é o risco país,  $T$  é o imposto de renda,  $w_{debt}$  é a participação do capital de terceiros e  $r_{debt}$  é a taxa de retorno do capital de terceiros.

A volatilidade da taxa de retorno do setor florestal foi obtida por meio do coeficiente beta médio desalavancado das empresas de capital aberto do Brasil: Companhia Melhoramentos de São Paulo, Dexco S.A., Eucatex S.A. Indústria e Comércio, Klabin S.A. e Suzano Papel e Celulose S.A, segundo a B3 S.A.– Brasil Bolsa Balcão (2022). Considerou-se a desalavancagem do coeficiente beta devido ao fato de o passivo total das empresas não estar incluído em seu cálculo.

Foi considerada a proporção do ativo financiado por dívida das respectivas empresas e o fator de imposto sobre a renda de 34,00% que, de acordo com Damodaran (2022), permite capturar os benefícios fiscais resultantes do pagamento de juros. O beta realavancado aplicado foi de 0,45. A realavancagem foi ponderada por meio da proporção do ativo financiado por dívida de 56,82%. Essa proporção foi resultado da média da divisão entre o passivo oneroso e o ativo total das empresas de capital aberto do Brasil. Ressalta-se que para coeficientes beta menores que um, o risco de mercado pode ser considerado baixo.

Por meio da média geométrica do período entre 01/02/1962 e 18/09/2022 da *Annual Return on Treasury Bonds 10-year Rate of the American Treasure* (UNITED STATES DEPARTMENT OF THE TREASURY, 2022), foi calculada a taxa de juros livre de risco de 5,10%. Adotou-se a média geométrica, pois, conforme Dilli et al. (2019), apresenta-se como o melhor indicador de retorno a longo prazo por possibilitar a redução de tendências.

O risco país, obtido por meio da média geométrica da série histórica do risco Brasil entre 29/04/1994 e 18/09/2022 e do *Emerging Markets Bond Index Plus*, divulgado pela J. P. Morgan (2022), foi de 3,93%. A taxa de retorno prevista para a carteira de mercado foi de

10,21%, pautada no índice *S&P 500*, que avalia as 500 empresas mais influentes dos últimos 10 anos (S&P DOW JONES INDICES, 2022).

Com a taxa de juros livre de risco e a taxa do retorno prevista para a carteira de mercado, o prêmio pelo risco no mercado foi mensurado em 5,11% resultando na taxa do custo do capital próprio de 11,25%. Ao ponderar a proporção do capital próprio de 43,18% e a proporção do capital de terceiros, permitiu estimar a taxa do custo de oportunidade de 7,52% ao ano.

### ***Volatilidade do projeto de investimento***

Foi aplicada como única fonte de incerteza do projeto de investimento, o preço de venda da madeira em tora na unidade consumidora, calculada por meio da série histórica compreendida entre o ano de 2004 e 2022. A incerteza foi modelada seguindo o movimento de reversão à média (MRM), caracterizado por um processo Markoviano, com oscilação aleatória ao longo do tempo em torno de um valor médio. O logaritmo do preço da madeira em tora foi mesurado como um processo de *Ornstein-Uhlenbeck* de um fator (Equação 3), definida por Mac Cawley et al. (2020).

$$dX_t = k(\bar{X} - X_t)dt + \sigma dz \quad (3)$$

em que  $X_t$  é o logaritmo do preço da madeira em tora,  $k$  é o coeficiente de reversão à média,  $\bar{X}$  é o logaritmo do preço médio de longo prazo,  $\sigma$  é a volatilidade e  $dz$  é o processo de Wiener que descreve a oscilação do preço da madeira.

Na estimação dos parâmetros relacionados ao processo *Ornstein-Uhlenbeck*, foi utilizada a equação de Dixit and Pindyck (1994), adaptada de Samanez et al. (2014), representada em sua forma discreta na Equação 4:

$$X_t = X_{t-1}e^{-\eta\Delta t} + \bar{X}(1 - e^{-\eta\Delta t}) + \sigma \sqrt{\frac{1 - e^{-2\eta\Delta t}}{2\eta}} N(0,1) \quad (4)$$

em que  $X$  é a variável estocástica,  $\bar{x}$  é a média de longo prazo da variável estocástica,  $t$  é o instante de tempo considerado,  $e$  é a constante de *Euler* (base dos logaritmos naturais),  $\Delta t$  é o intervalo de tempo,  $\eta$  e  $\sigma$  são parâmetros a serem obtidos com ajuste de regressão.

A equação de regressão (Equação 5), segundo Aquila et al. (2020), descreveu a metodologia para a estimação dos parâmetros da Equação 4.

$$\ln(X_t) - \ln(X_{t-1}) = a + (b - 1) \ln(X_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (5)$$

em que  $\ln$  é o logaritmo neperiano e  $a$  e  $b$  são os coeficientes estimados da regressão.

Usando os ajustes de regressão da Equação 5, foram estimados os parâmetros do processo *Ornstein-Uhlenbeck* (Equações 6 e 7), aplicadas por Vianello et al. (2014):

$$\eta = \frac{-\ln(b)}{\Delta t} \quad (6)$$

$$\sigma = \sigma_\varepsilon \sqrt{N} \sqrt{\frac{2 \ln b}{(b^2 - 1)}} \quad (7)$$

em que  $b$  é o coeficiente estimado da regressão,  $\Delta t$  é o intervalo de tempo,  $\sigma_\varepsilon$  é o erro padrão da regressão e  $N$  é o número de observações da série histórica.

Determinou-se a volatilidade do projeto de investimento, por meio do método de Monte Carlo. Calculou-se a soma do ano base do VPL para fluxos de caixa e a soma do primeiro ano dos valores presentes (VP) do fluxo de caixa, de acordo com Samuelson (1965). A simulação foi realizada a partir da geração de 100.000 números pseudoaleatórios com o software @Risk (PALISADE CORPORATION, 2022).

### *Cálculo das opções reais*

Empregou-se o modelo de árvore binomial, segundo Leduc and Palmer (2020), incorporando as flexibilidades para calcular o real valor do projeto de investimento. No passo de tempo  $\Delta t$ , foram possíveis dois valores para o projeto de investimento. Após o intervalo de tempo  $\Delta t$ , o valor do projeto ou sobe por um fator de subida  $u$  com probabilidade neutra ao risco  $p$  ou desce por um fator específico  $d$  com a probabilidade  $q$ , em que  $p + q = 1$ .

Os fatores  $u$  e  $d$  foram calculados aplicando a volatilidade do projeto de investimento, o passo de tempo  $\Delta t$ , a taxa livre de risco  $r_{rf}$  e a probabilidade livre de risco  $p$  (Equações 8, 9 e 10), conforme Tian et al. (2022).

$$p = \frac{\exp(r_{rf}\Delta t) - d}{u - d} \quad (8)$$

$$u = \exp(\sigma(\Delta t)^{0.5}) \quad (9)$$

$$d = \frac{1}{u} \quad (10)$$

Como flexibilidades, de acordo com a metodologia adotada por Wynn et al. (2018), foram adicionadas as opções americanas de adiamento, abandono e interrupção do projeto de investimento. Realizamos esses cálculos por meio do *Decision Programming Language software* – DPL (SYNCOPATION SOFTWARE, 2022).

Considerou-se a opção de adiar o início do projeto do ano zero para o ano um, com valor de pagamento da opção real de USD 2.071.232. Também calculada no ano zero, a opção de abandono foi ponderada com valor de recebimento de USD 2.071.232. A opção de interrupção foi considerada no ano cinco e dez do horizonte de planejamento, ambas ao valor

de pagamento de USD 748.071. O abandono foi considerado, novamente, no ano 15 do horizonte de planejamento ao valor de recebimento de USD 569.252.

Ao calcular as opções combinadas (Figura 3), a opção de diferimento admitiu o exercício composto às opções reais sucessivas, abandono e interrupção, por ser considerada uma opção pseudo-americana. As opções reais de abandono e interrupção foram assimiladas ao projeto de investimento como opções reais exclusivas em decorrência da hierarquia das relações entre as opções reais quando combinadas.

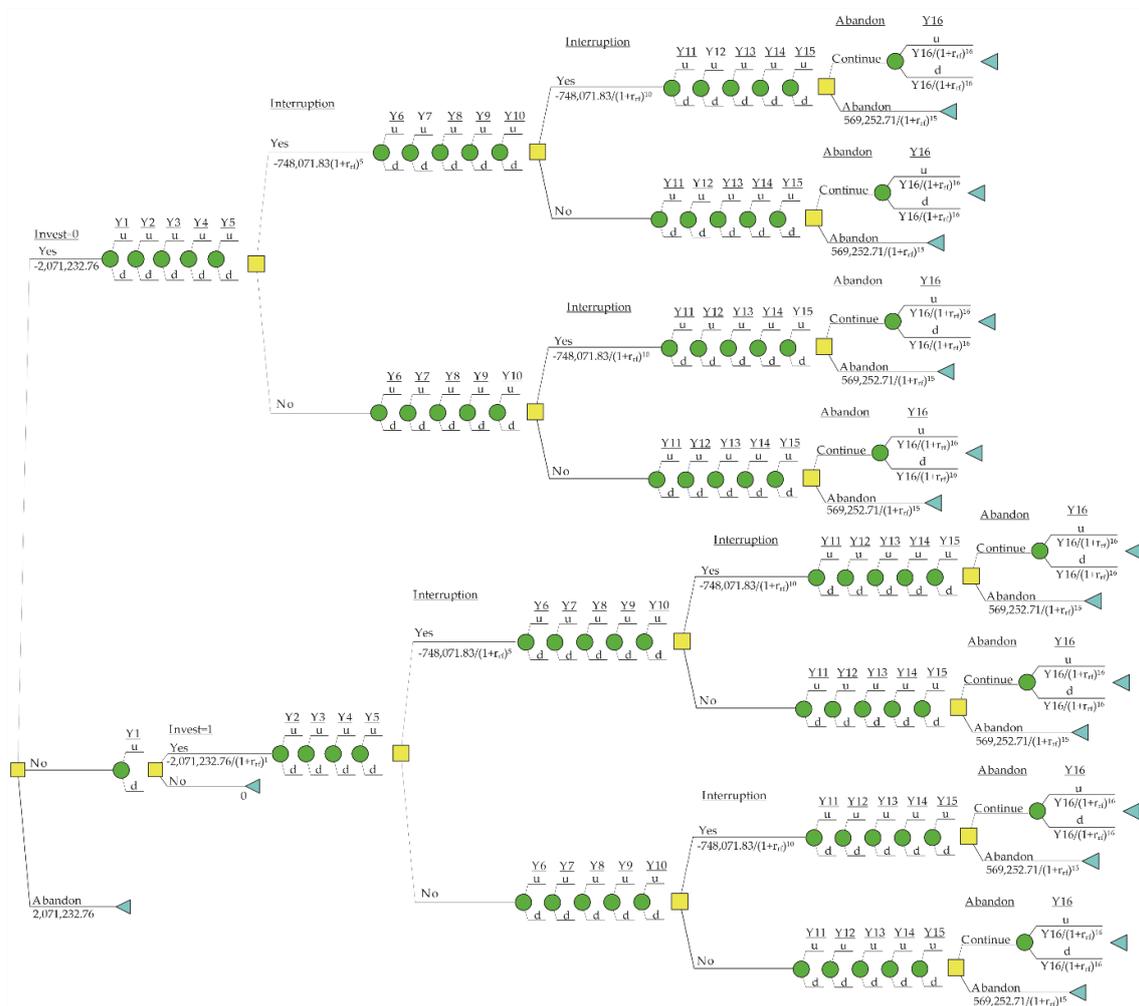


Figura 3. Árvore de decisão das opções de adiamento e abandono no ano zero, interrupção no ano cinco e dez, e abandono no ano quinze do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira.

em que  $u$  é o fator de subida,  $d$  é o fator de descida,  $Y$  é o ano considerado;  $r_{rf}$  é a taxa livre de risco.

Em concordância a Pringles et al. (2020), o valor de um projeto de investimento com flexibilidade ( $VPL_{exp}$ ) pode ser definido como o valor do projeto determinístico, ou seja, sem opções, calculado pelo valor presente clássico ( $VPL_{clássico}$ ), acrescido o valor da flexibilidade ( $VOR$ ) proporcionado pelas opções incorporadas (Equação 11):

$$VPL_{exp} = VPL_{clássico} + VOR \quad (11)$$

## **Resultados**

### ***Input determinístico***

O dispêndio inicial do projeto de investimento no MFS em área certificada na Floresta Amazônica brasileira foi de USD 2.071.232. O VP e o  $VPL_{clássico}$  do projeto foram, respectivamente, de USD 46.877.451 e USD 44.806.218.

### ***Volatilidade do projeto de investimento***

A volatilidade do projeto calculada como o movimento de reversão à média foi de 6,12%. O valor presente máximo do projeto foi de USD 49.216.588 e mínimo de USD 25.960.335, média de USD 34.004.590 e desvio padrão de USD 2.214.942.

### ***Cálculo das opções reais***

A partir dos resultados dos fatores  $u = 1,06$  e  $d = 0,94$  e a probabilidade neutra ao risco  $p = 9,16$  e sua complementar  $q = -8,16$ , a opção de adiamento, calculada no ano zero do horizonte de planejamento, resultou em  $VPL_{exp}$  de USD 44.906.725 e o valor da opção real ( $VOR$ ) foi de USD 100.507. A probabilidade de exercer o investimento no ano zero foi de 100%.

O abandono considerado no ano zero do horizonte de planejamento indicou  $VPL_{exp}$  de USD 44.806.218. Dessa forma, o  $VOR$  da opção de abandono foi USD 0,00. Em relação à probabilidade de ser exercida, a opção foi de 100% de não abandonar o projeto de investimento. A opção de abandono no ano 15 do horizonte de planejamento foi de USD 1,00, com probabilidade 0,00% de ser realizada.

Na opção de interrupção nos anos cinco e dez, ambas com  $VOR$  de USD 0,00, o  $VPL_{exp}$  do projeto de investimento foi de USD 44.806.218. A probabilidade das opções de interrupção não serem exercidas foi de 100%.

As opções reais, quando calculadas em conjunto, indicaram  $VOR$  de USD 46.977.958, com  $VPL_{exp}$  de USD 91.784.176 e suas respectivas probabilidades representadas na Figura 4.

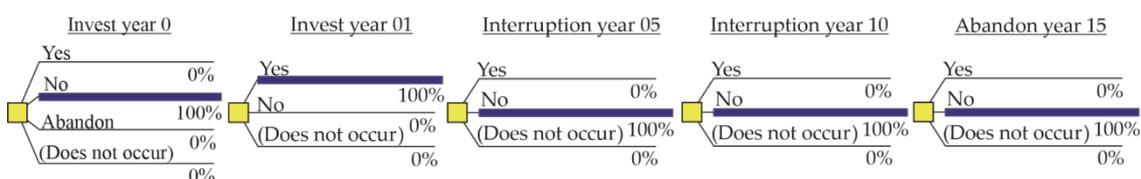


Figura 4. Probabilidades das opções reais calculadas em conjunto do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira.

## Discussão

### *Input determinístico*

O  $VPL_{clássico}$  positivo indicou a viabilidade econômica do projeto de investimento no manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira. De acordo com Hirigoyen et al. (2021), Rezaei et al. (2021), Joshi et al. (2022), o  $VPL_{clássico}$  positivo indica a criação de valor aos gestores do projeto de investimento, recomendado a sua implantação.

### ***Volatilidade do projeto de investimento***

O estudo da volatilidade dos preços de mercado se torna crucial para o gerenciamento de risco, precificação de ativos e gerenciamento de portfólio (Chaudhary et al. 2020, Dai et al. 2020, Liang et al. 2020). Portanto, modelar e prever a volatilidade dos preços de mercado apresenta-se como tópico importante, considerando que, quanto maior a volatilidade de um projeto de investimento, maior a oscilação de mercado e, conseqüentemente, maior o retorno econômico.

Em relação ao uso do modelo de reversão à média para modelagem do comportamento dos preços das mercadorias primárias, como, por exemplo, a madeira em tora, Rios et al. (2019) relatam que ainda não há um amplo consenso sobre o processo aleatório que melhor se ajusta às oscilações observadas. Taylor-de-Lima et al. (2018), Hui et al. (2020) e Winkelried (2021) defendem que o comportamento do valor das mercadorias primárias deriva do movimento de reversão à média. Esses autores ressaltam que, embora os preços dessas mercadorias possam flutuar aleatoriamente no curto prazo, eles tendem a convergir para um nível de equilíbrio no longo prazo.

### ***Cálculo das opções reais***

A opção de adiamento foi considerada no intuito de esperar novas informações do mercado, proporcionando maior segurança aos gestores para iniciar o investimento. Quando aplicada em projetos de investimento, como nos trabalhos de Golub et al. (2020), Acheampong (2021) e Couto et al. (2021), essa opção é sempre exercida devido ao não pagamento de dividendos aos seus gestores, característica condicionada aos projetos de investimento.

Por se tratar de um projeto parcialmente reversível, ou seja, parte do investimento aplicado pode ser recuperado, a opção de abandono foi considerada. Essa opção está relacionada ao valor residual de venda dos ativos conforme descrito por Chi et al. (2019),

Gasparis-Wieloch (2019) e Yang et al. (2019), como, por exemplo, máquinas, combinações veiculares de carga e instalações. Dessa forma, o valor a ser recuperado no abandono do projeto de investimento não supriu o retorno econômico da permanência do projeto de investimento, indicando a sua continuidade.

A opção de interrupção não foi exercida, pois, em todos os cenários simulados, a receita foi maior que os custos do manejo. A opção de interrupção envolve decisões críticas como a demissão ou pagamento de salários no período de paralização, manutenção das despesas essenciais como taxas de licenciamento e ainda o atraso do manejo na área licenciada. Portanto, considerá-las nas decisões estratégicas pode ser crucial para a viabilidade econômica do manejo florestal sustentável.

As opções reais consideradas, quando combinadas, apresentaram valor 4,61% maior, comparado ao valor da opção de adiamento calculada separadamente. Em relação ao valor presente líquido tradicional, as opções reais agregaram valor ao projeto de investimento em 4,84%. De acordo com Benitez and Lima (2019), Maier et al. (2020) e Oliveira et al. (2021), quando calculadas em conjunto, as opções reais podem especificar o caminho estratégico a ser seguido, auxiliando a tomada de decisão dos gestores.

O melhor caminho estratégico indicado na análise de opções reais foi de adiar a implantação do projeto de investimento para um ano após a data prevista inicialmente. Como as opções de abandono e interrupção do projeto não foram indicadas para serem exercidas, o projeto permanece sem alterações nos anos seguintes. Seguindo essa estratégia, o projeto de investimento do manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira pode alcançar o seu valor máximo para os investidores.

## Conclusões

O projeto de investimento em manejo florestal sustentável nas áreas certificadas da Floresta Amazônica brasileira é economicamente viável e a análise de opções reais agrega valor ao projeto, possibilitando aos seus gestores a indicação da melhor decisão a ser tomada e demonstra o verdadeiro valor do projeto, ou seja, considerando as flexibilidades gerenciais e incertezas associadas.

Apenas a opção de adiamento é indicada para ser exercida, com 100% de probabilidade, calculada em conjunto e separadamente. As opções de interrupção e abandono não são recomendadas em nenhum dos cenários considerados.

## Referências

ACHEAMPONG, T. On the valuation of natural resources: Real options analysis of marginal oilfield-development projects under multiple uncertainties. **SPE Production and Operations**, v. 36, n. 3, p. 734–750, 2021.

AGATON, C. B. Will a Geopolitical Conflict Accelerate Energy Transition in Oil-Importing Countries? A Case Study of the Philippines from a Real Options Perspective. **Resources**, v. 11, n. 6, p. 1–17, 2022.

AJAK, A. D.; LILFORD, E.; TOPAL, E. Real Option Identification Framework for Mine Operational Decision-Making. **Natural Resources Research**, v. 28, n. 2, p. 409–430, 2019.

ALSHARIF, M. H.; NORDIN, R.; ISMAIL, M. Energy optimisation of hybrid off-grid system for remote telecommunication base station deployment in Malaysia. **Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking**, v. 2015, n. 64, p. 1–15, 2015.

ANDRADE, R. A. DE; SACOMANO NETO, M.; CANDIDO, S. E. A. Implementing

community-based forest management in the Brazilian Amazon Rainforest: a strategic action fields perspective. **Environmental Politics**, v. 31, n. 3, p. 519–541, 2022.

AQUILA, G. et al. Wind energy investments facing uncertainties in the Brazilian electricity spot market: A real options approach. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 42, n. August, p. 100876, 2020.

Brasil, Bolsa, Balcão - B3 SA. 2021. [accessed 2022 Sep 15].  
[http://www.b3.com.br/pt\\_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/historico/mercado-a-vista/series-historicas/](http://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/servicos-de-dados/market-data/historico/mercado-a-vista/series-historicas/)

BALLIAUW, M. Time to build: A real options analysis of port capacity expansion investments under uncertainty. **Research in Transportation Economics**, v. 90, n. 100929, p. 1–11, 2021.

BARAGWANATH, K.; BAYI, E. Collective property rights reduce deforestation in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 117, n. 34, p. 1–8, 2020.

BENITEZ, G. B.; LIMA, M. J. DO R. F. The real options method applied to decision making – an investment analysis. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 4, p. 562–571, 2019.

BLACK, F.; SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. **Journal of Political Economy**, v. 81, n. 3, p. 637–654, 1973.

BONILLA-BEDOYA, S. et al. Socioecological system and potential deforestation in Western Amazon forest landscapes. **Science of the Total Environment**, v. 644, p. 1044–1055, 2018.

BOOMEN, M. VAN DEN et al. Untangling decision tree and real options analyses: a

public infrastructure case study dealing with political decisions, structural integrity and price uncertainty. **Construction Management and Economics**, v. 37, n. 1, p. 24–43, 2019.

BRANCALION, P. H. S. et al. Fake legal logging in the brazilian amazon. **Science Advances**, v. 4, n. 8, p. 1–8, 2018.

BRASIL. **Instrução Normativa n.º 5, de 11 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre procedimentos técnicos para elaboração, apresentação, execução e avaliação técnica de Planos de Manejo Florestal Sustentável-PMFS nas florestas primitivas e suas formas de sucessão na Amazônia Legal, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

CARVALHO, S. et al. A changing Amazon rainforest: Historical trends and future projections under post-Paris climate scenarios. **Global and Planetary Change**, v. 195, n. 103328, p. 1–13, 2020.

CHAUDHARY, R.; BAKHSHI, P.; GUPTA, H. Volatility in International Stock Markets: An Empirical Study during COVID-19. **Journal of Risk and Financial Management**, v. 13, n. 208, p. 1–17, 2020.

CHI, T. et al. Real options theory in international business. **Journal of International Business Studies**, v. 50, n. 4, p. 525–553, 2019.

CHOI, G.; HEO, E.; LEE, C. Y. Dynamic economic analysis of subsidies for new and renewable energy in South Korea. **Sustainability**, v. 10, n. 6, p. 1–19, 2018.

ČIRJEVSKIS, A. Value Maximizing Decisions in the Real Estate Market: Real Options Valuation Approach. **Journal of Risk and Financial Management**, v. 14, n. 278, p. 1–19, 2021.

COUTO, G. et al. Investments on urban land valuation by real options – The Portuguese case. **Land Use Policy**, v. 107, n. 105484, p. 1–7, 2021.

DAI, Z. et al. Efficient predictability of stock return volatility: The role of stock market implied volatility. **North American Journal of Economics and Finance**, v. 52, n. 101174, p. 1–8, 2020.

DAMODARAN, A. **Valuation: como avaliar empresas e escolher as melhores ações**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2022.

DILLI, S.; CARMICHAEL, S. G.; RIJPMAN, A. Introducing the Historical Gender Equality Index. **Feminist Economics**, v. 25, n. 1, p. 31–57, 2019.

DING, Y. et al. Functional features of tropical montane rain forests along a logging intensity gradient. **Ecological Indicators**, v. 97, p. 311–318, 2019.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment Under Uncertainty**. New Jersey: Princeton University Press, 1994.

DOBROWOLSKI, Z.; DROZDOWSKI, G. Does the Net Present Value as a Financial Metric Fit Investment in Green Energy Security? **Energies**, v. 15, n. 353, p. 1–16, 2022.

GASPARS-WIELOCH, H. Project Net Present Value estimation under uncertainty. **Central European Journal of Operations Research**, v. 27, n. 1, p. 179–197, 2019.

GOLUB, A. A.; LUBOWSKI, R. N.; PIRIS-CABEZAS, P. Business responses to climate policy uncertainty: Theoretical analysis of a twin deferral strategy and the risk-adjusted price of carbon. **Energy**, v. 205, n. 117996, p. 1–9, 2020.

GUAN, Z. et al. Are imports of illegal timber in China, India, Japan and South Korea

considerable? based on a historic trade balance analysis method. **International Wood Products Journal**, v. 11, n. 4, p. 211–225, 2020.

HERNÁNDEZ, U. F. Analysis of forest wood supply chains for round-wood production restricted by technical constraints. **Forest Systems**, v. 28, n. 1, p. 1–6, 2019.

HIRIGOYEN, A. et al. Use of optimization modeling to assess the effect of timber and carbon pricing on harvest scheduling, carbon sequestration, and net present value of eucalyptus plantations. **Forests**, v. 12, n. 6, p. 1–19, 2021.

HUI, C. H. et al. Crude oil price dynamics with crash risk under fundamental shocks. **North American Journal of Economics and Finance**, v. 54, n. 101238, p. 1–20, 2020.

J. P. MORGAN. **Emerging Markets Bond Index**. [accessed 2022 Sep 14].  
<https://www.jpmorgan.com/global>

JOSHI, D. et al. An Optimized Open Pit Mine Application for Limestone Quarry Production Scheduling to Maximize Net Present Value. **Mathematics**, v. 10, n. 4141, p. 1–22, 2022.

KOGLER, C. et al. Benchmarking procurement cost saving strategies for wood supply chains. **Forests**, v. 12, n. 8, p. 1–18, 2021.

KÖHL, M. et al. A viable indicator approach for assessing sustainable forest management in terms of carbon emissions and removals. **Ecological Indicators**, v. 111, n. 106057, p. 1–10, 2020.

KOTTAYI, N. M. et al. Economics of Making Roadway Pavements Resilient to Climate Change: Use of Discounted Cash Flow and Real Options Analysis. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 25, n. 3, p. 1–10, 2019.

LEDUC, G.; PALMER, K. What a difference one probability makes in the convergence of binomial trees? **International Journal of Theoretical and Applied Finance**, v. 23, n. 6, p. 1–26, 2020.

LI, M. et al. A Pragmatic Guide to Assessing Real Option Value for Medical Technologies. **Value in Health**, v. 25, n. 11, p. 1878–1884, 2022.

LI, Y.; WU, M.; LI, Z. A real options analysis for renewable energy investment decisions under china carbon trading market. **Energies**, v. 11, n. 7, p. 1–10, 2018.

LIANG, C.; WEI, Y.; ZHANG, Y. Is implied volatility more informative for forecasting realized volatility: An international perspective. **Journal of Forecasting**, v. 39, n. 8, p. 1253–1276, 2020.

LIMA, L. S. DE et al. Illegal logging as a disincentive to the establishment of a sustainable forest sector in the Amazon. **PLoS ONE**, v. 13, n. 12, p. 1–21, 2018.

LIMA, T. A. et al. Spatial patterns of logging-related disturbance events: a multi-scale analysis on forest management units located in the Brazilian Amazon. **Landscape Ecology**, v. 35, n. 9, p. 2083–2100, 2020.

MAC CAWLEY, A.; CUBILLOS, M.; PASCUAL, R. A real options approach for joint overhaul and replacement strategies with mean reverting prices. **Annals of Operations Research**, v. 286, n. 1–2, p. 303–324, 2020.

MAIER, S.; POLAK, J. W.; GANN, D. M. Valuing portfolios of interdependent real options using influence diagrams and simulation-and-regression: A multi-stage stochastic integer programming approach. **Computers and Operations Research**, v. 115, n. 104505, p. 1–14, 2020.

MANOCHA, N.; BABOVIC, V. Sequencing infrastructure investments under deep uncertainty using real options analysis. **Water**, v. 10, n. 2, p. 1–18, 2018.

MARKAUSKAS, M.; SABONIENE, A. Evaluation of capital cost: Long run evidence from manufacturing sector. **Engineering Economics**, v. 31, n. 2, p. 169–177, 2020.

MERTON, R. Theory of Rational Option Pricing. **Bell Journal of Economics and Management Science**, v. 4, n. 1, p. 141–183, 1973.

MOKHTARI, H.; KIANI, S.; TAHMASEBPOOR, S. S. Economic evaluation of investment projects under uncertainty: A probability theory perspective. **Scientia Iranica**, v. 27, n. 1, p. 448–468, 2020.

OLIVEIRA, A.; COUTO, G.; PIMENTEL, P. Uncertainty and flexibility in infrastructure investments: Application of real options analysis to the Ponta Delgada airport expansion. **Research in Transportation Economics**, v. 90, n. 100845, p. 1–10, 2021.

PACHECO, G. C. R.; CAMPOS, M. A. S. Real Options Analysis as an Economic Evaluation Method for Rainwater Harvesting Systems. **Water Resources Management**, v. 33, n. 12, p. 4401–4415, 2019.

PALISADE CORPORATION. 2022. **Risk Analysis and Simulation Add-in for Microsoft® Excel. Ithaca**. [accessed 2022 Oct 08]. <https://www.palisade.com/>

PALUŠ, H.; KRAHULCOVÁ, M.; PAROBK, J. Assessment of forest certification as a tool to support forest ecosystem services. **Forests**, v. 12, n. 3, p. 1–16, 2021.

PRINGLES, R.; OLSINA, F.; PENIZZOTTO, F. Valuation of defer and relocation options in photovoltaic generation investments by a stochastic simulation-based method. **Renewable Energy**, v. 151, p. 846–864, 2020.

REZAEI, F. et al. Simulation-based priority rules for the stochastic resource-constrained net present value and risk problem. **Computers and Industrial Engineering**, v. 160, n. 107607, p. 1–13, 2021.

RIOS, D.; BLANCO, G.; OLSINA, F. Integrating Real Options Analysis with long-term electricity market models. **Energy Economics**, v. 80, p. 188–205, 2019.

DOW JONES INDICES. **S&P 500**. 2022. [accessed 2022 Sep 15]. <https://www.spglobal.com/spdji/en/indices/equity/sp-500/#overview>.

SAMANEZ, C. P. et al. Evaluating the economy embedded in the Brazilian ethanol-gasoline flex-fuel car: A Real Options approach. **Applied Economics**, v. 46, n. 14, p. 1565–1581, 2014.

SAMUELSON, P. A. Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. **Industrial Management Review**, v. 6, n. 2, p. 41–49, 1965.

SYNCOPATION SOFTWARE. 2022 **DPL - Decision Programming Language** Concord, [accessed 2022 Oct 08]. <https://www.syncopation.com>

TAYLOR-DE-LIMA, R. L. N. et al. Evaluation of economic feasibility under uncertainty of a thermochemical route for ethanol production in Brazil. **Energy**, v. 150, p. 363–376, 2018.

TIAN, N.; GAN, J.; LU, F. A real options model for evaluating a tree and mushroom vertical agroforestry system in Shandong, China. **Agroforestry Systems**, p. 1–12, 2022.

TIGRE, M. A. Building a regional adaptation strategy for Amazon countries. **International Environmental Agreements: Politics, Law and Economics**, v. 19, n. 4–5, p. 411–427, 2019.

United States Department of the Treasury. **Daily Treasury Yield Curve Rates**. [accessed 2022 Sep 15]. <https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>.

VALENCIA, W. A.; CHÁVEZ, O. C. M.; CARHUANCHO, M. G. L. Investment projects: definition from the process perspective. **Journal of Management**, v. 36, n. 66, p. 161–171, 2020.

VIANELLO, J. M.; COSTA, L.; TEIXEIRA, J. P. Dynamic modeling of uncertainty in the planned values of investments in petrochemical and refining projects. **Energy Economics**, v. 45, p. 10–18, 2014.

WINKELRIED, D. Unit roots in real primary commodity prices? A meta-analysis of the Grilli and Yang data set. **Journal of Commodity Markets**, v. 23, n. 100168, p. 1–15, 2021.

WYNN, K. et al. Valuing GM technologies using real options: the case of drought tolerant wheat in Australia. **Technology Analysis and Strategic Management**, v. 30, n. 12, p. 1470–1482, 2018.

YANG, L. et al. Comparison of subsidy schemes for carbon capture utilization and storage (CCUS) investment based on real option approach: Evidence from China. **Applied Energy**, v. 255, n. 113828, p. 1–12, 2019.

YURIEVA, T. et al. Infrastructure investment projects: financing and management mechanisms. **Journal of Modelling in Management**, p. 1–16, 2021.

ZUTTER, C. J.; SMART, S. B. **Principles of Managerial Finance**. 16 th ed. Harlow: Pearson, 2021.

## CAPÍTULO 2

### **VOLATILIDADE DO PREÇO E DA PRODUÇÃO MADEIREIRA ORIUNDA DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM COM ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS**

#### **RESUMO**

A volatilidade dos projetos de investimento do setor florestal está relacionada às oscilações dos fatores que os compõe. Assim, considerar as variações do preço e de produção da madeira em tora na análise da viabilidade econômica desses projetos, pode gerar resultados mais próximos à realidade de mercado em que estão inseridos. O objetivo foi analisar se a incorporação das incertezas do preço e da produção anual da madeira em tora, bem como da taxa de desconto agregam ao valor presente líquido tradicional do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira por meio da análise de opções reais. Foram considerados os custos e a receita referentes a um ano de manejo florestal sustentável em um horizonte de planejamento de 30 anos. A volatilidade do projeto de investimento foi calculada ponderando o valor da madeira por meio do movimento de reversão à média e a produção de madeira em tora e a taxa de desconto do projeto com o movimento browniano geométrico. As opções reais de adiamento, interrupção e abandono do projeto foram incorporadas aplicando o modelo binomial na construção da árvore de decisão. A incorporação da análise de opções reais agregou em 6,53% ao valor presente líquido tradicional do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira.

**Palavras-chave:** manejo florestal sustentável; gestão de projetos; movimento de reversão à média; movimento browniano geométrico; modelo binomial.

## 2.1 INTRODUÇÃO

Os projetos de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica estão inseridos em um mercado dinâmico, além de possuírem características peculiares como o longo período de planejamento, oscilação da produção e sensibilidade às taxas do mercado. Assim, a análise da viabilidade econômica desses projetos, realizada com métodos que abordem essas peculiaridades, auxiliam os gestores florestais na tomada de decisão.

A Floresta Amazônica é um dos ecossistemas com maior diversidade biológica do mundo. Buscando o equilíbrio entre a preservação ambiental e o uso das florestas, a exploração de impacto reduzido tornou-se uma importante ferramenta em áreas tropicais. O manejo florestal sustentável (MFS) prevê a continuidade da produção florestal, evita o desperdício de madeira e exige a segurança laboral dos colaboradores da atividade (BONILLA-BEDOYA et al., 2017; CARVALHO et al., 2020b; MAHARI et al., 2020; REIS et al., 2021).

O meio ambiente e a economia são prioridades vitais para o desenvolvimento sustentável. É desejável que todo projeto de investimento, além da criação de valor social e ambiental, proporcione retorno econômico aos seus gestores. Dessa forma, a avaliação econômica de projetos de investimento em MFS é uma ferramenta importante para a tomada de decisões ambientais integradas e práticas de negócios sustentáveis (AGATON; COLLERA, 2022; THOMPSON, 2022; WU; HU, 2020).

A análise econômica de projetos de investimento, com objetivo de auxiliar a tomada de decisão, é um procedimento complexo que deve incluir todos os fatores relevantes. No setor florestal, os projetos de investimento estão propensos às oscilações do mercado. Portanto, considerar as flexibilidades e incertezas é imprescindível na avaliação econômica desses projetos (KREMENOVIĆ, 2018; MARTINELLI et al., 2019; SILVA et al., 2020).

A análise de opções reais complementa os métodos tradicionais de avaliação econômica por valorar as decisões dos gestores em projetos de investimento, frente à evolução das incertezas de mercado. A aplicação da análise de opções reais incorpora características importantes dos projetos, como custos de investimento irrecuperáveis e valor incerto do retorno econômico (ASSCHE; COMPERNOLLE, 2022; DALBY et al., 2018; ZAMBUJAL-OLIVEIRA; MOUTA-LOPES; BANGUESES, 2021).

Os projetos de investimento estão susceptíveis às oscilações dos preços e da taxa de desconto. Os projetos de investimento inseridos no mercado florestal ainda possuem instabilidade na produção. Como alternativa, as opções arco-íris são aplicadas em projetos de investimento em recursos naturais, pois esses projetos dependem de vários fatores para o sucesso do investimento. Por considerar mais de uma fonte de incerteza, a opção arco-íris fornece estratégia poderosa de diversificação, permitindo reduzir a exposição ao risco e ampliar as oportunidades de seus investimentos (REYES; MARTÍNEZ, 2016; TANDJA; POWER; BASTIEN, 2018; VACA et al., 2022; WANG et al., 2018).

Pelo fato de a fonte de incerteza estar diretamente relacionada ao retorno econômico do projeto de investimento, modelá-la adequadamente é relevante para o êxito da análise de viabilidade econômica. Porém, não há um consenso em qual movimento (movimento browniano geométrico ou movimento de reversão à média) as fontes de incerteza se enquadram (BAKAS; TRIANTAFYLLOU, 2019; LAWAL et al., 2019; MORIKAWA, 2019; SU; FANG; YIN, 2019a).

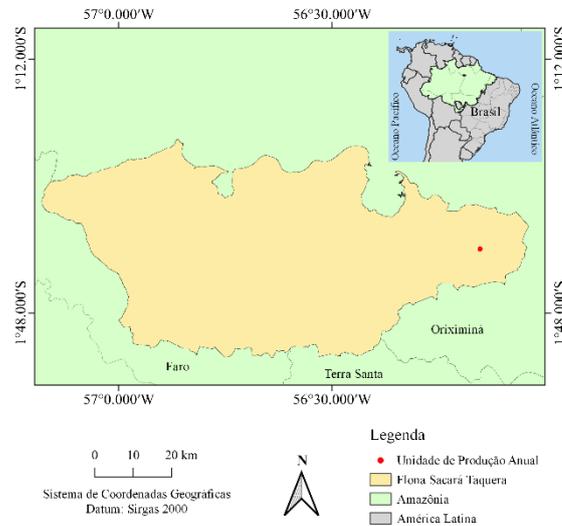
Diante do exposto, o objetivo foi analisar se a incorporação das incertezas do preço e da produção anual da madeira em tora, bem como da taxa de desconto agregam ao valor presente líquido tradicional do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira, por meio da análise de opções reais.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1 Área manejada**

O estudo foi conduzido em uma área de concessão florestal, na Floresta Estadual Saracá-Taquera, localizada nas coordenadas geográficas 1° 38' S e 56° 09' O, no estado do Pará, Brasil (Figura 1). O clima da região foi classificado de acordo com *Köppen-Geiger* como tropical úmido (Af), com índice pluviométrico anual variando entre 2.200 e 2.500 mm, temperatura média de 26 °C, umidade relativa do ar de 81% e dois períodos climáticos distintos: inverno úmido, de dezembro a maio, e verão seco, de junho a novembro (ALVARES et al., 2013; INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2022).

**Figura 1. Localização da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira**



O relevo era praticamente homogêneo, suave ondulado, com superfícies rebaixadas. O tipo de solo predominante foi o Latossolo Amarelo Distrófico com textura argilosa. As formações vegetais foram caracterizadas como Floresta Ombrófila Densa, com influência fluvial, em seu primeiro ciclo de corte (SANTOS et al., 2018).

**Figura 2. Área da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira**



**Figura 2A:** árvore selecionada para extração; **2B:** árvore selecionada como porta semente; **2C:** trilha após o arraste das toras já seccionadas; **2D:** pátio de estocagem das toras na floresta; **2E:** rota principal de arraste do *skidder*; **2F:** pátio de estocagem das toras no porto.

### 2.2.2 Dados de custo e produção do manejo florestal sustentável

As atividades do manejo florestal sustentável (MFS) foram pautadas nas recomendações da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAO

(1996). Foram coletados os custos com as atividades de inventário florestal e seleção de árvores para o corte, planejamento da extração e estruturação dos pátios de estocagem das toras, construção das estradas de acesso, corte das árvores, arraste das toras e transporte da madeira até a unidade primária de beneficiamento.

As árvores selecionadas para o corte apresentavam diâmetro à altura do peito maior ou igual a 50 cm, fuste retilíneo ou levemente tortuoso, cilíndrico ou pequena excentricidade, sem defeitos aparentes, com possibilidade de aproveitamento da tora maior que 60%. Foram exploradas 27 espécies com volume total de 31.053,7956 m<sup>3</sup>, com média de 2,2268 m<sup>3</sup> por tora, conforme permitido na Autorização de Exploração nº 1015.2.2020.25034 (ANEXO C). Ressalta-se que por se tratar de uma área não certificada, o preço da madeira em tora foi reduzido em 8,40%.

### 2.2.3 Análise econômica tradicional

O fluxo de caixa foi projetado para um horizonte de planejamento de 30 anos conforme a Lei 11.284/2006 de Gestão das Florestas Públicas Brasileiras (BRASIL, 2006), caracterizado como não convencional devido aos investimentos necessários ao longo do horizonte de planejamento (GITMAN; ZUTTER, 2019). A receita bruta foi calculada a partir da quantidade de madeira em tora transportada e o valor de acordo com a classificação da Secretaria da fazenda do estado do Pará (PARÁ, 2022). O detalhamento da receita bruta pode ser consultado no ANEXO C.

O investimento inicial englobou os custos com a documentação exigida para a participação da licitação de concessão florestal, veículos de transporte de pessoas (caminhonetes, motocicletas e micro-ônibus), máquinas agrícolas de abertura de estradas, máquinas florestais autopropelidas de arraste e de empilhamento das toras de madeira, caminhão comboio de abastecimento, construção da estrutura do alojamento, escritório e porto, além das ferramentas de campo e motosserras.

Os custos operacionais foram divididos em fixos e variáveis. Como custos fixos, foram considerados a mão de obra, peças do maquinário, transporte de suprimentos, material de escritório, alimentação e telecomunicação. Os custos variáveis foram compostos por combustível, transporte hidroviário da madeira e os impostos que incidiram sob a receita bruta. Os custos administrativos foram ponderados como outros custos.

Foram considerados na construção do fluxo de caixa, o imposto sobre a renda, encargos sociais, taxas e impostos da autorização da exploração de impacto reduzido. Os dados econômicos foram deflacionados, aplicando o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) e convertidos para dólares americanos com valor de BRL 5,2876 referentes a cotação realizada no dia 18 de setembro de 2022.

Devido à utilização de capital de terceiros no projeto de investimento no MFS, a taxa de desconto do projeto (Equação 1), representada em  $r$ , foi ponderada aplicando o custo médio ponderado de capital (*Weighted Average Cost of Capital – WACC*). No cálculo do capital próprio, foi utilizado o modelo de precificação de ativos de capital (*Capital Asset Pricing Model – CAPM*) adaptado de Kukharenko, Stern e Gorsky (2018).

$$r = (r_f + \beta * ERP + c_r) * \frac{E}{V} + \left(\frac{Ir}{D}\right) * \frac{D}{V} * (1 - \tau) \quad (1)$$

**em que:**  $r$  é a taxa de desconto do projeto;  $r_f$  é a taxa de juros livre de risco;  $\beta$  é o indicador de volatilidade da rentabilidade do capital financeiro das empresas do setor florestal brasileiro em relação à mudança na rentabilidade do mercado financeiro;  $ERP$  reflete o retorno que o mercado de ações oferece além do retorno de um ativo financeiro livre de risco;  $c_r$  prêmio de risco-país;  $E$  é o valor de mercado da empresa;  $V$  é o custo do capital total;  $Ir$  são os pagamentos de juros sobre obrigações de curto e longo prazo da empresa;  $D$  é o custo das responsabilidades da empresa no final do exercício;  $\tau$  é a taxa do imposto de renda.

A taxa de juros livre de risco foi de 5,10%, obtida pela média geométrica do período entre 01/02/1962 e 18/09/2022 da taxa de títulos do Tesouro Americano *10-Year Rate on Treasury Bonds*, conforme dados do *United States Department of the Treasury* (2022). O coeficiente beta (Equação 2) foi usado como premissa por ser considerado como a medida de risco não diversificável das empresas do setor florestal (GUAITA-PRADAS; BLASCO-RUIZ, 2020).

$$\beta = \frac{[Cov(R_i, R_m)]}{\delta_m^2} \quad (2)$$

**em que:**  $\beta$  é o coeficiente beta;  $Cov$  é a covariância das variáveis de interesse;  $R_i$  é o retorno do ativo;  $R_m$  é o retorno esperado da carteira de mercado;  $\delta_m^2$  é a variância do retorno do mercado.

O coeficiente beta foi calculado utilizando a média do coeficiente beta desalavancado das empresas Companhia Melhoramentos de São Paulo, Dexco S.A., Eucatex S.A. Indústria e Comércio, Klabin S.A. e Suzano Papel e Celulose S.A. Estas, pertencentes ao setor de madeira e papel listadas na B3 S.A.– Brasil Bolsa Balcão (2022), resultando no índice beta desalavancado para o setor de 0,32. Ao ponderar a dimensão do ativo financiado por terceiros (56,82%), determinou-se o índice beta médio realavancado de 0,48.

Com a taxa de retorno prevista para a carteira de mercado de 10,21%, pautada no *S&P 500 Index* da Dow Jones (2022), o *ERP* calculado foi de 5,11%. O prêmio de risco do país, obtido por meio da média geométrica da série histórica do risco Brasil entre 29/04/1994 e 18/09/2022 e do *Emerging Markets Bond Index Plus* divulgado pela J. P. Morgan (2022), foi de 3,93%.

A proporção que representou o valor de mercado da empresa e o custo do capital total foi de 43,18%. Já a proporção dos pagamentos de juros sobre obrigações de curto e longo prazo da empresa e o custo das responsabilidades da empresa no final do exercício indicaram 7,25%.

Ao custo das responsabilidades da empresa no final do exercício e o custo do capital total foi adicionado o spread de 2,40% para países com classificação de crédito especulativo Ba2 (MOODY'S, 2022). A taxa do imposto sobre a renda foi de 34,00%, o que resultou na taxa do custo de oportunidade de 7,52% ao ano.

De acordo com Ma, Chapman e Verbič (2022), o valor presente líquido tradicional foi utilizado como pressuposto da análise de opções reais (Equação 3).

$$VPL_{trad} = \sum_{t=1}^T \frac{c_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

**em que:**  $VPL_{trad}$  é a soma do benefício líquido avaliado a valor presente até o t-ésimo intervalo de tempo sem as flexibilidades gerenciais;  $c_t$  é o fluxo de caixa no t-ésimo intervalo de tempo;  $r$  é a taxa de desconto para todo o horizonte de planejamento.

## 2.2.4 Análise econômica estocástica

Foi assumido como fonte de incerteza o preço da madeira, a produção anual de madeira em tora e a taxa do custo de oportunidade do projeto de investimento. Com série histórica entre 2004 e 2022, e de acordo com Aquila et al. (2020) Lopes et al. (2019) e Work, Hauer e Luckert (2018), a incerteza do preço da madeira em tora foi modelada seguindo um movimento de reversão à média (Equação 4).

$$X_t = e^{\ln(X_{t-1})e^{-\eta\Delta t} + \ln(\bar{X})(1-e^{-\eta\Delta t}) - (1-e^{-2\eta t})\frac{\sigma^2}{4\eta} + \sigma\sqrt{\frac{1-e^{-2\eta\Delta t}}{2\eta}}N(0,1)} \quad (4)$$

**em que:**  $X$  é a variável estocástica;  $\bar{X}$  é a média de longo prazo da variável estocástica;  $t$  é o instante de tempo considerado;  $\eta$  e  $\sigma$  são parâmetros obtidos a partir da regressão dos valores da série histórica;  $\Delta t$  é o intervalo de tempo.

Devido ao comportamento dos dados, considerou-se que as incertezas da produção anual de madeira em tora e a taxa do custo de oportunidade do projeto de investimento assumiram valores de comportamento aleatório, modeladas pelo movimento browniano geométrico (Equação 5), conforme Gapeev et al. (2022). A oscilação dos valores da produção de madeira em tora foi pautada em valores históricos entre 2012 e 2021 do manejo florestal sustentável na área de estudo. A variação da taxa do custo de oportunidade do projeto de investimento foi calculada a partir dos dados históricos da taxa livre de risco, compreendida entre 2004 e 2022.

$$P_t = P_{t-1} \cdot e^{\left(\alpha - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t + \sigma \cdot \varepsilon \Delta t} \quad (5)$$

**em que:**  $P_t$  é o preço do ativo subjacente no momento  $t$ ;  $P_{t-1}$  é o preço do ativo subjacente no tempo  $t - 1$ ;  $\alpha$  é a taxa de crescimento de  $P$  (desvio);  $\sigma$  é a volatilidade;  $\varepsilon$  é o erro com distribuição normal padrão;  $\Delta t$  é o incremento de um processo de Wiener (incremento do passeio aleatório da variável selecionada, com distribuição normal e tempo definido).

A volatilidade do projeto de investimento foi ponderada por meio do desvio padrão da amostra aleatória do retorno (Equação 6), conforme Sung and Park (2019). Com a geração de 100.000 números pseudoaleatórios, utilizando o *software* @Risk (PALISADE CORPORATION, 2022), a simulação de Monte Carlo foi realizada como cálculo das opções pelo processo estocástico.

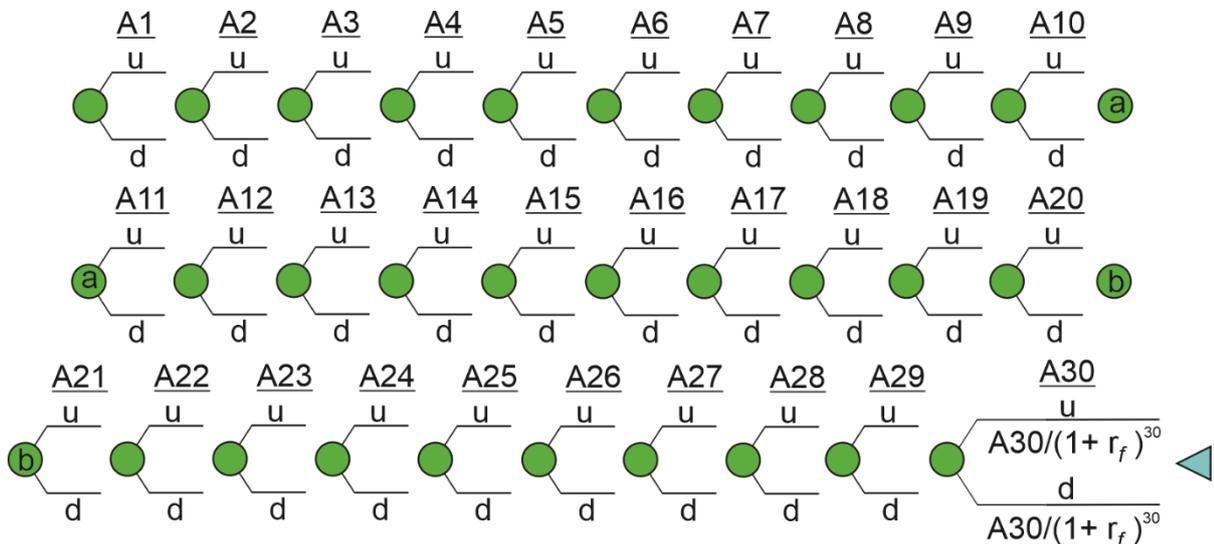
$$Y = \ln \frac{PV_1}{PV_0} = \ln \left[ \frac{\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^{t-1}}}{\sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t}} \right] \quad (6)$$

em que  $PV_0$  é a soma no ano base (ano 0) sobre os valores presentes de todos os fluxos de caixa,  $PV_1$  é a soma no primeiro ano sobre os valores presentes de todos os fluxos de caixa e  $r$  é a taxa de desconto do projeto de investimento.

### 2.2.5 Incorporação da análise de opções reais

Foi aplicado o modelo binomial de Cox, Ross e Rubinstein (1979) para a construção da árvore de decisão (Figura 3). Este cálculo incluiu a taxa de juros livre de risco  $r_f$  com os parâmetros derivados da volatilidade do projeto de investimento ( $\sigma$ ): nível de acréscimo ( $u = e^\sigma$ ), decréscimo ( $d = u^{-1}$ ), probabilidade neutra ao risco ( $p = (1 + r - d)/(u - d)$ ) e ( $q = 1 - p$ ) como sua complementar, segundo Assis et al. (2022).

**Figura 3. Modelo binomial do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira**



**em que:** A é o ano do horizonte de planejamento;  $r_f$  é a taxa de juros livre de risco.

Como opção real, foi incorporada a opção de compra americana de diferimento do ano zero para o ano dois do horizonte de planejamento ao custo do investimento inicial do projeto. Foi considerada também a opção de compra americana de

abandono no ano zero e no ano dezesseis ao bônus USD 2.117.751 e USD 627.640, respectivamente. As opções de venda de interrupção foram calculadas no ano seis e no ano onze ao custo de manutenção de USD 1.218.773. As opções reais foram calculadas individualmente e combinadas com o *software Decision Programming Language* – DPL (SYNCOPATION SOFTWARE, 2022).

A Equação 7 se refere ao valor presente líquido expandido ( $VPL_{exp}$ ), resultado de interesse na análise de opções reais, calculado por meio da soma do valor presente líquido tradicional  $VPL_{trad}$  e o valor das opções reais ( $VOR$ ), segundo Na et al. (2022).

$$VPL_{exp} = VPL_{trad} + VOR \quad (7)$$

#### 2.2.6 Análise de sensibilidade

Realizou-se uma análise de sensibilidade empírica, na qual foram considerados como *inputs* os intervalos possíveis do valor presente do projeto de investimento entre USD 25.000.000 a USD 75.000.000, resultado da análise de Monte Carlo. O intervalo da volatilidade de 15 a 70% foi pautado em resultados de trabalhos com a aplicação de opções reais. Já a variação da taxa de juros livre de risco entre 3 e 10% foi fundamentada na série histórica entre 2004 e 2022 da taxa de títulos do Tesouro Americano *10-Year Rate on Treasury Bonds*. Como *output*, foi aplicado o comportamento do valor esperado expandido do projeto de investimento.

## 2.3 RESULTADOS

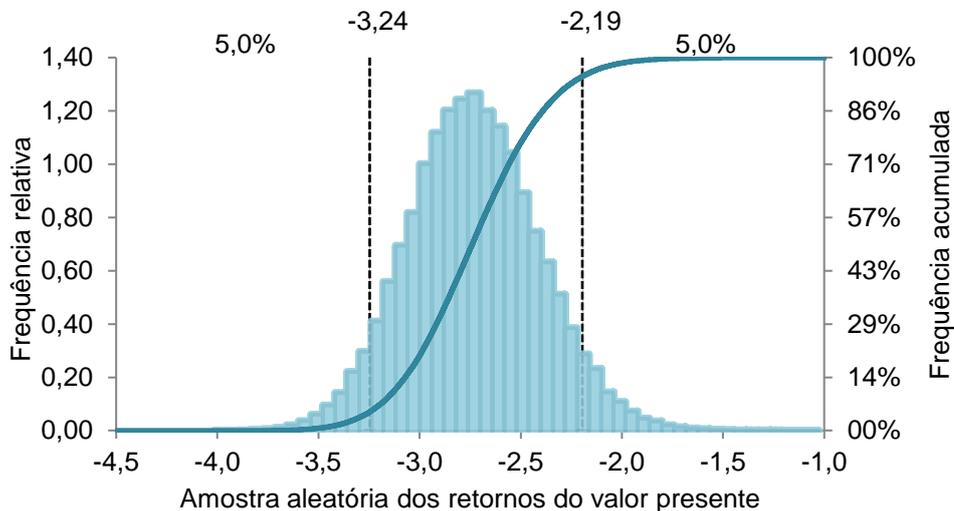
### 2.3.1 Análise econômica tradicional

O investimento inicial do projeto em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira totalizou o valor de USD 2.117.751. O valor presente do projeto de investimento e o valor presente líquido tradicional foram calculados em USD 67.006.429 e USD 64.888.678, respectivamente.

### 2.3.2 Análise econômica estocástica

O valor presente mínimo do projeto foi de USD 55.189.426 e máximo de USD 127.518.223, média de USD 80.061.659 e desvio padrão de USD 7.374.694. A partir da distribuição da amostra aleatória dos retornos (Figura 4), a volatilidade do projeto de investimento foi calculada em 32,09%.

**Figura 4. Histograma de frequência da amostra aleatória dos retornos do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira com o método de Monte Carlo**



### 2.3.3 Incorporação da análise de opções reais

Com o valor do fator de acréscimo  $u = 1,38$  e decréscimo  $d = 0,73$ , a probabilidade neutra ao risco  $p$  foi de 2,53 e a sua complementar  $q = -1,53$ , a opção de diferimento apresentou 100% de probabilidade de ocorrência. O valor presente líquido expandido ( $VPL_{exp}$ ) foi de USD 65.089.220 e o valor adicional, por considerar a opção de diferimento (valor da opção real -  $VOR$ ) foi de USD 200.541.

O abandono, considerado no ano zero do horizonte de planejamento, indicou  $VPL_{exp}$  de USD 64.888.678. Dessa forma, o  $ROV$  da opção de abandono foi de USD 0,00. Em relação à probabilidade de ser exercida, a opção de não abandonar o projeto de investimento foi de 100%. O abandono considerado no ano dezesseis

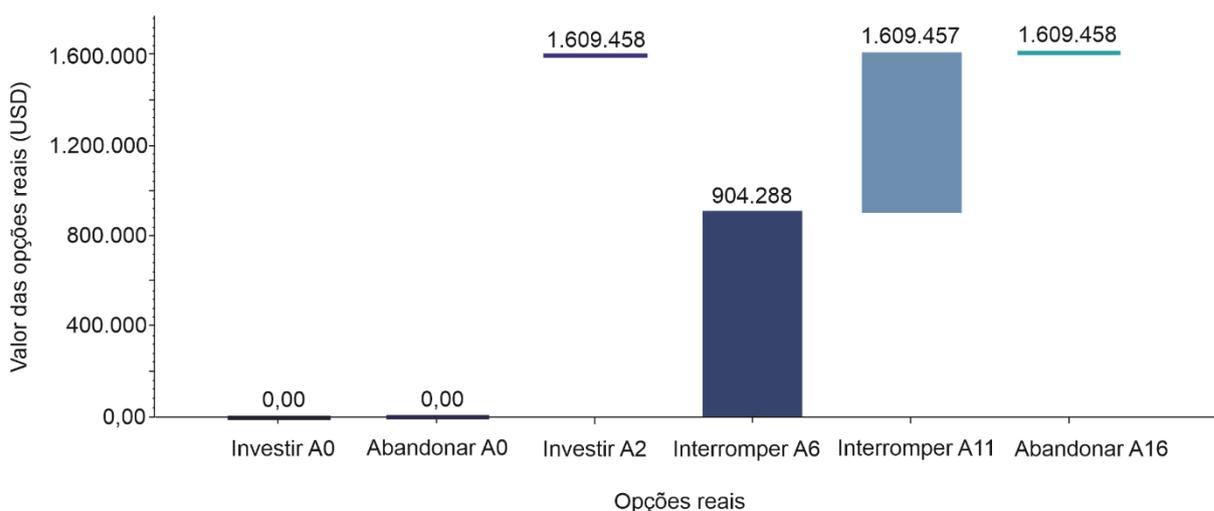
apresentou  $VOR$  de USD 6,00 e  $VPL_{exp}$  de USD 64.888.684, também com probabilidade de não ser exercida em 100%.

Na opção de interrupção no ano seis e onze do horizonte de planejamento, o  $VPL_{exp}$  de USD 64.888.678 e  $VOR$  de USD 0,00 foi apresentado em ambos os anos considerados. A probabilidade também foi a mesma, 100% de não serem exercidas no projeto de investimento com o manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira.

As opções reais, quando calculadas em conjunto, indicaram um  $VOR$  de USD 4.235.503 e  $VPL_{exp}$  de USD 69.124.181. A probabilidade de a opção de adiamento ser exercida foi de 100%. As demais opções reais consideradas, abandono no ano zero e dezesseis, assim como a opção de interrupção no ano seis e onze, apresentaram 100% de probabilidade de não serem exercidas.

Diferente de quando calculadas separadamente, a opção de interrupção no ano seis e onze do horizonte de planejamento e abandono no ano 16 apresentaram valor (Figura 5), mesmo que não foram indicadas para exercício. Ao calcular as opções reais em conjunto, o  $VOR$  foi de USD 4.235.503 e o  $VPL_{exp}$  foi de USD 69.124.181.

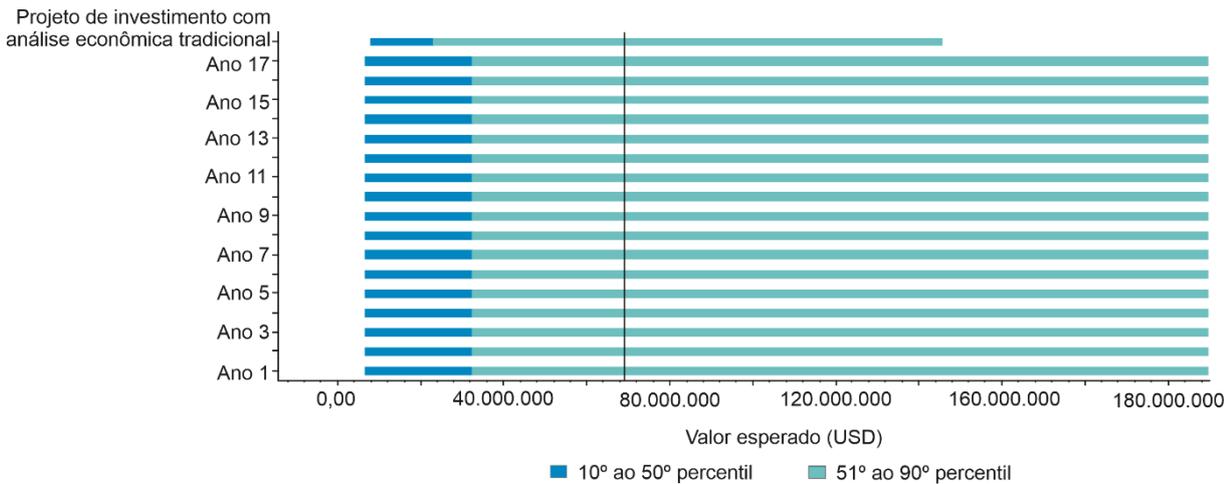
**Figura 5. Valor das opções reais combinadas do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica**



**em que:** A é o ano do horizonte de planejamento considerado nas opções reais.

O gráfico de tornado indica os valores esperados do projeto de investimento com o manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira antes e depois da aplicação da análise de opções reais (Figura 6).

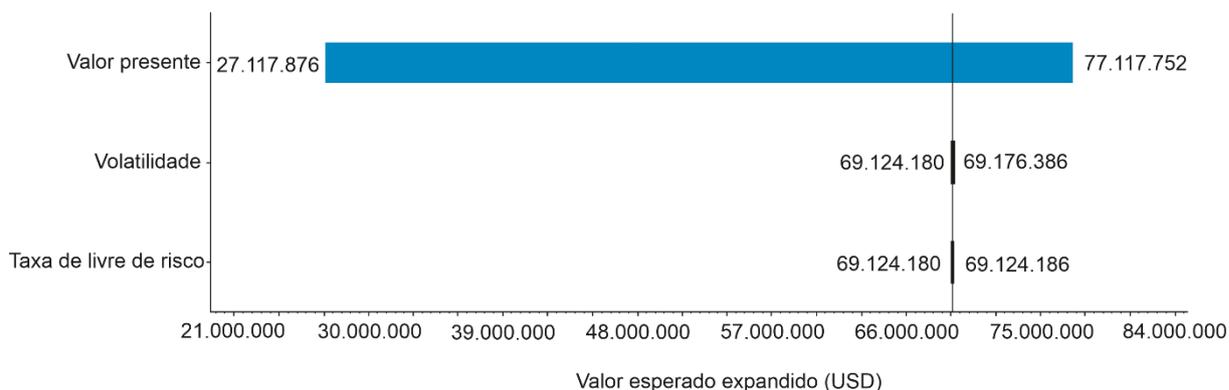
**Figura 6. Valor esperado do projeto de investimento com a análise econômica tradicional e com as opções reais do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira**



#### 2.3.4 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade aplicada indicou que apenas a oscilação do valor presente do projeto de investimento interferiu significativamente no valor esperado expandido do projeto de investimento (Figura 7). A influência da volatilidade e da taxa livre de risco em relação ao valor esperado expandido foram substancialmente menores quando comparada ao valor presente do projeto de investimento.

**Figura 7. Análise de sensibilidade do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira com as opções reais**



## 2.4 DISCUSSÃO

### 2.4.1 Análise econômica estocástica

Čech; Šofranko (2018), Dou et al. (2020), Neingo, Tholana e Nhleko (2018) e Quimbayo (2019) ressaltam as incertezas que os projetos de investimento podem estar expostos, como a oscilação dos preços de mercado dos recursos, da produção esperada e das taxas juros. Ao incorporar a volatilidade dessas incertezas na análise da viabilidade econômica dos projetos de investimento, foi possível projetar os cenários futuros mais próximos à realidade devido à instabilidade do mercado em que estão inseridos.

### 2.4.2 Incorporação da análise de opções reais

Conforme exposto por Acheampong (2021), Liu et al. (2021) e Wenninger e Wiethé (2022), a opção de diferimento é sempre exercida quando o investimento não paga dividendo aos seus gestores, característica do projeto de investimento em questão. Devido aos ciclos do risco sistemático de mercado, a decisão do momento de investimento é considerada relevante. Assim, é importante analisar o comportamento dos indicadores para que o projeto já esteja em operação quando as condições de mercado forem favoráveis.

Segundo Guerra, Nunes e Oliveira (2021), Huang e Yu (2021) e Lange, Ralph e Store (2020), a opção de interrupção é exercida quando for mais vantajoso pagar os

custos de manutenção do que obter um maior prejuízo mantendo as operações do projeto de investimento. Por se tratar de uma opção de decisões complexas, que envolve a demissão e recontração de colaboradores, indica-se que essa opção também seja analisada considerando os fatores sociais.

Ponderando a distribuição dos valores esperados do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica, percebe-se maior concentração dos resultados do 51º ao 90º percentil, o que pode indicar maior probabilidade de retorno econômico do projeto de investimento, mesmo quando não considerada a análise de opções reais.

As incertezas associadas aos projetos de investimento tendem a aumentar ao decorrer do seu horizonte de planejamento, devido à dificuldade de prever cenários distantes (BORGOMEIO et al., 2018; GUO et al., 2021; HE et al., 2019). De acordo com Borojo, Yushi e Miao (2022), quanto maior a incerteza, maior poderá ser o retorno econômico para compensar o risco, a opção de abandono ponderada no ano dezesseis do horizonte de planejamento apresentou valor de USD 6,00, ao passo que essa mesma opção indicou valor de USD 0,00 quando considerada no ano zero.

O mesmo raciocínio pode ser aplicado para explicar o comportamento das opções reais calculadas em conjunto. Além da potencialização do valor das opções reais quando combinadas, como demonstrado por Castro, Tito e Brandão (2021), percebe-se maior valor individual das opções nos anos posteriores do horizonte de planejamento, assim como indicado por Prime et al. (2018), mesmo que não seja indicado exercê-las.

O valor esperado do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira considerando as opções reais foi, aproximadamente, 30% maior que o valor esperado da análise econômica tradicional. Corroborando com Polat e Battal (2021), Sung e Park (2019) e Zhao et al. (2021), a análise de opções reais apresenta aos gestores, além do melhor caminho estratégico na tomada de decisão, o real valor do projeto de investimento avaliado.

#### 2.4.3 Análise de sensibilidade

Ao considerar o valor presente do projeto de investimento na análise de sensibilidade, a diferença da amplitude dos resultados indicou sua maior influência em relação ao valor presente esperado expandido do projeto de investimento. A

maior influência do valor presente do projeto de investimento foi corroborada ao apresentar diferença de 10,30% do valor esperado expandido do projeto quando comparado à volatilidade, que apresentou o segundo maior valor do *output*, ainda que tenham sido consideradas três fontes de incertezas.

## **2.5 CONCLUSÕES**

A incorporação das incertezas do preço e da produção anual da madeira em tora, bem como da taxa de desconto agregam 6,53% ao valor presente líquido tradicional do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira por meio da análise de opções reais.

A opção de diferimento é exercida em todos os cenários considerados, sendo a opção real que mais impacta o valor presente líquido expandido do projeto de investimento quando calculada individualmente.

O ano selecionado para exercer a opção de abandono apresentou influência no valor da opção real ao ser combinada, demonstrando maior valor nos anos posteriores do horizonte de planejamento.

O valor presente do projeto exerceu maior influência ao valor presente esperado expandido do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira quando comparado à volatilidade e a taxa de desconto analisada.

## REFERÊNCIAS

ACHEAMPONG, T. On the valuation of natural resources: Real options analysis of marginal oilfield-development projects under multiple uncertainties. **SPE Production and Operations**, v. 36, n. 3, p. 734–750, 2021.

AGATON, C. B.; COLLERA, A. A. Now or later? Optimal timing of mangrove rehabilitation under climate change uncertainty. **Forest Ecology and Management**, v. 503, n. 119739, p. 1–11, 2022.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

AQUILA, G. et al. Wind energy investments facing uncertainties in the Brazilian electricity spot market: a real options approach. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 42, n. 100876, p. 1–10, 2020.

ASSCHE, H. L.-V.; COMPERNOLLE, T. Using Real Options thinking to value investment flexibility in carbon capture and utilization projects: a review. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 1–24, 2022.

ASSIS, A. C. V. et al. Port capacity expansion under real options approach: a case study in Brazil. **Independent Journal of Management & Production**, v. 13, n. 1, p. 234–257, 2022.

B3 S.A.– BRASIL BOLSA BALCÃO. Séries Históricas. Disponível em: <http://www.b3.com.br>. Acesso em: 18 set. 2022.

BAKAS, D.; TRIANTAFYLLOU, A. Volatility forecasting in commodity markets using macro uncertainty. **Energy Economics**, v. 81, p. 79–94, 2019.

BONILLA-BEDOYA, S. et al. Patterns of timber harvesting and its relationship with sustainable forest management in the western Amazon, Ecuador case. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 36, n. 5, p. 433–453, 2017.

BORGOMEIO, E. et al. Risk, Robustness and Water Resources Planning Under Uncertainty. **Earth's Future**, v. 6, n. 3, p. 468–487, 2018.

BOROJO, D. G.; YUSHI, J.; MIAO, M. The Impacts of Economic Policy Uncertainty on Trade Flow. **Emerging Markets Finance and Trade**, v. 58, n. 8, p. 2258–2272, 2022.

BRASIL. **Instrução Normativa n.º 5, de 11 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

CARVALHO, S. et al. A changing Amazon rainforest: Historical trends and future projections under post-Paris climate scenarios. **Global and Planetary Change**, v. 195, n. 103328, p. 1–13, 2020.

CASTRO, J. G.; TITO, E. A.; BRANDÃO, L. E. Optimization of a Portfolio of Investment Projects: A Real Options Approach Using the Omega Measure. **Journal of Risk and Financial Management**, v. 14, n. 530, p. 1–17, 2021.

ČECH, J.; ŠOFRANKO, M. Economic projection and evaluation of mining venture. **E a M: Ekonomie a Management**, v. 21, n. 2, p. 38–52, 2018.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: A simplified approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, n. 3, p. 229–263, 1979.

DALBY, P. A. O. et al. Green investment under policy uncertainty and Bayesian learning. **Energy**, v. 161, p. 1262–1281, 2018.

DOU, S. QUAN et al. Economic feasibility valuing of deep mineral resources based on risk analysis: Songtao manganese ore - China case study. **Resources Policy**, v. 66, n. 101612, p. 1–12, 2020.

DOW JONES. **S&P 500**<sup>®</sup>. Disponível em: <https://www.spglobal.com/spdji/en/indices/equity/sp-500/#overview>. Acesso em: 18 set. 2022.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO Model Code of Forest Harvesting Practice. Rome: FAO, 1996.

GAPEEV, P. V. et al. Optimal Double Stopping Problems for Maxima and Minima of Geometric Brownian Motions. **Methodology and Computing in Applied Probability**, v. 24, n. 2, p. 789–813, 2022.

GITMAN, L. J.; ZUTTER, C. J. **Principles of managerial finance**. 14. ed. London: Pearson, 2019.

GUAITA-PRADAS, I.; BLASCO-RUIZ, A. Analyzing profitability and discount rates for solar PV Plants. A spanish case. **Sustainability**, v. 12, n. 8, 2020.

GUERRA, M.; NUNES, C.; OLIVEIRA, C. **The optimal stopping problem revisited**. Springer Berlin Heidelberg, 2021. v. 62

GUO, S. et al. Modelling building energy consumption in China under different future scenarios. **Energy**, v. 214, n. 119063, p. 1–14, 2021.

HE, J. et al. A real-option approach to mitigate disruption risk in the supply chain. **Omega**, v. 88, p. 133–149, 2019.

HUANG, Y. J.; YU, X. Optimal stopping under model ambiguity: A time-consistent equilibrium approach. **Mathematical Finance**, v. 31, n. 3, p. 979–1012, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações meteorológicas.**

Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 18 set. 2022.

J. P. MORGAN. Emerging Markets Bond Index. Disponível em:

<https://www.jpmorgan.com/global>. Acesso em: 18 set. 2022.

KREMENOVIĆ, D. Expressing the Benefits of the Investment Project on a Cash Basis. *EMC Review - Journal of Economics - APEIRON*, v. 8, n. 2, p. 348–368, 2018.

KUKHARENKO, A. Y.; STERN, A. A.; GORSKY, M. A. The formula for the aggregated calculation of the weighted average cost of capital of companies. **Entrepreneur's guide**, v. 39, p. 123–142, 2018.

LANGE, R. J.; RALPH, D.; STORE, K. Real-Option Valuation in Multiple Dimensions Using Poisson Optional Stopping Times. **Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 55, n. 2, p. 653–677, 2020.

LAWAL, A. I. et al. Testing mean-reversion in agricultural commodity prices: evidence from wavelet analysis. **Journal of International Studies**, v. 12, n. 4, p. 100–114, 2019.

LIU, Q. et al. An uncertainty analysis for offshore wind power investment decisions in the context of the national subsidy retraction in China: A real options approach. **Journal of Cleaner Production**, v. 329, n. 238, p. 1–16, 2021.

LOPES, C. D. C. et al. Investment decisions in an oil refinery in Brazil under a real option approach. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 3, p. 375–386, 2019.

MA, Y.; CHAPMAN, A. C.; VERBIČ, G. Valuation of compound real options for co-investment in residential battery systems. **Applied Energy**, v. 318, n. 119111, p. 1–10, 2022.

MAHARI, W. A. W. et al. Deforestation of rainforests requires active use of UN's Sustainable Development Goals. **Science of the Total Environment**, v. 742, n. 140681, p. 1–8, 2020.

MARTINELLI, G. DO C. et al. Decreasing uncertainties and reversing paradigms on the economic performance of agroforestry systems in Brazil. **Land Use Policy**, v. 80, p. 274–286, 2019.

MORIKAWA, M. Uncertainty over production forecasts: an empirical analysis using monthly quantitative survey data. **Journal of Macroeconomics**, v. 60, p. 163–179, 2019.

- NA, S. et al. Real Options Analysis for Land and Water Solar Deployment in Idle Areas of Agricultural Dam: A Case Study of South Korea. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 1–17, 2022.
- NEINGO, P. N.; THOLANA, T.; NHLEKO, A. S. A comparison of three production rate estimation methods on South African platinum mines. **Resources Policy**, v. 56, p. 118–124, 2018.
- PALISADE CORPORATION. **@RiskIthaca**, 2022. Disponível em: <https://www.palisade-br.com>. Acesso em: 20 ago. 2022.
- PARÁ. **Secretaria da fazenda do estado do Pará**. Disponível em: <http://www.sefa.pa.gov.br/>. Acesso em: 20 set. 2022.
- POLAT, L.; BATTAL, U. (ÜNAL). Airport infrastructure investments and valuing expansion decisions using the compound real option approach. **Journal of Air Transport Management**, v. 91, n. 102011, p. 1–10, 2021.
- PRIME, T. et al. Protecting Energy Infrastructure against the Uncertainty of Future Climate Change: A Real Options Approach. **Journal of Ocean and Coastal Economics**, v. 5, n. 1, p. 1–34, 2018.
- QUIMBAYO, C. A. Z. Valoración de opciones reales con múltiples incertidumbres mediante modelos k-dimensionales. **Odeon**, n. 16, p. 97–121, 2019.
- REIS, C. R. et al. Qualifying the information detected from airborne laser scanning to support tropical forest management operational planning. **Forests**, v. 12, n. 12, p. 1–12, 2021.
- REYES, A. Z.; MARTÍNEZ, F. V. Valuación de opciones arcoíris sobre canastas de activos bajo procesos de difusión con saltos. **Contaduría y Administración**, v. 61, n. 2, p. 374–390, 2016.
- SAMUELSON, P. A. Proof That Properly Anticipated Prices Fluctuate Randomly. *Industrial Management Review*, v. 6, n. 2, p. 41–49, 1965.
- SANTOS, H. G. DOS et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5nd ed. ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.
- SILVA, J. DE O. et al. Economic viability in eucalyptus spp. clonal plantation for production of pulp. **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 4, p. 1–8, 2020.
- SU, Z.; FANG, T.; YIN, L. Understanding stock market volatility: what is the role of U.S. uncertainty? **North American Journal of Economics and Finance**, v. 48, p. 582–590, 2019.
- SUNG, T. E.; PARK, H. W. The adequacy of volatility for the elaboration of technology valuation based on real options. **Technology Analysis and Strategic Management**, v. 31, n. 1, p. 1–24, 2019.

SYNCOPATION SOFTWARE. **DPL - Decision Programming Language**. Concord, 2022. Disponível em: <https://www.syncopation.com/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

TANDJA, D. C. M.; POWER, G. J.; BASTIEN, J. Real option valuation in a Gollier/Weitzman world: The effect of long-run discount rate uncertainty. **Energy Journal**, v. 39, n. 5, p. 21–53, 2018.

THOMPSON, B. S. Impact investing in biodiversity conservation with bonds: an analysis of financial and environmental risk. **Business Strategy and the Environment**, p. 1–16, 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE TREASURY. **Daily Treasury Yield Curve Rates**. Disponível em: <https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>. Acesso em: 1 set. 2022.

VACA, R. A. et al. Site Quality for Mahogany (*Swietenia macrophylla* King) in Natural Forests in Quintana Roo. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 41, n. 1, p. 33–50, 2022.

WANG, L. et al. Pricing geometric Asian rainbow options under fractional Brownian motion. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, v. 494, p. 8–16, 2018.

WENNINGER, S.; WIETHE, C. The Human's Comfort Mystery—Supporting Energy Transition with Light-Color Dimmable Room Lighting. **Sustainability**, v. 14, n. 4, p. 1–10, 2022.

WORK, J.; HAUER, G.; LUCKERT, M. K. (MARTY). What ethanol prices would induce growers to switch from agriculture to poplar in Alberta? A multiple options approach. **Journal of Forest Economics**, v. 33, p. 51–62, 2018.

WU, X.; HU, F. Analysis of ecological carrying capacity using a fuzzy comprehensive evaluation method. **Ecological Indicators**, v. 113, n. 106243, p. 1–13, 2020.

ZAMBUJAL-OLIVEIRA, J.; MOUTA-LOPES, M.; BANGUESES, R. Real options appraisal of forestry investments under information scarcity in biomass markets. **Resources Policy**, v. 74, n. 101735, p. 1–11, 2021.

ZHAO, C. et al. Drop-in ready jet biofuel from carinata: A real options analysis of processing plant investments. **GCB Bioenergy**, v. 13, n. 10, p. 1624–1635, 2021.

## CAPÍTULO 3

### VARIAÇÃO DA ESCALA DE PRODUÇÃO COMO PREMISA NA VIABILIDADE ECONÔMICA DO MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL SOB A ANÁLISE DE OPÇÕES REAIS

#### RESUMO

A quantidade produzida de um bem é uma das principais variáveis que influenciam a viabilidade econômica dos projetos de investimento. Dessa forma, prever possíveis alterações na produção pode preparar os gestores florestais frente a cenários incertos. Diante do exposto, o objetivo foi analisar se os projetos de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira em diferentes escalas de produção é economicamente viável por meio das opções reais. Foi elaborado o fluxo de caixa projetado para 30 anos com o investimento inicial, custos e receita do manejo florestal sustentável. No cálculo da fonte de incerteza do projeto, aplicou-se o valor da madeira em tora ponderando o movimento de reversão à média. Utilizando o modelo binomial de árvore de decisão, foram incorporadas as opções reais de diferimento, interrupção e abandono do projeto de investimento. A oscilação da produção de 70% a 90% do manejo florestal sustentável da Floresta Amazônica brasileira não apresentou diferença estatística significativa no valor presente líquido dos projetos considerados.

**Palavras-chave:** Exploração de impacto reduzido; incertezas de mercado; simulação de Monte Carlo, valor presente líquido expandido; decisões estratégicas.

### 3.1 INTRODUÇÃO

A projeção da produção nos projetos de investimento exerce influência direta na sua receita, sendo sua previsão determinante no resultado da análise econômica dos projetos. Em áreas de extração madeireira de impacto reduzido com manejo florestal sustentável, as condições climáticas, qualidade da madeira e planejamento da extração da madeira interferem diretamente na quantidade de madeira em tora produzida. Assim, estudar a dinâmica e comportamento da produção pode preparar os gestores frente a futuros incertos.

As florestas desempenham um papel multifuncional na conservação ambiental, o qual inclui a preservação dos ecossistemas, da biodiversidade e a absorção de dióxido de carbono. No manejo florestal sustentável (MFS), as funções florestais são mantidas após a extração de impacto reduzido e os estoques remanescentes permitem uma produção contínua, garantindo a sustentabilidade florestal. Dessa forma, quando manejadas de forma sustentável, as florestas contribuem para as dimensões ambientais, econômicas e sociais em benefício das gerações atuais e futuras (AKITA; OHE, 2021; CANETTI et al., 2021; CANTEGRIL et al., 2019).

A exploração madeireira nas florestas tropicais tem sido uma questão de preocupação global, devido a sua suscetibilidade à extração ilegal de madeira. Em contrapartida, criou-se a certificação do manejo florestal, a qual estimula os produtores a melhorar seu desempenho ambiental, social e econômico, fornecendo-lhes incentivos financeiros ou de reputação positiva pelo engajamento (BASSO et al., 2018; EHRENBURG-AZCÁRATE; PEÑA-CLAROS, 2020; SUSILAWATI; KANOWSKI, 2021).

Associando os custos da certificação às características dos projetos de investimento do MFS, como o longo ciclo de planejamento, incertezas do preço da madeira e fatores de investimento complexos, esses projetos podem ser classificados como arriscados. Portanto, a análise econômica dos projetos de investimento em MFS deve ser composta por todos os seus fatores e suas especificidades, com propósito de auxiliar a gestão e identificar seu real valor (LUJÁN-ÁLVAREZ et al., 2021; YANG et al., 2022; YAO et al., 2019).

Os métodos comumente utilizados para a análise econômica de projetos de investimento não incorporam incertezas e o valor relacionado à flexibilidade gerencial. Assim, a administração não é capaz de adaptar e revisar decisões em

resposta às mudanças nas condições de mercado. Por meio de métodos de probabilidade e volatilidade, a análise de opções reais parte da premissa que os investimentos sob incerteza devem ser ponderados com a precificação de opções (DEWI et al., 2022; MARTINS et al., 2022; SONG; JI; SUN, 2022).

A incorporação das opções reais reconhece o valor da incerteza e visualiza o projeto de forma dinâmica, fornecendo estratégias potenciais e sugerindo as melhores decisões. Há uma infinidade de opções reais que traduzem as flexibilidades gerenciais possíveis dentro de um projeto de investimento. Adiar é a mais comum, levando em conta a possibilidade de que seu valor possa mudar se for adiado para um momento posterior. Há também a opção de alternar um projeto para diferentes modos de operação, como a opção de interrupção e abandonar ou desistir do projeto em uma data futura (AGUILAR; GONZÁLEZ-RUIZ; BOTERO, 2022; KIM et al., 2022; LI; KIM; JIN, 2022).

A análise econômica que integra abordagens tradicionais e modernas aumenta a eficiência do apoio na tomada de decisão. Partindo desse princípio, entende-se que a integração de metodologias pode gerar melhores resultados, do que quando isoladas. Como possibilidade dessa integração, a análise de variância (ANOVA), por exemplo, é uma classe de análise estatística empregada para avaliar se a média de dois ou mais conjuntos de dados foram significativamente diferentes, incorporando maior segurança na tomada de decisão (HAJRAJABI; FALLAH, 2022; THANGO, 2022; TOBISOVA et al., 2022).

Com a importância de disseminar o MFS, incorporar as incertezas de gerenciamento e flutuações dos preços, bem como a instabilidade de produção, o objetivo foi analisar se os projetos de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira em diferentes escalas de produção são economicamente viáveis por meio das opções reais.

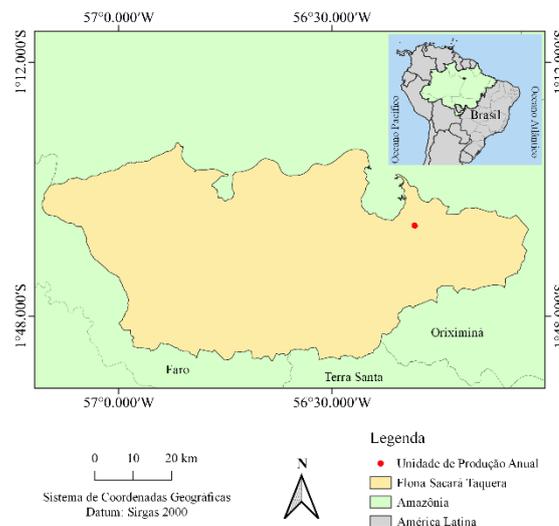
## **3.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1 Área de estudo**

Os dados foram coletados em uma área localizada nas coordenadas geográficas 1° 35' S e 56° 18' O (Figura 1), na Floresta Nacional Saracá-Taquera, no estado Pará, Brasil. O relevo era praticamente homogêneo, suave ondulado, com

superfícies rebaixadas. O tipo de solo predominante foi o Latossolo Amarelo Distrófico com textura argilosa. As formações vegetais foram caracterizadas como Floresta Ombrófila Densa, com influência fluvial, em seu primeiro ciclo de corte (SANTOS et al., 2018).

**Figura 1. Localização da unidade de produção anual do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira**



O clima da região foi classificado de acordo com Köppen-Geiger como tropical úmido (Af), com índice pluviométrico anual variando entre 2.200 e 2.500 mm, temperatura média de 26 °C, umidade relativa do ar de 81% e dois períodos climáticos distintos: inverno úmido, de dezembro a maio, e verão seco, de junho a novembro (ALVARES et al., 2013; INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, 2022).

### 3.2.2 Atividades do manejo florestal sustentável

O manejo florestal sustentável (MFS) foi realizado por meio da aplicação das técnicas de impacto reduzido, compreendidas nas atividades de inventário florestal (Figura 2A), abertura de estadas, abertura da rota de fuga (Figura 2B); corte das árvores (Figura 2C), planejamento do traçamento das toras, arraste das toras até o pátio da floresta (Figura 2D), cubagem e romaneio das toras, transporte da madeira

até o porto (Figura 2E) e transporte final das toras (Figura 2F) até a unidade consumidora.

**Figura 2. Atividades do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica**



**Figura 2A:** atividade de inventário florestal; **2B:** abertura da rota de fuga; **2C:** teste do oco das árvores a serem exploradas; **2D:** arraste das toras para o pátio de estocagem na floresta; **2E:** transporte terrestre das toras do interior da floresta para o porto; **2F:** transporte hidroviário das toras para a unidade consumidora.

### 3.2.3 Análise econômica tradicional

O fluxo de caixa foi projetado para 30 anos, período da concessão florestal, caracterizado como não convencional, conforme Frezatti (2022), devido aos vários investimentos ao longo do projeto. Nos custos, foram sopesados mão de obra, peças do maquinário e combinações veiculares de carga, combustível, transporte de suprimentos, transporte da madeira, material de escritório, alimentação e telecomunicação.

Como investimento, foram consideradas a construção do porto, alojamento e escritório, máquinas como grua florestal, motoniveladora de estradas, *grapple skidder*, combinação veicular de carga para transporte das toras de madeira, caminhão comboio de abastecimento, veículos de transporte de pessoas como caminhonetes, motocicletas e micro-ônibus, ferramentas de campo e motosserras. Somaram-se a estes, os custos com a documentação exigida para participação da licitação e certificação do MFS.

Também foram considerados os encargos sociais, imposto sobre a renda, encargos estaduais e federais de produção. Além disso, foi ponderado o licenciamento do uso de motosserras, taxas do Serviço Florestal Brasileiro referente à concessão florestal e do *Forest Stewardship Council* referente à certificação do MSF.

A receita bruta (ANEXO D) foi calculada por meio da produção anual do MFS, com o corte de árvores de 30 espécies, classificadas de acordo com a Secretaria da Fazenda do Estado do Pará (PARÁ, 2022). Os dados econômicos foram deflacionados aplicando o Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) e convertidos para dólares americanos com valor de BRL 5,2876 referentes a cotação realizada no dia 18 de setembro de 2022.

A taxa do custo de oportunidade foi determinada, primeiramente, estimando o custo do capital próprio (Equação 1) de acordo com Coelho Junior et al. (2022),

adicionando a taxa do risco país, pelo fato da economia brasileira ser considerada instável.

$$r_c = rf + \beta (rm - rf) + rp \quad (1)$$

**em que:**  $rf$  é a taxa de juros livre de risco;  $\beta$  é o coeficiente beta;  $rm$  é a taxa de retorno do mercado;  $rp$  é a taxa do risco-país.

A taxa de juros livre de risco foi de 5,10%, obtida pela média geométrica do período entre 01/02/1962 e 18/09/2022 da taxa de títulos do Tesouro Americano *10-Year Rate on Treasury Bonds*, conforme dados do *United States Department of the Treasury* (2022). Já a taxa de retorno do mercado foi de 10,21%, pautada no *S&P 500 Index* da Dow Jones (2022). A taxa do risco país de 3,93% foi obtida por meio da média geométrica da série histórica do risco Brasil entre 29/04/1994 e 18/09/2022 e do Índice de Mercados Emergentes, *Emerging Markets Bond Index Plus*, divulgado pela J. P. Morgan (2022).

O coeficiente beta foi calculado utilizando a média do coeficiente beta desalavancado das empresas Companhia Melhoramentos de São Paulo, Dexco S.A., Eucatex S.A. Indústria e Comércio, Klabin S.A. e Suzano Papel e Celulose S.A. Estas, pertencentes ao setor de madeira e papel listadas na B3 S.A.– Brasil Bolsa Balcão (2022), resultando no índice beta desalavancado para o setor de 0,32.

Como o capital de terceiros faz parte do investimento no projeto do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira, justifica-se a aplicação do custo médio ponderado de capital (*Weighted Average Cost of Capital – WACC*). Por tanto, a taxa do custo de oportunidade (Equação 2) foi expressa de acordo com Ferguson (2018).

$$WACC = g * r_d + (1 - g) * r_c \quad (2)$$

**em que:**  $WACC$  é a taxa do custo de oportunidade do projeto;  $g$  é o índice de alavancagem (a parcela da dívida na estrutura de capital);  $r_d$  é o custo o custo real da dívida;  $r_c$  é o custo real de capital próprio.

O spread de 2,15% foi somado ao custo de capital de terceiros para países com classificação de crédito especulativo Ba2 (MOODY'S, 2022). Assim, determinou-se o custo de capital de terceiros de 7,25%. A taxa que representou o custo do capital próprio foi de 11,48%. A proporção do capital próprio (43,18%), considerando a

proporção do capital de terceiros (56,82%), permitiu estimar a taxa do custo de oportunidade de 7,52% ao ano.

Ressalta-se que é vantajoso aplicar o capital de terceiros na taxa do custo de oportunidade do projeto de investimento, haja vista que reduz a despesa financeira. Essa vantagem é oriunda da dedução da taxa do imposto sobre a renda no pagamento da dívida do empréstimo do capital de terceiros.

Como *inputs* da análise econômica probabilística, aplicou-se o valor presente dos fluxos de caixa do projeto de investimento (Equação 3), segundo Kashyap (2020).

$$VP_{trad} = \sum_{t=1}^n \frac{FC}{(1 + WACC)^t} \quad (3)$$

**em que:** *VP* é o valor do dinheiro no tempo zero ou no momento presente. *FC* é o resultado do fluxo de caixa no tempo = *n*; *n* é o número de períodos considerados, *WACC* é a taxa do custo de oportunidade do projeto.

O valor presente líquido (Equação 4), comumente ponderado como métrica para avaliar o retorno econômico dos projetos de investimento, foi calculado em conformidade à Ferguson (2018).

$$VPL_{trad} = VP_{trad} - CAPEX \quad (4)$$

**em que:** *VPL* é o valor presente líquido tradicional; *PV* é o valor presente do projeto sem considerar a análise de opções reais; *CAPEX* é o capital demandado para o investimento inicial do projeto.

### 3.2.4 Análise econômica complementar das opções reais

No cálculo da volatilidade do projeto de investimento, foi atribuída como única fonte de incerteza a série histórica do preço das toras de madeira, compreendida no período de 2004 e 2022. Nessa incerteza, foi considerado o movimento de comportamento aleatório, em torno de um valor de referência, conhecido como movimento de reversão à média, conforme a Equação 5 aplicada por Ugurlu e Kumral (2020):

$$dx_t = k (\theta - x_t) dt + \sigma \sqrt{x_t} dZ_t \quad (5)$$

**em que:**  $x_t$  é o preço da madeira no tempo inicial;  $k$  é a velocidade de reversão em períodos;  $\theta$  é o preço médio da madeira de longo prazo;  $\sigma$  é a volatilidade;  $Z$  é o incremento do Movimento Browniano padrão.

A volatilidade do projeto foi estimada por meio do método de Monte Carlo. Com a geração de 100.000 números pseudoaleatórios, foi elaborada a distribuição de probabilidade do logaritmo neperiano da divisão do valor presente do ano um e as expectativas dos valores presentes do ano dois ao ano trinta do horizonte de planejamento (YUE; YING, 2021). Esses cálculos foram realizados por meio do *software @Risk Copyright* (PALISADE CORPORATION, 2022).

O modelo binomial de Cox, Ross e Rubinstein (1979) foi aplicado para a construção da árvore binomial de decisão (SHI et al., 2019). As opções reais calculadas separadas e combinadas foram: adiamento do início do projeto de investimento do ano zero para o ano um, ao custo de USD 1.460.887; opção de abandono no ano zero e ano onze do horizonte de planejamento ao bônus de USD 1.460.887 e USD 759.098, respectivamente; e a opção de interrupção no ano cinco e nove, ambas ao custo de USD 768.644.

A incorporação das opções reais ao modelo binomial foi realizada por meio do *software Decision Programming Language – DPL* (SYNCOPATION SOFTWARE, 2022). No cálculo do valor das opções reais, foi aplicada a subtração do valor presente ou o valor presente líquido expandido menos o valor presente ou valor presente líquido tradicional em conformidade à Chandra, Hartley e Nair (2022).

### 3.2.5 Análise de variância

Aplicando a metodologia semelhante à Brandão e Cury (2006), foi considerada a flutuação da produção dos projetos de investimento no MFS entre 70% e 90%. Consequente, foram simulados projetos de investimento com os mesmos custos operacionais e de investimento, alterando a porcentagem de  $m^3$  de cada espécie explorada para verificar se existe diferença estatística no valor presente líquido dos projetos.

Como observações, selecionou-se o VPL oriundo da simulação de Monte Carlo, ponderando o valor presente: máximo, mínimo, médio e tradicional de cada

produção considerada. Como tratamentos, foram indicadas a produção real e a porcentagem do volume liberado para o manejo florestal sustentável, com intervalos de 5%, entre 70% e 90%. O delineamento adotado foi o inteiramente casualizado, aplicando o teste F da análise de variância, a 5% de probabilidade. Os pressupostos da anova foram verificados conforme Montgomery e Runger (2018). A homogeneidade foi analisada por meio do teste de *Shapiro-Wilk* e a homocedasticidade foi conferida com o teste de *Bartlett*.

No intuito de calcular a receita mínima exigida para cobrir os custos do manejo florestal sustentável, foram calculados o ponto de equilíbrio contábil ( $PE_c$ ) e o ponto de equilíbrio financeiro ( $PE_f$ ) conforme a Equação 5 e 6, adaptado de Assaf Neto (2021). A partir do resultado do ponto de equilíbrio, foi possível estimar uma quantidade mínima de madeira a ser extraída com base na média de produção das 30 espécies manejadas na área.

$$PE_c = \frac{CDT_f}{MC} \quad (5)$$

$$PE_f = \frac{CDT_f - D}{MC} \quad (6)$$

**em que:**  $PE_c$  é o ponto de equilíbrio contábil;  $CDT_f$  são os custos e despesas totais fixas;  $MC$  é a margem de contribuição, calculada por meio da divisão entre a receita bruta e os custos e despesas totais variáveis;  $PE_f$  é o ponto de equilíbrio financeiro;  $D$  é a depreciação.

O coeficiente de *Pearson* foi calculado para comparar a correlação entre os custos do manejo florestal sustentável e a receita bruta com o fluxo de caixa descontado. Os cálculos da análise de variância e do coeficiente de *Pearson* foram realizados por meio do *software* R Core Team (2020), versão 4.2.1.

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 Análise econômica tradicional

O capital demandado para iniciar o projeto de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira foi de USD 1.460.887. Os *inputs* monetários da análise econômica complementar foram apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 – Valor presente e valor presente líquido tradicional dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira**

Projetos	$VP_{trad}$ (USD)	$VPL_{trad}$ (USD)
Produção real	70.290.418	68.829.531
70% da produção	63.314.228	61.853.341
75% da produção	66.964.388	68.425.275
80% da produção	73.536.322	72.075.434
85% da produção	78.647.368	77.186.481
90% da produção	83.758.415	82.297.528

**em que:**  $VP_{trad}$  é o valor presente sem as opções reais;  $VPL_{trad}$  é o valor presente líquido sem as opções reais.

### 3.3.2 Análise econômica complementar das opções reais

O cálculo das opções reais foi realizado por meio dos *inputs* do modelo binomial (Tabela 2).

**Tabela 2 – *Inputs* do modelo binomial da árvore de decisão dos projetos de investimento em exploração madeireira com o manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira**

Projetos	Volatilidade (%)	$u$	$d$	$p$	$q$
Produção real	11,62	1,12	0,89	5,29	-4,29
70% da produção	12,65	1,14	0,88	4,94	-3,94
75% da produção	12,51	1,13	0,88	4,99	-3,99
80% da produção	12,39	1,13	0,88	5,03	-4,03
85% da produção	12,28	1,13	0,88	5,06	-4,06
90% da produção	12,19	1,13	0,89	5,09	-4,09

**em que:**  $u$  é o fator de subida;  $d$  é o fator de descida;  $p$  é a probabilidade neutra ao risco;  $q$  é a complementar da probabilidade neutra ao risco.

Apenas quando combinadas, as opções reais apresentaram distintos valores para as diferentes porcentagens de produção consideradas (Tabela 3).

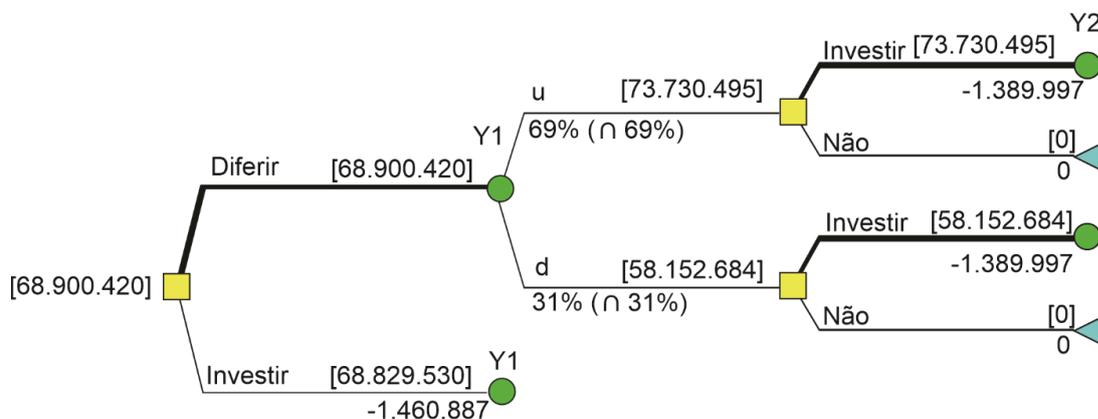
**Tabela 3 – Opções reais combinadas dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira**

Projetos	$VPL_{exp}$ (USD)	$VOR$ (USD)
Produção real	139.190.838	70.361.307
70% da produção	125.238.458	56.813.183
75% da produção	132.538.778	64.113.503
80% da produção	145.682.646	77.257.371
85% da produção	155.904.738	78.718.257
90% da produção	166.126.832	83.829.304

em que:  $VPL_{exp}$  é o valor presente líquido com as opções reais;  $VOR$  é o valor das opções reais.

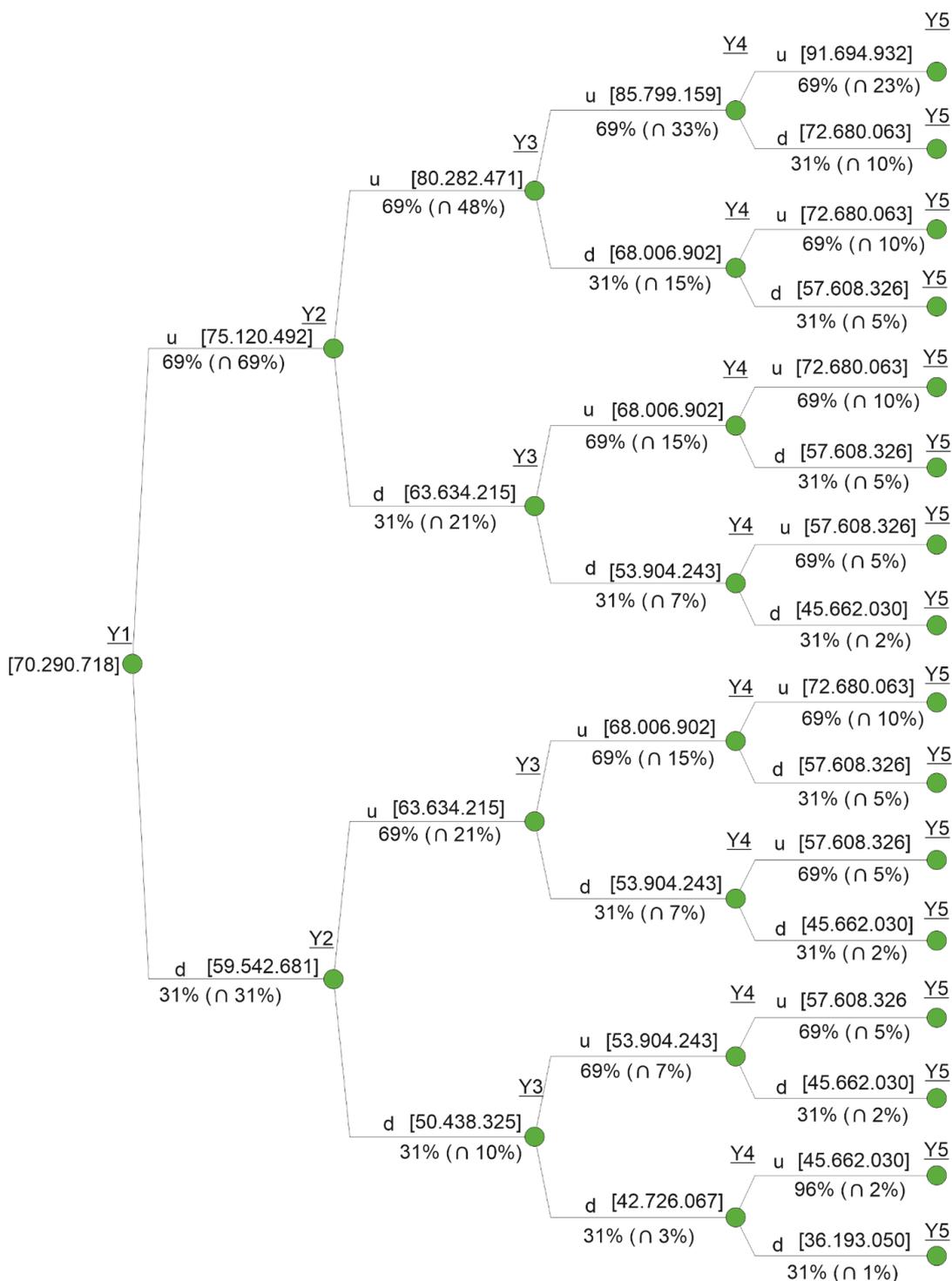
A opção de adiar os projetos de investimento do ano zero para o ano um do horizonte de planejamento, quando calculada separadamente, apresentou em todos os projetos  $VPL_{exp}$  o valor de USD 68.900.420 (Figura 3) e  $VOR$  de USD 70.889 com probabilidade de 100% de ser exercida.

**Figura 3. Árvore de decisão da opção de adiar o início do projeto de investimento do ano zero para o ano um do horizonte de planejamento do projeto de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira**



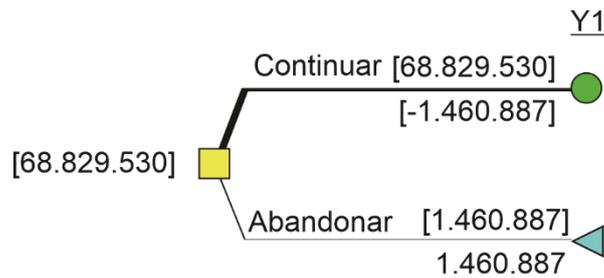
As opções de interromper no ano cinco (Figura 4) e nove, retornaram o próprio valor presente tradicional, indicando *VOR* de USD 0,00 em todos os projetos de investimento. A probabilidade de exercer essas opções foi de 0,00%.

**Figura 4. Árvore de decisão da opção de interromper as atividades no ano cinco do horizonte de planejamento dos projetos de investimento em manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira**



O abandono no ano zero (Figura 5) e ano onze também resultaram no valor presente tradicional dos projetos de investimento analisados. Assim, o *VOR* das opções foi de USD 0,00, com 0,00% de probabilidade de serem exercidas.

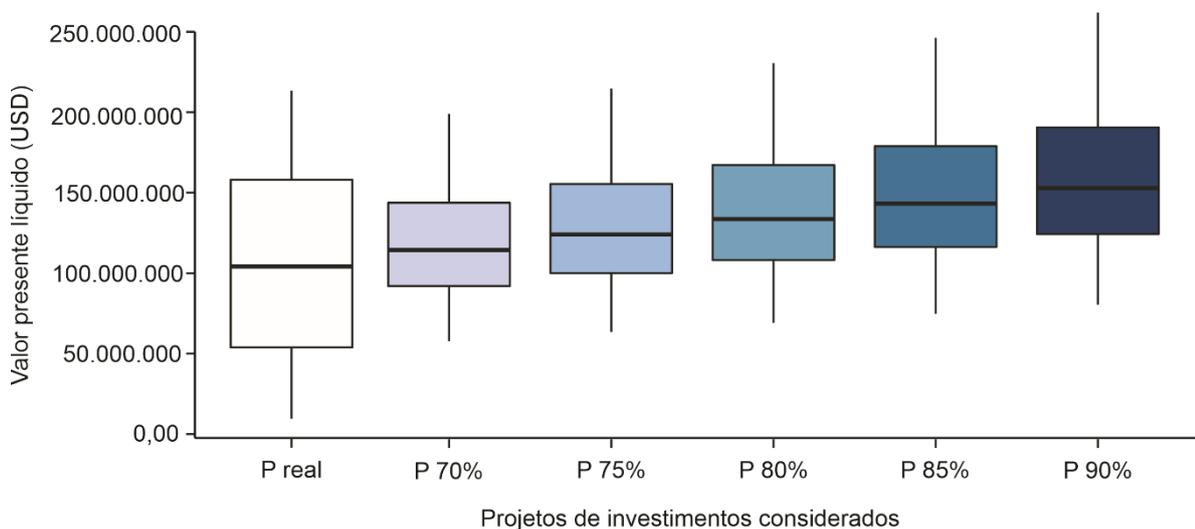
**Figura 5. Árvore de decisão da opção de abandonar no ano zero do horizonte de planejamento dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira**



### 3.3.3 Análise de variância

Ao aplicar o teste F da análise de variância, os projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira não diferiram entre si (Figura 6).

**Figura 6. *Boxplot* do valor presente líquido dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira**



**em que:** P é a porcentagem de produção de madeira em tora (m<sup>3</sup>) considerada em cada projeto de investimento analisado.

O ponto de equilíbrio contábil apresentou valor de USD 599.976 e o ponto de equilíbrio financeiro foi de USD 450.362. Ao considerar a média da produção real prevista de 27.564 m<sup>3</sup> de madeira, a extração de 1.047 m<sup>3</sup> possibilitaria o pagamento de todos os custos dos projetos de investimento em manejo florestal sustentável na área certificada da Floresta Amazônica brasileira.

O coeficiente de *Pearson* indicou correlação positiva significativa com o fluxo de caixa descontado apenas para a receita bruta. As correlações negativas significativas foram apresentadas nas taxas e impostos e no transporte hidroviário da madeira (Tabela 4).

**Tabela 4 – Coeficiente de correlação de Pearson entre o fluxo de caixa descontado e os custos e receita bruta dos projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira**

Variáveis comparadas com o fluxo de caixa descontado	Coeficiente de Pearson	p-valor <0,05
Receita bruta	0,7866	0,0000*
Taxas e impostos	-0,7866	0,0000*
Mão de obra	-0,2138	0,2564 <sup>ns</sup>
Peças das máquinas e combinações veiculares de carga	-0,1805	0,3397 <sup>ns</sup>
Equipamentos de proteção individual	-0,2470	0,1882 <sup>ns</sup>
Combustível	0,2633	0,1598 <sup>ns</sup>
Transporte de suprimentos	-0,2360	0,2093 <sup>ns</sup>
Transporte hidroviário da madeira	-0,3585	0,0417*
Material de escritório	-0,0466	0,8066 <sup>ns</sup>
Alimentação	-0,0685	0,7188 <sup>ns</sup>
Outros custos	-0,2231	0,2358 <sup>ns</sup>

**em que:** \* indica coeficiente de *Pearson* significativo a 5,00% e <sup>ns</sup> indica coeficiente de *Pearson* não significativo a 5,00% de probabilidade.

### 3.4 DISCUSSÃO

#### 3.4.1 Análise econômica tradicional

Devido à sua importância em relação ao seu desenvolvimento e operação, a fase inicial do projeto de investimento deve ser cuidadosamente planejada. Em

projetos de investimento, o elevado valor do capital requerido para o início das operações, como os projetos do setor florestal, pode comprometer sua implantação. Quando aplicado de forma incorreta como, por exemplo, a superestimação do seu valor, o investimento inicial pode reduzir a lucratividade do investimento. Quando subestimado, pode dificultar o desenvolvimento das operações (TURNER; HESFORD, 2019; VARTIAINEN et al., 2020; YIN; CALDAS; OLIVEIRA, 2022).

Comumente aplicado como método tradicional na tomada de decisão sobre a implantação de projetos de investimento, o valor presente líquido classifica os projetos como economicamente viáveis quando o seu resultado for maior que zero (ABDELHADY, 2021; PANI; PUTRANTO; WARDHANI, 2021; WICAKSONO; ARSHAD; SIHOMBING, 2019). Mesmo ao considerar a menor porcentagem da produção de madeira em tora, todos os projetos de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira foram viáveis economicamente.

#### 3.4.2 Análise econômica complementar das opções reais

A volatilidade pode ser considerada como a medida da flutuação dos preços de mercado, relacionadas às questões econômicas, produtivas e políticas. A mensuração da volatilidade pode ser justificada, devido à possibilidade de previsão dos riscos e incertezas associados aos projetos de investimento (BHOWMIK; WANG, 2020; ZHANG; YIN, 2021). Como demonstrado no trabalho de Su, Fang e Yin (2019b), qualquer variação na composição dos projetos de investimento, altera sua volatilidade, o que pode explicar os diferentes valores da volatilidade para a variação da produção.

A análise das opções reais assume que, sob incerteza, a decisão pode ser adiada até que os benefícios do projeto de investimento sejam consideravelmente maiores (KIM et al., 2020). Ma, Verbič e Chapman (2019) ressaltam que o investimento deve ser executado somente quando o lucro do projeto for superior ao valor da opção de diferimento. Assim como exposto por Yu et al. (2019), a opção de adiar é sempre aplicada na indústria extrativa de recursos, explicando a probabilidade de 100% da opção de diferimento ser exercida em todos os projetos considerados.

Ao ponderar as opções reais, o projeto de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada na Floresta Amazônica brasileira foi valorizado por incluir o bônus das flexibilidades gerenciais. Glensk e Madlener (2019), Kim et al. (2019) e Maier, Pflug e Polak (2020) reforçam a importância da análise de opções reais em projetos de investimentos considerados de risco, em razão da volatilidade dos projetos e das incertezas e riscos a eles associados, frente a cenários futuros incertos.

A variação da escala de produção dos projetos de investimento em manejo florestal sustentável de área certificada na Floresta Amazônica brasileira pouco influenciou o resultado da análise de opções reais. Apenas quando calculadas em conjunto, as opções reais apresentaram valores diferentes para cada produção ponderada, porém a probabilidade de serem exercidas foi a mesma para todos os cenários considerados.

### 3.4.3 Análise de variância

Ao implantar um projeto de investimento, os gestores estão sempre almejando o maior retorno econômico possível. Porém, ao considerar a necessidade da conservação da Floresta Amazônica, é importante equacionar uma quantidade ótima para garantir a viabilidade econômica da extração madeireira, assegurando a sustentabilidade da atividade e a manutenção dos serviços ecossistêmicos, que é um direito de todos os brasileiros, garantido por Lei.

Além de outras determinações, a Constituição Federal de 1988, no artigo 225 garante o “direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações” (BRASIL, 1988).

A aceitação da hipótese nula da análise de variância aplicada para comparar o VPL das diferentes escalas de produção indicou que, tanto para o projeto com o volume real da extração madeireira, quanto os projetos criados a partir da porcentagem autorizada para a extração, não apresentaram diferença estatística entre si. Ou seja, a variação de 70% a 90% da extração de madeira não altera a viabilidade econômica dos projetos de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica em áreas certificadas.

Ao considerar o ponto de equilíbrio, ressalta-se que, além do ganho no preço da madeira devido à certificação, a maior parte da produção é exportada, principalmente para os Estados Unidos e países da Europa, aumentando o preço de venda da madeira. Há ainda a produtividade da vegetação manejada. Por se tratar de uma área em seu primeiro ciclo de corte, as árvores são potencialmente maiores, o que aumenta o aproveitamento da madeira, além da presença de mais espécies com maior valor agregado.

A correlação significativa do transporte da madeira indicou maior influência desse custo com o fluxo de caixa descontado do projeto, o que também foi demonstrado por Agudelo-López et al. (2022). Ainda que a certificação do manejo florestal sustentável apresente benefícios econômicos, conforme relatado por Erbaugh (2019), o valor desembolsado para a sua implementação pode ser considerado elevado, tornando-se um obstáculo para a certificação do manejo florestal sustentável, como indicado por Poudyal, Maraseni e Cockfield (2020). Tal fato pode explicar o maior coeficiente de *Pearson* quando comparado aos demais custos ponderados.

### **3.5 CONCLUSÕES**

Os projetos de investimentos do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira em diferentes escalas de produção são economicamente viáveis por meio das opções reais.

A opção de diferimento é indicada em todos os cenários considerados do projeto de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira em diferentes escalas de produção, com 100% de probabilidade de ser exercida.

As opções de interrupção e abandono do projeto de investimento não são indicadas em nenhum cenário considerado, recomendando a continuidade do planejamento inicial em relação aos projetos considerados.

A receita bruta apresentou correlação positiva significativa e os custos com taxas e impostos e transporte hidroviário da madeira apresentam correlação negativa significativa com o fluxo de caixa descontado do projeto de investimento do manejo florestal sustentável em área certificada da Floresta Amazônica brasileira.

A oscilação da produção de 70% a 90% do manejo florestal sustentável da Floresta Amazônica brasileira não apresentou diferença estatística significativa no valor presente líquido dos projetos considerados.

## REFERÊNCIAS

- ABDELHADY, S. Performance and cost evaluation of solar dish power plant: sensitivity analysis of levelized cost of electricity (LCOE) and net present value (NPV). **Renewable Energy**, v. 168, p. 332–342, 2021.
- AGUDELO-LÓPEZ, M. et al. Costos de aprovechamiento del manejo forestal comunitario en Colombia: impactos, lecciones aprendidas y desafíos. **Colombia forestal**, v. 25, n. 2, p. 104–119, 2022.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.
- B3 S.A.– BRASIL BOLSA BALCÃO. Séries Históricas. Disponível em: <http://www.b3.com.br>. Acesso em: 18 set. 2022.
- BHOWMIK, R.; WANG, S. Stock Market Volatility and Return Analysis. **Entropy**, v. 22, n. 552, p. 1–18, 2020.
- BRANDÃO, L. E. T.; CURY, M. V. Q. Modelagem híbrida para concessões rodoviárias com o uso da teoria das opções reais: o caso da rodovia BR-163. **Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**, v. 4, n. 2, p. 121–140, 2006.
- CHANDRA, A.; HARTLEY, P. R.; NAIR, G. Multiple Volatility Real Options Approach to Investment Decisions under Uncertainty. **Decision Analysis**, v. 19, n. 2, p. 79–98, 2022.
- COELHO JUNIOR, L. M. et al. Empirical Evidence of the Cost of Capital under Risk Conditions for Thermoelectric Power Plants in Brazil. **Energies**, v. 15, n. 4313, p. 1–12, 2022.
- COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: A simplified approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, n. 3, p. 229–263, 1979.
- DOW JONES. **S&P 500®**. Disponível em: <https://www.spglobal.com/spdji/en/indices/equity/sp-500/#overview>. Acesso em: 18 set. 2022.
- ERBAUGH, J. T. Responsibilization and social forestry in Indonesia. **Forest Policy and Economics**, v. 109, n. 102019, p. 1–9, 2019.
- FERGUSON, I. Discount rates for corporate forest valuations. **Australian Forestry**, v. 81, n. 3, p. 142–147, 2018.
- FREZATTI, F. **Gestão do fluxo de caixa: perspectivas estratégica e tática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2022.

GLENSK, B.; MADLENER, R. The value of enhanced flexibility of gas-fired power plants: A real options analysis. **Applied Energy**, v. 251, n. 113125, p. 2019, 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estações meteorológicas**. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 18 set. 2022.

KASHYAP, R. The Economics of Enlightenment: Time Value of Knowledge and the Net Present Value (NPV) of Knowledge Machines, A Proposed Approach Adapted from Finance. B.E. **Journal of Economic Analysis and Policy**, v. 20, n. 2, p. 1–23, 2020.

KIM, B. et al. Is it a good time to develop commercial photovoltaic systems on farmland? An American-style option with crop price risk. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 125, n. 109827, p. 1–9, 2020.

KIM, M. J. et al. An assessment of the optimum timing of coastal flood adaptation given sea-level rise using real options analysis. **Journal of Flood Risk Management**, v. 12, n. 2, p. 1–17, 2019.

MA, Y.; VERBIČ, G.; CHAPMAN, A. C. Estimating the option value of grid-scale battery systems to distribution network service providers. **2019 IEEE Milan PowerTech**, p. 1–6, 2019.

MAIER, S.; PFLUG, G. C.; POLAK, J. W. Valuing portfolios of interdependent real options under exogenous and endogenous uncertainties. **European Journal of Operational Research**, v. 285, n. 1, p. 133–147, 2020.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Applied Statistics and Probability for Engineers**. 7 th ed. Tempe: Wiler, 2018.

PALISADE CORPORATION. **@RiskIthaca**, 2022. Disponível em: <https://www.palisade-br.com>. Acesso em: 20 ago. 2022.

PANI, I.; PUTRANTO, D. D. A.; WARDHANI, P. K. Net present value (NPV) of the rehabilitated irrigation channels to increase agricultural production. **International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration**, v. 8, n. 78, p. 576–583, 2021.

PARÁ. **Secretaria da fazenda do estado do Pará**. Disponível em: <http://www.sefa.pa.gov.br/>. Acesso em: 20 set. 2022.

POUDYAL, B. H.; MARASENI, T.; COCKFIELD, G. Scientific forest management practice in Nepal: Critical reflections from stakeholders' perspectives. **Forests**, v. 11, n. 1, p. 1–20, 2020.

R Core Team (2022). **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília: EMBRAPA, 2018.

SHI, J. et al. Investment valuation model of public rental housing PPP project for private sector: A real option perspective. **Sustainability**, v. 11, n. 7, p. 1–18, 2019.

SU, Z.; FANG, T.; YIN, L. Understanding stock market volatility: What is the role of U.S. uncertainty? **North American Journal of Economics and Finance**, v. 48, p. 582–590, 2019.

SYNCOPATION SOFTWARE. **DPL - Decision Programming Language**. Concord, 2022. Disponível em: <https://www.syncopation.com/>. Acesso em: 20 ago. 2022.

TURNER, M. J.; HESFORD, J. W. The Impact of Renovation Capital Expenditure on Hotel Property Performance. **Cornell Hospitality Quarterly**, v. 60, n. 1, p. 25–39, 2019.

UGURLU, O. F.; KUMRAL, M. Reliability-based performance analysis of mining drilling operations through Markov chain Monte Carlo and mean reverting process simulations. **Simulation**, v. 96, n. 7, p. 593–604, 2020.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE TREASURY. **Daily Treasury Yield Curve Rates**. Disponível em: <https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>. Acesso em: 1 fev. 2022.

VARTIAINEN, E. et al. Impact of weighted average cost of capital, capital expenditure, and other parameters on future utility-scale PV levelised cost of electricity. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, v. 28, n. 6, p. 439–453, 2020.

WICAKSONO, F. D.; ARSHAD, Y. BIN; SIHOMBING, H. Monte Carlo net present value for techno-economic analysis of oil and gas production sharing contract. **International Journal of Technology**, v. 10, n. 4, p. 829–840, 2019.

YIN, Z.; CALDAS, C.; OLIVEIRA, D. DE. Identification of business-project management processes that improve capital efficiency of downstream and chemical projects. **International Journal of Construction Management**, v. 0, n. 0, p. 1–9, 2022.

YU, S. et al. A real option model for geothermal heating investment decision making: Considering carbon trading and resource taxes. **Energy**, v. 189, n. 116252, p. 1–11, 2019.

YUE, Y.; YING, Y. Real option analysis for emission reduction investment under the sulfur emission control. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 45, n. 101055, p. 1–10, 2021.

ZHANG, X.; YIN, J. Assessment of investment decisions in bulk shipping through fuzzy real options analysis. **Maritime Economics and Logistics**, p. 1–18, 2021.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de opções reais agrega valor aos projetos de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta Amazônica brasileira ao incorporar o valor das flexibilidades gerenciais ponderando os cenários de incertezas. Ao inserir mais de uma fonte de incerteza, o cálculo da volatilidade dos projetos de investimento pode gerar resultados mais próximos à realidade de mercado, indicando maior valor aos projetos de investimento devido à maior incerteza das possibilidades futuras. Ao sopesar as opções reais nos anos finais do projeto de investimento, devido a maior dificuldade de prever cenários distantes, as opções são mais valorizadas. As áreas estudadas, apesar de pertencerem à mesma floresta, apresentam diferenças em relação à produção da madeira em tora, influenciando o valor presente líquido dos projetos de investimento. A oscilação da produção de 70% a 90% do manejo florestal sustentável da Floresta Amazônica brasileira não apresentou diferença estatística significativa no valor presente líquido dos projetos considerados. Assim, sugere-se novos estudos para avaliar a quantidade ótima de madeira a ser explorada, resguardando o retorno financeiro dos gestores e garantindo a preservação da vegetação.

## REFERÊNCIAS

- ADO, R.; MBAH, S. E. Weighted Average Cost of Capital and Earnings Management of Listed Conglomerate Companies in Nigeria. **Journal of Management Sciences Research**, v. 2, n. 1, p. 64–68, 2022.
- AGLIARDI, E.; CATTANI, E.; FERRANTE, A. Deep energy renovation strategies: a real option approach for add-ons in a social housing case study. **Energy and Buildings**, v. 161, p. 1–9, 2018.
- AKRAM, F. M.; SARYADI, S. Pengaruh capital asset pricing model terhadap harga saham (studi pada perusahaan – perusahaan sub sektor perbankan yang listing di Bursa Efek Indonesia periode 2014-2016). **Jurnal Ilmu Administrasi Bisnis**, v. 6, n. 3, p. 114–121, 2017.
- AL-NASSAFI, N. M. The effect of cash flow variation on project performance: an empirical study from Kuwait. **Journal of Asian Finance**, v. 9, n. 3, p. 53–63, 2022.
- ALHAGYAN, M.; ALDUAIS, F. Forecasting the Performance of Tadawul All Share Index (Tasi) Using Geometric Brownian Motion and Geometric Fractional Brownian Motion. **Advances and Applications in Statistics**, v. 62, n. 1, p. 55–65, 2020.
- ALI, M. M. et al. Historical earnings, accrual accounting, and future cash flows: a Malaysian perspective. **The Economics and Finance Letters**, v. 9, n. 2, p. 125–138, 2022.
- ALMEIDA, B. R. S. et al. Índices de produtividade em uma área de manejo florestal comunitário na Amazônia brasileira. **Advances in Forestry Science**, v. 8, n. 1, p. 1271–1278, 2021.
- ALMEIDA, T. H. DE et al. Density as Estimator of Dimensional Stability Quantities of Brazilian Tropical Woods. **BioResources**, v. 12, n. 3, p. 6579–6590, 25 jul. 2017.
- ALVAREZ, L. H. R. Exit strategies and price uncertainty: A Greenian approach. **Journal of Mathematical Economics**, v. 29, n. 1, p. 43–56, 1998.
- ANDALIB, M. S.; TAVAKOLAN, M.; GATMIRI, B. Modeling managerial behavior in real options valuation for project-based environments. **International Journal of Project Management**, v. 36, n. 4, p. 600–611, 2018.
- ANGELO, H. et al. Análise estratégica do manejo florestal na Amazônia brasileira. **Floresta**, v. 44, n. 3, p. 341–347, 2014.
- ARAYA, N. et al. Feasibility of re-processing mine tailings to obtain critical raw materials using real options analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 284, n. 112060, p. 1–10, 2021.
- ARNOLD, T.; CRACK, T. F.; SCHWARTZ, A. Embedding a net present value analysis into a binomial tree with a real option analysis. **Managerial and Decision Economics**, v. 43, n. 7, p. 2924–2934, 2022.
- ASSAF NETO, A.; LIMA, F. G.; ARAÚJO, A. M. P. DE. Uma proposta metodológica

para o cálculo do custo de capital no Brasil. **RAUSP - Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 43, n. 1, p. 72–83, 2008.

ASSERETO, M.; BYRNE, J. No real option for solar in Ireland: A real option valuation of utility scale solar investment in Ireland. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 143, n. 110892, p. 1–9, 2021.

ATARI, S. et al. Real Options Analysis of abatement investments for sulphur emission control areas compliance. **Entrepreneurship and Sustainability Center**, v. 6, n. 3, p. 1062–1086, 2019.

AYODELE, T. O.; OLALEYE, A. Flexibility decision pathways in the management of uncertainty in property development: experience from an emerging market. **Journal of Financial Management of Property and Construction**, p. 1–25, 2020.

BALIBREA-INIESTA, J.; RODRÍGUEZ-MONROY, C.; NÚÑEZ-GUERRERO, Y. M. Economic analysis of the German regulation for electrical generation projects from biogas applying the theory of real options. **Energy**, v. 231, n. 120976, p. 1–10, 2021.

BANDEIRA, M. L.; REIS, W. DOS S.; CARVALHO, J. A. DE. Avaliação de empresas : um estudo sobre o valor econômico agregado e o fluxo de caixa descontado. **Revista de Negócios em Projeção**, v. 9, n. 1, p. 249–265, 2018.

BARI, A. DI. A real options approach to valuate solar energy investment with public authority incentives: The Italian case. **Energies**, v. 13, n. 6, p. 1–15, 2020.

BENGTSSON, J. Manufacturing flexibility and real options: a review. **International Journal of Production Economics**, v. 74, n. 1–3, p. 213–224, 2001.

BEZERRA, T. G. et al. Changes caused by forest logging in structure and floristic diversity of natural regeneration: Relationship between climate variables and forest dynamics in the eastern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 482, n. 118862, p. 1–11, 2021.

BITTENCOURT, E.; PRADO, E. V. DO. Fluxo de caixa descontado: uma ferramenta de apoio para avaliação de empresas que auxilia a tomada de decisão na aplicação de recursos em organizações de capital aberto. **Universitas**, v. 21, n. 11, p. 91–118, 2017.

BLACK, F.; SCHOLES, M. The Pricing of Options and Corporate Liabilities. **Journal of Political Economy**, v. 81, n. 3, p. 637–654, 1973.

BLACKMAN, A.; GOFF, L.; PLANTER, M. R. Does eco-certification stem tropical deforestation? Forest Stewardship Council certification in Mexico. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 89, p. 306–333, 2018.

BONAZZI, G.; IOTTI, M. Evaluation of investment in renovation to increase the quality of buildings: A Specific Discounted Cash Flow (DCF) Approach of Appraisal. **Sustainability**, v. 8, n. 3, p. 1–17, 2016.

BOULTON, C. A.; LENTON, T. M.; BOERS, N. Pronounced loss of Amazon rainforest resilience since the early 2000s. **Nature Climate Change**, v. 12, n. 3, p.

271–278, 2022.

BOURSCHEIT, A. **Maior parte da madeira consumida no país pode ser ilegal e fruto do desmatamento da Amazônia**. Disponível em:

<<https://infoamazonia.org/2021/09/21/maior-parte-madeira-consumida-ilegal-desmatamento-amazonia/>>. Acesso em: 1 abr. 2023.

BRAGA, W. R. DE O.; SCALCO, A. R.; PIGATTO, G. Certificação florestal: acesso a mercado ou mercado de acesso? **Desenvolvimento Regional em Debate**, v. 8, n. 1, p. 182–197, 2018.

BRAINER, M. S. D. C. P. Silvicultura. **Caderno Setorial ETENE**, v. 6, n. 154, p. 1–11, 2021.

BRASIL. **Lei n.º 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

BRASIL. **Instrução Normativa n.º 5, de 11 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a gestão de florestas públicas para a produção sustentável. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

BRASIL. **Lei n.º 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa, e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF.

BRĂȚIAN, V. et al. Efficient or fractal market hypothesis? A stock indexes modelling using geometric brownian motion and geometric fractional brownian motion. **Mathematics**, v. 9, n. 22, p. 1–20, 2021.

BUENO, G.; PAULILLO, L. F. DE O. E.; MEIRELLES, J. L. F. Weighted average cost of capital and value creation of agribusiness companies listed on b3 between 2012 and 2019. **Custos e Agronegócio**, v. 16, n. Special Issue, p. 374–396, 2020.

BUURMAN, J.; BABOVIC, V. Adaptation Pathways and Real Options Analysis: An approach to deep uncertainty in climate change adaptation policies. **Policy and Society**, v. 35, n. 2, p. 137–150, 2016.

CAI, Z.; FANG, Y.; XU, Q. Testing capital asset pricing models using functional-coefficient panel data models with cross-sectional dependence. **Journal of Econometrics**, v. 227, n. 1, p. 114–133, 2022.

CAMPOS, É. F. DE; PUNHAGUI, K. R. G.; JOHN, V. M. CO2 footprint of Amazon lumber: A meta-analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 167, n. 105380, p. 1–11, 2021.

CARDIN, M. A. et al. An approach for analyzing and managing flexibility in engineering systems design based on decision rules and multistage stochastic programming. **IISE Transactions**, v. 49, n. 1, p. 1–12, 2017.

CARDOSO, J.; SILVA, V.; EUSÉBIO, D. Techno-economic analysis of a biomass

gasification power plant dealing with forestry residues blends for electricity production in Portugal. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 741–753, 2019.

CARNEIRO JUNIOR, J. B. A. et al. Avaliação de uma empresa hoteleira, com base nos métodos dos múltiplos de mercado e do fluxo de caixa descontado em Rondonópolis-MT. **Revista Estudos e Pesquisas em Administração**, v. 2, n. 2, p. 1–13, 2018.

CARVALHO JÚNIOR, E. A. R. et al. Effects of illegal logging on Amazonian medium and large-sized terrestrial vertebrates. **Forest Ecology and Management**, v. 466, n. 118105, p. 1–9, 2020.

CHEN, H. M.; HU, C. F.; YEH, W. C. Option pricing and the Greeks under Gaussian fuzzy environments. **Soft Computing**, v. 23, n. 24, p. 13351–13374, 2019.

CHEN, Q. Recovery of local volatility for financial assets with mean-reverting price processes. **Mathematical Control and Related Fields**, v. 8, n. 3–4, p. 625–635, 2018.

CHOI, Y. et al. Energy Optimization via Process Modification to Maximize Economic Feasibility of the Butane Gas-Splitting Process. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 40, p. 18019–18027, 2020.

CLASSEN, L. P. et al. Simulação de Monte Carlo Incorporada ao Método de Fluxo de Caixa Descontado para Determinação de Valuation. **Contabilometria - Brazilian Journal of Quantitative Methods Applied to Accounting**, v. 6, n. 1, p. 39–56, 2019.

CONDÉ, T. M.; HIGUCHI, N.; LIMA, A. J. N. Illegal selective logging and forest fires in the northern Brazilian Amazon. **Forests**, v. 10, n. 61, p. 1–22, 2019.

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

COPIELLO, S. A Discounted Cash Flow variant to detect the optimal amount of additional burdens in Public-Private Partnership transactions. **MethodsX**, v. 3, p. 195–204, 2016.

CORDEIRO JÚNIOR, C. R.; SILVA, W. C. R.; SOARES, P. DE T. M. L. Uso da madeira na construção civil. **Projectus**, v. 2, n. 4, p. 79–93, 2017.

CORRÊA, K. K. DOS S. et al. Classificação do potencial volumétrico de uma área submetida a manejo florestal na Floresta Nacional do Tapajós. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 43–52, 2020.

COUTO, G. et al. Investments on urban land valuation by real options – The Portuguese case. **Land Use Policy**, v. 107, n. 105484, p. 1–7, 2021.

COX, J. C.; ROSS, S. A.; RUBINSTEIN, M. Option pricing: A simplified approach. **Journal of Financial Economics**, v. 7, n. 3, p. 229–263, 1979.

CRISTEA, C. et al. Economic assessment of grid-connected residential solar

photovoltaic systems introduced under Romania's new regulation. **Renewable Energy**, v. 162, p. 13–29, 2020.

D'ADAMO, I. et al. The economic viability of photovoltaic systems in public buildings: Evidence from Italy. **Energy**, v. 207, n. 118316, p. 1–10, 2020.

DAMODARAN, A. **Avaliação de investimentos: ferramentas e técnicas para a determinação de valor de qualquer ativo**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010.

DANTAS, S. F. DE A.; LIMA, G. F. DA C.; MOTA, E. P. DA. Viabilidade econômica da produção de palma forrageira irrigada e adensada no semiárido Potiguar. **Revista IPecege**, v. 3, n. 1, p. 59–74, 2017.

DAR, A. A.; ANURADHA, N. One Period Binomial Model : The risk-neutral probability measure assumption and the state price deflator approach. **International Journal of Mathematics Trends and Technology**, v. 43, n. 4, p. 246–255, 2017.

DEENEY, P. et al. A real options based decision support tool for R&D investment: Application to CO2 recycling technology. **European Journal of Operational Research**, v. 289, n. 2, p. 696–711, 2021.

DINIZ, J. B.; PAIXÃO, M. A. S. Viabilidade econômica da terceirização ou compra de frota de veículos para empresa de fertilizantes minerais. **Revista IPecege**, v. 3, n. 3, p. 49–55, 2017.

DONNO, M. DE; PALMOWSKI, Z.; TUMILEWICZ, J. Double continuation regions for American and Swing options with negative discount rate in Lévy models. **Mathematical Finance**, v. 30, n. 1, p. 196–227, 2020.

DOUKAS, J. A.; HAN, X. Sentiment-scaled CAPM and market mispricing. **European Financial Management**, v. 27, n. 2, p. 208–243, 2021.

DRAGAN, D.; ROSI, B.; AVŽNER, T. Synergies between an Observed Port and a Logistic Company: Application of the Discounted Cash–Flow Model and the Monte Carlo Simulation. **Logistics & Sustainable Transport**, v. 8, n. 1, p. 1–18, 2017.

DROBETZ, W. et al. Policy uncertainty, investment, and the cost of capital. **Journal of Financial Stability**, v. 39, p. 28–45, 2018.

EVDOKIMOVA, S. S.; BONDARENKOV, S. A. Specifics of average weighted cost of capital of a credit organization and methods of its optimization. **Finance and Credit**, v. 23, n. 14, p. 792–803, 2017.

EGUIGUREN, P. et al. Ecosystem service multifunctionality: Decline and recovery pathways in the Amazon and Chocó Lowland rainforests. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 1–26, 2020.

ESMAEELI, A. N.; HERAVI, G. A decision support framework for economic evaluation of flexible strategies in pavement construction projects. **International Journal of Pavement Engineering**, v. 20, n. 11, p. 1342–1358, 2018.

ESMAEELI, A. N.; HERAVI, G. Real Options Approach versus Conventional

Approaches to Valuing Highway Projects under Uncertainty. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 145, n. 11, p. 1–14, 2019.

EVANGELISTA, W. V.; COSTA, E. D. DA. Avaliação de propriedades físico-anatômicas de duas madeiras usadas na produção de pisos. **Revista Ciências Agroambientais**, v. 15, n. 2, p. 133–138, 2017.

FALEIROS, G. D. et al. Economic analysis of soybean-maize crop rotation in a no-tillage system. **Custos e Agronegócio**, v. 16, n. Special Issue, p. 28–56, 2020.

FATTAHI, K.; NAEINI, A. B.; SADJADI, S. J. Technology valuation of NTBFs in the field of cleaner production with regard to the investors' flexibilities and uncertainties in public policy. **Scientia Iranica**, v. 27, n. 6, p. 3322–3337, 2020.

FONSECA, M. N. et al. Oil price volatility: A real option valuation approach in an African oil field. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 150, p. 297–304, 2017.

FRANK, M. Z.; SHEN, T. Investment and the weighted average cost of capital. **Journal of Financial Economics**, v. 119, n. 2, p. 300–315, 2016.

GAMA, D. C. et al. Madeiras serradas empregadas na construção civil habitacional do município de Ribeira do Pombal - BA. **Agroforestalis News**, v. 1, n. 2, p. 15–23, 2016.

GATTI, R. C. Modelling weed and vine disturbance in tropical forests after selective logging and clearcutting. **Ecological Modelling**, v. 375, p. 13–19, 2018.

GEORGE, A. K.; KIZHA, A. R.; DAIGNEAULT, A. Is forest certification working on the ground? Forest managers perspectives from the northeast U.S. **Trees, Forests and People**, v. 7, n. 100197, p. 1–12, 2022.

GHORFI, R. EL et al. Valuating IT governance strategies with real options in a decision making framework. **International Journal of Information Systems in the Service Sector**, v. 10, n. 4, p. 42–58, 2018.

GHOSH, S.; OFFODILE, O. F. A real options model of phased migration to cellular manufacturing. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 3, p. 894–906, 2016.

GREENPEACE. Árvores imaginárias, destruição real. **Greenpeace Brasil**, p. 1–28, 2018.

GUEDES, J.; SANTOS, P. Valuing an offshore oil exploration and production project through real options analysis. **Energy Economics**, v. 60, p. 377–386, 2016.

GULARTE, L. C. P. et al. Estudo de viabilidade econômica da implantação de uma usina de reciclagem de resíduos da construção civil no município de Pato Branco (PR), utilizando a metodologia multi-índice ampliada. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 985–992, 2017.

GUO, K.; ZHANG, L.; WANG, T. Optimal scheme in energy performance contracting

under uncertainty: A real option perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 231, p. 240–253, 2019.

HALALISAN, A. F.; ABRUDAN, I. V.; POPA, B. Forest management certification in Romania: motivations and perceptions. **Forests**, v. 9, n. 7, p. 1–16, 2018.

HAZNY, M. H.; HASIM, H. M.; YUSOF, A. Y. Mathematical modelling of a shariah-compliant capital asset pricing model. **Journal of Islamic Accounting and Business Research**, v. 11, n. 1, p. 90–109, 2020.

HEIDARI, M. R.; HERAVI, G.; ESMAEELI, A. N. Integrating life-cycle assessment and life-cycle cost analysis to select sustainable pavement: A probabilistic model using managerial flexibilities. **Journal of Cleaner Production**, v. 254, n. 120046, p. 1–15, 2020.

HERBERT, W. E.; NWUDE, E. C.; ONYILO, F. The application of the Capital Asset Pricing Model (CAPM) in the nigerian chemicals and paints industrial sector. **European Journal of Accounting Auditing and Finance Research**, v. 5, n. 8, p. 12–32, 2017.

HERNANDEZ-PERDOMO, E. A.; MUN, J.; ROCCO, C. M. S. Active management in state-owned energy companies: Integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustainable. **Applied Energy**, v. 195, p. 487–502, 2017.

HILLIER, D.; LONCAN, T. Stock market integration, cost of equity capital, and corporate investment: Evidence from Brazil. **European Financial Management**, v. 25, n. 1, p. 181–206, 2019.

HONG, H.; BIAN, Z.; CHEN, N. Leverage effect on stochastic volatility for option pricing in Hong Kong: A simulation and empirical study. **North American Journal of Economics and Finance**, v. 54, n. 100925, p. 1–10, 2020.

HSU, Y. S.; WU, C. H. Extended Black and Scholes model under bankruptcy risk. **Journal of Mathematical Analysis and Applications**, v. 482, n. 123564, p. 1–22, 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Annual Report 2020**. Disponível em: <https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>. Acesso em 25 ago. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa Amazônia legal**. 2019a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em 25 de ago 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**, 2019b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 25 de ago 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Painel de indicadores**. 2022. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em 25 de ago 2022.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION. **Report Tropical Timber Market**, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/260122851\\_Economic\\_performance\\_of\\_un-even-aged\\_forests\\_analysed\\_with\\_annuities](https://www.researchgate.net/publication/260122851_Economic_performance_of_un-even-aged_forests_analysed_with_annuities). Acesso em 25 de ago.

2022.IPSMILLER, E.; BROUHERS, K. D.; DIKOVA, D. 25 Years of Real Option Empirical Research in Management. **European Management Review**, v. 16, n. 1, p. 55–68, 2019.

ITKIN, A.; LIPTON, A.; MURAVEY, D. **Generalized Integral Transforms in Mathematical Finance**. Danvers: World Scientific, 2022.

JIN, T. et al. Reliability index and option pricing formulas of the first-hitting time model based on the uncertain fractional-order differential equation with caputo type. **Fractals**, v. 29, n. 1, p. 1–21, 2021.

JOAQUIM, M. S. et al. Aplicação da teoria das opções reais na análise de investimentos em sistemas Agroflorestais. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 439–447, 2015.

KALLIO, M.; KUULA, M.; OINONEN, S. Real options valuation of forest plantation investments in Brazil. **European Journal of Operational Research**, v. 217, n. 2, p. 428–438, 2012.

KAYO, E. K. et al. Capital asset pricing model, beta stability, and the pricing puzzle of electricity transmission in Brazil. **Energy Policy**, v. 142, p. 1–8, 2020.

KERN, J. D. et al. Using life cycle assessment and techno-economic analysis in a real options framework to inform the design of algal biofuel production facilities. **Bioresource Technology**, v. 225, p. 418–428, 2017.

KIM, K. H.; KIM, T. Capital asset pricing model: A time-varying volatility approach. **Journal of Empirical Finance**, v. 37, p. 268–281, 2016.

KIM, K.; HA, S.; KIM, H. Using real options for urban infrastructure adaptation under climate change. **Journal of Cleaner Production**, v. 143, p. 40–50, 2017.

KIM, Y. et al. Probabilistic cash flow-based optimal investment timing using two-color rainbow options valuation for economic sustainability appraisal. **Sustainability**, v. 9, n. 10, p. 1–16, 2017.

KIND, J. M.; BAAYEN, J. H.; BOTZEN, W. J. W. Benefits and Limitations of Real Options Analysis for the Practice of River Flood Risk Management. **Water Resources Research**, v. 54, n. 4, p. 3018–3036, 2018.

KLARIĆ, K. et al. Određivanje koristi od certifikacije FSC lanca sljedivosti u hrvatskoj drvnoj industriji. **Drvna Industrija**, v. 67, n. 3, p. 241–248, 2016.

KLOCZKO, C. et al. Análise da produção e comercialização brasileira de madeira serrada (1993-2013). **Nativa**, v. 5, n. esp, p. 563–567, 2017.

KORNIENKO, G.; CHABANENKO, M.; LEHEZA, Y. Assessment of the economic efficiency of IT application at enterprises. **Baltic Journal of Economic Studies**, v. 4,

n. 3, p. 123–132, 2018.

KOU, Y.; LUO, M. Market driven ship investment decision using the real option approach. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, v. 118, p. 714–729, 2018.

KRYSTALLIS, I.; LOCATELLI, G.; MURTAGH, N. Talking About Futureproofing: Real Options Reasoning in Complex Infrastructure Projects. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1–14, 2020.

KRYZIA, D.; KOPACZ, M.; KRYZIA, K. The valuation of the operational flexibility of the energy investment project based on a gas-fired power plant. **Energies**, v. 13, n. 7, p. 1–16, 2020.

KULATILAKA, N. Valuing the Flexibility of Flexible Manufacturing Systems. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 35, n. 4, p. 250–257, 1988.

KWAS, M.; RUBASZEK, M. Forecasting Commodity Prices: Looking for a Benchmark. **Forecasting**, v. 3, n. 2, p. 447–459, 2021.

LEE, U.; KANG, N.; LEE, I. Choice data generation using usage scenarios and discounted cash flow analysis. **Journal of Choice Modelling**, v. 37, n. 100250, p. 1–17, 2020.

LI, P.; LI, W.; CHEN, H. Importance sampling for monte carlo simulation to evaluate collar options under stochastic volatility model. **E a M: Ekonomie a Management**, v. 23, n. 2, p. 144–155, 2020.

LIN, B.; TAN, Z. How much impact will low oil price and carbon trading mechanism have on the value of carbon capture utilization and storage (CCUS) project? Analysis based on real option method. **Journal of Cleaner Production**, v. 298, n. 126768, p. 1–12, 2021.

LINTNER, J. The Valuation of Risk Assets and the Selection of Risky Investments in Stock Portfolios and Capital Budgets. **Review Literature And Arts Of The Americas**, v. 47, n. 1, p. 13–37, 1965.

LISZBINSKI, B. B. et al. Aplicação do modelo do fluxo de caixa descontado em uma pequena empresa. **Saber Humano: Revista Científica da Faculdade Antonio Meneghetti**, v. 8, n. 13, p. 115–133, 2018.

LIU, J. et al. Improving risk assessment in financial feasibility of international engineering projects: A risk driver perspective. **International Journal of Project Management**, v. 35, n. 2, p. 204–211, 2017.

LIU, Q. et al. Effects of Short-Term Uncertainties on the Revenue Estimation of PPP Sewage Treatment Projects. **Water**, v. 11, n. 6, p. 1–14, 2019.

LIZOTE, S. A. et al. Uso do fluxo de caixa e sua relação com as dificuldades de permanecer no mercado de Pet Shops. **Revista de Gestão, Finanças e Contabilidade**, v. 7, n. 3, p. 214–229, 2017.

LOPES, C. D. C. et al. Investment decisions in an oil refinery in Brazil under a real option approach. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 3, p. 375–386, 2019.

LUZ, E. DA S. et al. Challenges of the lumber production in the Amazon region: relation between sustainability of sawmills, process yield and logs quality. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 4, p. 4924–4948, 2020.

MA, C. et al. Characterizing Spatial Patterns of Amazon Rainforest Wildfires and Driving Factors by Using Remote Sensing and GIS Geospatial Technologies. **Geosciences**, v. 12, n. 6, p. 1–21, 2022.

MACEDO, C. A. A.; ALBUQUERQUE, A. A. DE; MORALLES, H. F. Análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto eólico com simulação Monte Carlo e avaliação de risco. **Gestão & Produção**, v. 24, n. 4, p. 731–744, 2017.

MAEDA, E. E. et al. Large-scale commodity agriculture exacerbates the climatic impacts of Amazonian deforestation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 118, n. 7, p. 1–10, 2021.

MAEDA, M.; WATTS, D. The unnoticed impact of long-term cost information on wind farms' economic value in the USA. – A real option analysis. **Applied Energy**, v. 241, p. 540–547, 2019.

MAIER, S. Re-evaluating natural resource investments under uncertainty: An alternative to limited traditional approaches. **Annals of Operations Research**, v. 299, n. 1–2, p. 907–937, 2021.

MAIER, S.; PFLUG, G. C.; POLAK, J. W. Valuing portfolios of interdependent real options under exogenous and endogenous uncertainties. **European Journal of Operational Research**, v. 285, n. 1, p. 133–147, 2020.

MALEK, E. J.; ABDUL RAHIM, A. R. A thematic review of forest certification publications from 2017 to 2021: Analysis of pattern and trends for future studies. **Trees, Forests and People**, v. 10, n. 100331, p. 1–10, 2022.

MAO, H. Pricing options of security portfolio in cyclical economic environment. **Journal of Asset Management**, v. 20, p. 384–394, 2017.

MAO, H.; WEN, Z. Pricing options of security portfolio in cyclical economic environment. **Journal of Asset Management**, v. 20, n. 5, p. 384–394, 2019.

MARCOVITCH, J.; PINSKY, V. Bioma Amazônia: atos e fatos. **Estudos Avancados**, v. 34, n. 100, p. 83–106, 2020.

MARI, C. **Short-term stochastic movements of electricity prices and long-term investments in power generating technologies**. [s.l.] Springer Berlin Heidelberg, 2021. v. 12

MARIANI, M. et al. Does it pay to be environmentally responsible? Investigating the effect on the weighted average cost of capital. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 28, n. 6, p. 1854–1869, 2021.

MARKAUSKAS, M.; SABONIENE, A. Evaluation of capital cost: Long run evidence from manufacturing sector. **Engineering Economics**, v. 31, n. 2, p. 169–177, 2020.

MARKOWITZ, HARR. Portfolio Selection. **Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77–79, 1952.

MARTÍN-BARRERA, G.; ZAMORA-RAMÍREZ, C.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, J. M. Application of real options valuation for analysing the impact of public R&D financing on renewable energy projects: A company's perspective. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 63, p. 292–301, 2016.

MARTINEZ, I. M.; BATISTELA, G. C.; SIMÕES, D. Strategic flexibilities: valuation of a company with the application of the Real Options Theory. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 4, p. 650–658, 2019.

MARTINS, G. N.; MELO, A. S. S. DE A. O Valor da Opção de Preservação do Parque dos Manguezais em Recife-PE: Uma Utilização do Método de Opções Reais. **Economica**, v. 8, n. 4, p. 75–95, 2007.

MCDONALD, R. L. .; SIEGEL, D. R. . Investment and the valuation of firms when there is an Option to Shut Down. **International Economic Review**, v. 26, n. 2, p. 331–349, 2016.

MERTON, R. Theory of Rational Option Pricing. **Bell Journal of Economics and Management Science**, v. 4, n. 1, p. 141–183, 1973.

METROPHOLIS, N.; ULAM, S. The Monet Carlo Method. **Journal of the American Statistical Association**, v. 44, n. 247, p. 335–341, 1949.

MICHALAK, A. The cost of capital in the effectiveness assessment of financial management in a company. **Oeconomia Copernicana**, v. 7, n. 2, p. 317–329, 2016.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Florestas do Brasil em resumo**. 1 ed., Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2019, 207 p.

MINTAH, K. et al. Staging option application to residential development: real options approach. **International Journal of Housing Markets and Analysis**, v. 11, n. 1, p. 101–116, 2018.

MIRANDA, O.; BRANDÃO, L. E.; LAZO, J. L. A dynamic model for valuing flexible mining exploration projects under uncertainty. **Resources Policy**, v. 52, p. 393–404, 2017.

MORAES, K. F. et al. Climate change and bird extinctions in the Amazon. **PLoS ONE**, v. 15, n. e0236103, p. 1–18, 2020.

MOROZKO, N.; MOROZKO, N.; DIDENKO, V. Rationale for the development strategy of small business organizations using the real options method. **Academy of Strategic Management Journal**, v. 17, n. 2, p. 2–7, 2018.

MOSSIN, J. Equilibrium in a Capital Asset Market. **Econometrica**, v. 34, n. 4, p. 768–783, 1966.

MOTTA, C. D.; COSTA JUNIOR, M. A. Viabilidade econômica de um campo maduro da Bacia do Recôncavo. **Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 5, n. 3, p. 83–96, 2019.

MÜLLER, M. P. et al. Decision Support for IT Investment Projects: A Real Option Analysis Approach Based on Relaxed Assumptions. **Business and Information Systems Engineering**, v. 58, n. 6, p. 381–396, 2016.

MUNIS, R. A. et al. Dynamics of Pinus wood prices for different timber assortments: comparison of stochastic processes. **Bois et Forêts des Tropiques**, v. 351, p. 45–52, 2022a.

MUNIS, R. A. et al. Price modeling of Eucalyptus wood under different silvicultural management for Real Options Approach. **Forests**, v. 13, n. 478, p. 1–12, 2022b.

MUZZIOLI, S.; BAETS, B. DE. Fuzzy Approaches to Option Price Modeling. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, v. 25, n. 2, p. 392–401, 2017.

NADERPOUR, H.; KHEYRODDIN, A.; MORTAZAVI, S. Risk Assessment in Bridge Construction Projects in Iran Using Monte Carlo Simulation Technique. **Practice Periodical on Structural Design and Construction**, v. 24, n. 4, p. 04019026, 2019.

NAJAFI, P.; TALEBI, S. Using real options model based on Monte-Carlo Least-Squares for economic appraisal of flexibility for electricity generation with VVER-1000 in developing countries. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 47, n. 101508, p. 1–12, 2021.

NARVAES, I. D. S. et al. Efetividade de uma iniciativa de manejo para contenção da exploração florestal ilegal em um Projeto de Desenvolvimento Sustentável em Anapu, Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi - Ciências Naturais**, v. 16, n. 1, p. 97–114, 2021.

NAVRUD, S.; STRAND, J. Valuing Global Ecosystem Services: What Do European Experts Say? Applying the Delphi Method to Contingent Valuation of the Amazon Rainforest. **Environmental and Resource Economics**, v. 70, n. 1, p. 249–269, 2018.

NĚMEC, P. Comparison of modern forest inventory method with the common method for management of tropical rainforest in the Peruvian Amazon. **Journal of Tropical Forest Science**, v. 27, n. 1, p. 80–91, 2015.

NOGUEIRA FILHO, F. P. et al. Viabilidade econômica da produção de eucalipto no polo moveleiro de Marco - Ceará. **Revista IPEcege**, v. 3, n. 4, p. 22–34, 2017.

OFORI, C. G. et al. A real options approach to investment timing decisions in utility-scale renewable energy in Ghana. **Energy**, v. 235, n. 121366, p. 1–9, 2021.

OH, S.; KIM, K.; KIM, H. Investment decision for coastal urban development projects considering the impact of climate change: case study of the Great Garuda Project in Indonesia. **Journal of Cleaner Production**, v. 178, p. 507–514, 2018.

OLIVEIRA, E. K. B. DE et al. Monitoramento da estrutura e caracterização ecológica

em floresta tropical manejada na Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, p. 1–12, 2019.

OLIVEIRA, G. et al. Mercado da madeira: estudo de caso sobre aplicação da ferramenta SWOT e desenvolvimento de estratégias. **Nativa**, v. 5, n. esp, p. 601–605, 2017.

OLIVEIRA, N. M.; QUEIROZ, B. F. P. Hidrelétrica Peixe-Angical – Peixe, Tocantins: o discurso desenvolvimentista na Amazônia Legal. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 10, n. 4, p. 551–575, 2021.

ORFANOS, S. C. A Comparison of Macaulay Approximations. **Risks**, v. 10, n. 8, p. 1–8, 2022.

ORTIZ, H. Political Imaginaries of the Weighted Average Cost of Capital: A Conceptual Analysis. **Valuation Studies**, v. 8, n. 2, p. 5–36, 2022.

PAIVA FILHO, J. C. DE et al. Diagnóstico do uso da madeira como material de construção no município de Mossoró-RN/Brasil. **Matéria**, v. 23, n. 3, p. 1–7, 2018.

PASSOS, L. C. et al. Disclosure dos riscos de mercado e o custo de capital de empresas. **BASE - Revista de Administração e Contabilidade da Unisinos**, v. 14, n. 3, p. 169–184, 2017.

PHUOC, L. T.; KIM, K. S.; SU, Y. Reexamination of estimating beta coefficient as a risk measure in CAPM. **Journal of Asian Finance, Economics and Business**, v. 5, n. 1, p. 11–16, 2018.

PINTO-HIDALGO, J. J.; SILVA-CENTENO, J. A. AmazonCRIME: un conjunto de datos y punto de referencia de Inteligencia Artificial Geoespacial para la clasificación de áreas potenciales vinculadas a Crímenes Ambientales Transnacionales en la Selva Amazónica. **Revista de Teledetección**, n. 59, p. 1–21, 2022.

POLZIN, F. et al. The effect of differentiating costs of capital by country and technology on the European energy transition. **Climatic Change**, v. 167, n. 1–2, p. 1–21, 2021.

RABUSKE, R.; FRIEDRICH, L. R.; FONTOURA, F. B. B. DA. Análise da viabilidade para implantação de energia fotovoltaica com utilização para sombreamento de estacionamento. **Revista do CEPE**, v. 47, p. 36–48, 2018.

RADY, A. et al. Variations in Valuation Methodologies and the Cost of Capital: Evidence from MENA Countries. **Emerging Markets Finance and Trade**, v. 55, n. 9, p. 2106–2123, 2019.

REGAN, C. M. et al. Climate change and the economics of biomass energy feedstocks in semi-arid agricultural landscapes: A spatially explicit real options analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 192, p. 171–183, 2017.

RIBEIRO, A. C. F.; FONSECA, L. C. DA; PEREIRA, C. M. P. O plano de manejo florestal como instrumento de desenvolvimento sustentável na Amazônia. **Direito e Desenvolvimento**, v. 11, n. 1, p. 264–276, 2020.

- RIBEIRO, D. L. et al. Avaliação De Empresas Pelo Método Do Fluxo De Caixa Descontado (Fcd): Um Estudo Em Uma Startups Na Área Da Biofármacos. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, n. 3, p. 705, 2018.
- ROCHA, K. et al. The market value of forest concessions in the Brazilian Amazon: A Real Option approach. **Forest Policy and Economics**, v. 8, n. 2, p. 149–160, 2006.
- RODRIGO-GONZÁLEZ, A.; GRAU-GRAU, A.; BEL-OMS, I. Circular economy and value creation: sustainable finance with a real options approach. **Sustainability**, v. 13, n. 7973, p. 1–30, 2021.
- RODRIGUES, A. DE C.; GONTIJO, T.; ALMEIDA, G. C. D. DE. O Valor Do Projeto De Uma Mina De Ouro: Uma Análise Comparativa Pelos Modelos De Fluxo De Caixa Descontado E De Opções Reais. **South American Development Society Journal**, v. 5, n. 15, p. 122, 2020.
- RODRIGUES, M. I. et al. Financial analysis of investments in forest concession for amazon Brazilian by deterministic and stochastic methods. **Cerne**, v. 25, n. 4, p. 482–490, 2019.
- RODRIGUES, M. I. et al. Concessão florestal na Amazônia brasileira. **Ciencia Florestal**, v. 30, n. 4, p. 1299–1308, 2020.
- ROMEIRO, A. R. Meio ambiente e produção agropecuária na Amazônia. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 37, n. 1, p. 9–34, 1999.
- ROQUE, D. I. et al. The use of accounting beta as a risk assessment method for unlisted companies in Colombia. **Revista Universidad y Sociedad**, v. 13, n. 2, p. 23–30, 2021.
- RUTKOWSKA-ZIARKO, A. et al. Conventional and downside CAPM: The case of London stock exchange. **Global Finance Journal**, v. 54, n. 100759, p. 1–13, 2022.
- RYU, Y. et al. Application of real option analysis for planning under climate change uncertainty: a case study for evaluation of flood mitigation plans in Korea. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 23, n. 6, p. 803–819, 2018.
- SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.
- SALLES, T. T. et al. Bayesian approach and extreme value theory in economic analysis of forestry projects. **Forest Policy and Economics**, v. 105, p. 64–71, 2019.
- SALUGA, P. W.; GRZESIAK, P.; KAMINSKI, J. Valuation of decision flexibility and strategic value in coal gasification projects with the option-to-switch between different outputs. **Energies**, v. 13, n. 2826, p. 1–20, 2020.
- SAŁUGA, P. W.; KAMIŃSKI, J. Hard coal project valuation based on real options approach: multiplicative vs. arithmetic stochastic process. **Gospodarka Surowcami Mineralnymi / Mineral Resources Management**, v. 32, n. 1, p. 25–40, 2016.
- SANQUETTA, C. R.; MILDEMBERG, C.; DIAS, L. M. S. M. Números Atuais Da

Certificação Florestal No Brasil. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 7, n. 1, p. 1–8, 2022.

SANTOS, T. W. DOS; PELISSARI, A. L.; SANQUETTA, C. R. Quantificação e distribuição espacial dos certificados florestais FSC no Brasil. **Centro Científico Conhecer**, v. 4, n. 8, p. 228–239, 2017.

SAPOL, S. J.; SZAJNFARBER, Z. Revisiting flexibility in design: an analysis of the impact of implementation uncertainty on the Value of Real Options. **Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME**, v. 142, n. 12, p. 1–11, 2020.

SARMENTO, J. M.; OLIVEIRA, M. Use and limits in project finance of the capital asset pricing model: overview of highway projects. **European Journal of Transport and Infrastructure Research**, v. 18, n. 4, p. 555–568, 2018.

SAVOIA, J. R. F. et al. Comparing results of the implied cost of capital and capital asset pricing models for infrastructure firms in Brazil. **Utilities Policy**, v. 56, p. 149–158, 2019.

SAVOLAINEN, J. Real options in metal mining project valuation: Review of literature. **Resources Policy**, v. 50, p. 49–65, 2016.

SAVOLAINEN, J. et al. On the trade-off between the leverage effect and real options thinking: a simulation-based model on metal mining investment. **International Journal of Production Economics**, v. 194, p. 43–51, 2017.

SAVOLAINEN, J.; COLLAN, M.; LUUKKA, P. Using a cycle reverting price process in modeling metal mining project profitability. **Kybernetes**, v. 46, n. 1, p. 131–141, 2017.

SCHACHTER, J. A.; MANCARELLA, P. A critical review of Real Options thinking for valuing investment flexibility in Smart Grids and low carbon energy systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 261–271, 2016.

SEIJI, I. et al. The Tendency of Expanding Forest Certification in Vietnam. **Japan International Research Center for Agricultural Sciences**, v. 53, n. 1, p. 69–80, 2019.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Boletim SNIF 2019**. 1. ed. Brasília: SNIF, 2019.

SHARPE, W. F. Capital Asset Prices: A Theory of Market Equilibrium under Conditions of Risk. **The Journal of Finance**, v. 19, n. 3, p. 425–442, 1964.

SHI, P.; YAN, B.; ZHAO, J. Appropriate timing for SMEs to introduce an Internet-based online channel under uncertain operating costs: a real options analysis. **Electronic Commerce Research**, v. 20, p. 969–999, 2018.

SHUKLA, S. K.; SUSHIL; SHARMA, M. K. Managerial paradox toward flexibility: emergent views using thematic analysis of literature. **Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 20, n. 4, p. 349–370, 2019.

SILVA, C. A. et al. Fire occurrences and greenhouse gas emissions from

deforestation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 13, n. 3, p. 1–18, 2021a.

SILVA, A. G. DA et al. O Manejo Florestal Sustentável Da Caatinga. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 5, p. 872–884, 2021b.

SILVA, W. A. M. DA et al. O efeito do CAPM em relação ao retorno das ações das empresas listadas no novo mercado do BM&FBOVESPA. **Revista de Gestão, Finanças e Contabilidade**, v. 7, n. 3, p. 299–313, 2017.

SIM, J. The economic and environmental values of the R&D investment in a renewable energy sector in South Korea. **Journal of Cleaner Production**, v. 189, p. 297–306, 2018.

SIRIPONGVAKIN, J.; ATHIGAKUNAGORN, N. Infrastructure project investment decision timing using a Real Options Analysis framework with Rainbow Option. **ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering**, v. 6, n. 3, p. 1–12, 2020.

SOLTANI, M.; FIROUZI, A. Real Option Valuation of Flexibility in Operation and Maintenance Contracts of Water Pipelines Based on Reliability Analysis. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 26, n. 1, p. 1–15, 2020.

SONI, V.; SINGH, S. P.; BANWET, D. K. Sustainable coal consumption and energy production in India using life cycle costing and real options analysis. **Sustainable Production and Consumption**, v. 6, p. 26–37, 2016.

SOUZA, F. F. C. et al. Influence of seasonality on the aerosol microbiome of the Amazon rainforest. **Science of the Total Environment**, v. 760, n. 144092, p. 1–9, 2021.

STARK, A. W. Irreversibility and the capital budgeting process. **Management Accounting Research**, v. 1, n. 3, p. 167–180, 1990.

STEFFEN, B. Estimating the cost of capital for renewable energy projects. **Energy Economics**, v. 88, n. 104783, p. 1–14, 2020.

SULTANA, M.; KHAN, B. Collaborative Impact of Leverage and Weighted Average Cost of Capital in an Asset Pricing Mechanism. **Journal of Managerial Sciences**, v. 12, n. 3, p. 203–220, 2018.

TANG, B. J. et al. Investment opportunity in China's overseas oil project: An empirical analysis based on real option approach. **Energy Policy**, v. 105, p. 17–26, 2017.

TAUSSIG, R. D. New evidence on practical implications of the CAPM: In memory of Simon Benninga. **Journal of Corporate Accounting and Finance**, v. 33, n. 1, p. 72–77, 2022.

THORNING, A.; MARK-HERBERT, C. Motives for Sustainability Certification—Private Certified Forest Owners' Perspectives. **Forests**, v. 13, n. 5, p. 1–20, 2022.

TIAN, N. Nonindustrial Private Forest Landowners (NIPF) Willingness to Pay for Forest Certification in Arkansas. **Small-scale Forestry**, 2022.

TIAN, N.; PELKKI, M. Nonindustrial private forest landowner perspectives on forest certification: a look at awareness and barriers. **Forest Policy and Economics**, v. 131, n. 102552, p. 1–7, 2021.

TOURINHO, O. A. F. **The valuation of reserves of natural resources: an option pricing approach**. Tese (Doutorado em Administração de Empresas) – University of California. Berkeley, p. 103. 1978..

TRIGEORGIS, L. Making use of real options simple: an overview and applications in flexible/modular decision making. **Engineering Economist**, v. 50, n. 1, p. 25–53, 2005.

TRIGEORGIS, L.; REUER, J. J. The Effect of Firm Compensation Structures on the Mobility and Entrepreneurship of Extreme Performers. **Strategic Management Journal**, v. 38, p. 42–63, 2017.

VENTURA NETO, R. DA S. Notas sobre a formação socioespacial da Amazônia. **Nova Economia**, v. 30, n. 2, p. 579–603, 2020.

WANG, H. et al. Will land development time restriction reduce land price? The perspective of American call options. **Land Use Policy**, v. 83, p. 75–83, 2019.

WANG, Y. et al. Upturn in secondary forest clearing buffers primary forest loss in the Brazilian Amazon. **Nature Sustainability**, v. 3, n. 4, p. 290–295, 2020.

WENDPAP, M. V. et al. Estudo da viabilidade econômico-financeira para a instalação de uma microcervejaria artesanal na cidade de Toledo-PR. **Brazilian Journal of Business**, v. 2, n. 4, p. 4097–4114, 2020.

WIJAYA, E.; FERRARI, A. Stocks Investment Decision Making Capital Asset Pricing Model (CAPM). **Jurnal Manajemen**, v. 24, n. 1, p. 93–108, 2020.

XU, Z. Economic policy uncertainty, cost of capital, and corporate innovation. **Journal of Banking and Finance**, v. 111, n. 105698, p. 2020, 2020.

YAVUZ, M.; ÖZDEMİR, N. European vanilla option pricing model of fractional order without singular kernel. **Fractal and Fractional**, v. 2, n. 3, p. 1–11, 2018.

YOON, Y.; KIM, J. Compound option valuation for a coal bed methane development project. **Geosystem Engineering**, v. 19, n. 5, p. 238–246, 2016.

YOSHIMOTO, A.; JIMENEZ, J. C. Time Variant Distribution of Sugi Log Prices based on Geometric Mean-Reverting Model for Risk Valuation. **Formath**, v. 18, p. 1–13, 2019.

ZAHED, S. E.; SHAHANDASHTI, S. M.; DILTZ, J. D. Investment Valuation of Underground Freight Transportation Systems under Uncertainty. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 26, n. 3, p. 1–14, 2020.

ZHANG, H.; WATADA, J. A european call options pricing model using the infinite pure jump levy process in a fuzzy environment. **IEEE Transactions on Electrical and Electronic Engineering**, v. 13, n. 10, p. 1468–1482, 2018.

ZHANG, J.; LEUNG, T.; ARAVKIN, A. Sparse mean-reverting portfolios via penalized likelihood optimization. **Automatica**, v. 111, n. 108651, p. 1–7, 2020.

ZHANG, M. M.; ZHOU, P.; ZHOU, D. Q. A real options model for renewable energy investment with application to solar photovoltaic power generation in China. **Energy Economics**, v. 59, p. 213–226, 2016.

ZHANG, W. et al. Policy incentives in carbon capture utilization and storage (CCUS) investment based on real options analysis. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, n. 4, p. 1311–1326, 2021.

ZHENG, Y.; HUANG, J. Does patent abandonment weaken performance persistence? A real option perspective. **Technology Analysis and Strategic Management**, v. 34, n. 6, p. 717–731, 2022.

ZMEŠKAL, Z. et al. Generalised soft multi-mode real options model (fuzzy-stochastic approach). **Expert Systems with Applications**, v. 192, n. 116388, p. 1–9, 2022.

ZOU, B.; WANG, J.; WEN, F. Optimal investment strategies for distributed generation in distribution networks with real option analysis. **IET Generation, Transmission and Distribution**, v. 11, n. 3, p. 804–813, 2017.

ZOZULYA, V. et al. The effectiveness of applying beta-coefficient modifications when calculating returns on shares in Russian companies. **Eastern Journal of European Studies**, v. 12, n. 1, p. 31–52, 2021.

## ANEXOS

**ANEXO A – Componentes da receita bruta do valor presente líquido tradicional  
do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas  
certificadas na Floresta Amazônica brasileira**

<b>Nome científico</b>	<b>Volume de madeira comercializado (m<sup>3</sup>)</b>	<b>USD m<sup>-3</sup></b>
<i>Aspidosperma eteanum</i> Markgr	160,18	415
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. & Zucc.	547,11	415
<i>Astronium lecointei</i> Ducke	183,05	519
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce ex Benth.	87,81	415
<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	14,17	519
<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke	95,57	415
<i>Cariniana micrantha</i> Ducke	726,15	519
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	387,93	415
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	2.645,00	519
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd	1.364,53	415
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	916,43	415
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	87,99	415
<i>Erisma uncinatum</i> Warm	1.422,88	519
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	255,55	415
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1.455,87	519
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	502,14	519
<i>Hymenolobium excelsum</i> Duke	1.592,11	519
<i>Lecythis idatimon</i> Aubl.	276,23	519
<i>Lecythis lurida</i> (Miers) S.A.Mori.	390,88	415
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess	421,72	415
<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A.Chev.	221,29	519
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	3.169,98	519
<i>Ocotea canaliculata</i> (Rich.) Mez	29,19	519
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	204,46	415
<i>Piptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W.Grimes.	233,18	415
<i>Pouteria oppositifolia</i> (Ducke) Baehni	1.545,19	519
<i>Qualea paraensis</i> Ducke	291,15	415,
<i>Tabebuia serratifolia</i> (Vahl) G.Nichols.	53,20	1.283
<i>Vatairea paraensis</i> Ducke	133,13	415
<i>Zygia racemosa</i> (Ducke) Barneby & J.W.Grimes	1,53	415

**ANEXO B – Custo anual das atividades do projeto de investimento em manejo florestal sustentável em áreas certificadas na Floresta Amazônica brasileira**

<b>Componentes do fluxo de caixa</b>	<b>Valor anual (USD)</b>
Licitação e certificação	2.071.232
Construção de infraestrutura	236.458
Máquinas florestais autopropelidas e combinações veiculares de carga	1.191.255
Veículos de transporte de pessoas	168.196
Ferramentas de campo	16.548
Depreciação	87.833
Mão de obra	138.649
Peças e reparos das máquinas e combinações veiculares de carga	190.939
Equipamentos de proteção individual	36.883
Combustível	162.028
Transporte de suprimentos	3.649
Material de escritório	6.332
Alimentação	48.759
Telecomunicação	1.208
Outros custos	137.943
Encargos sociais da mão de obra e imposto sobre a renda	1.607.091
Impostos de produção e comercialização da madeira em tora	1.622.038
Taxas das instituições regulamentadoras	697.926

**Anexo C – Componentes da receita bruta do valor presente líquido tradicional  
do projeto de investimento em manejo florestal sustentável na Floresta  
Amazônica brasileira**

<b>Nome científico</b>	<b>Volume de madeira comercializado</b>	<b>USD m<sup>-3</sup></b>
<i>Aspidosperma eteanum</i> Markgr	118,88	380
<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	243,05	475
<i>Buchenavia parvifolia</i> Ducke	7,67	380
<i>Cariniana micranta</i> Ducke	19,61	380
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	566,36	380
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	131,53	380
<i>Dinizia excelsa</i> Ducke	1.506,75	475
<i>Diptotropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff.	31,48	475
<i>Dipteryx magnifica</i> (Ducke) Ducke	856,67	475
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Forsyth f.	2.582,93	380
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	1.075,42	380
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	93,90	380
<i>Erisma uncinatum</i> Warm	117,63	475
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	1.143,34	380
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1.209,14	475
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	604,57	475
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	1.622,61	475
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess	471,81	380
<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A.Chev.	1.568,49	475
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) A.Chev.	11.495,33	475
<i>Mezilaurus synandra</i> (Mez) Kosterm.	2.978,69	475
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp	150,39	380
<i>Piptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W.Grimes	137,92	380
<i>Pouteria oppositifolia</i> (Ducke) Baehni	217,27	475
<i>Qualea paraensis</i> Ducke	1.596,55	380
<i>Sextonia rubra</i> (Mez) van der Werff	478,98	475
<i>Tabebuia impetiginosa</i> Mart.	26,76	1.174

**ANEXO D – Espécies e valor da madeira do manejo florestal sustentável em  
área certificada na Floresta Amazônica e o valor de venda da madeira**

<b>Nome científico</b>	<b>Volume de madeira comercializado</b>	<b>USD m<sup>-3</sup></b>
<i>Aspidosperma excelsum</i> Benth.	49,42	415
<i>Astronium lecointei</i> Duke	110,05	519
<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	4,07	519
<i>Cariniana micrantha</i> Duke	43,28	519
<i>Caryocar villosum</i> (Aubl.) Pers.	831,80	415
<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	476,61	415
<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	56,73	415
<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff	60,27	519
<i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd	1.425,02	415
<i>Endopleura uchi</i> (Huber) Cuatrec.	599,76	415
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	291,17	415
<i>Goupia glabra</i> Aubl.	1.265,88	415
<i>Handroanthus impetiginosum</i> (Mart. ex DC.) Mattos	229,74	1.283
<i>Hymenaea courbaril</i> L.	1.524,04	519
<i>Hymenaea parvifolia</i> Huber	780,48	519
<i>Hymenolobium excelsum</i> Duke	1.110,98	519
<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D.Don	86,98	380
<i>Lecythis pisonis</i> Cambess	129,14	415
<i>Manilkara bidentata</i> (A.DC.) A.Chev.	6,27	519
<i>Manilkara huberi</i> Duke	15.633,49	519
<i>Mezilaurus itauba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	1.613,07	519
<i>Minquartia gujanensis</i> Aubl.	12,90	415
<i>Ocotea canaliculata</i> (Rich.) Mez	22,12	519
<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	91,02	415
<i>Piptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W.Grimes.	301,03	415
<i>Pouteria guianensis</i> Aubl.	27,50	519
<i>Pouteria oppositifolia</i> (Ducke) Baehni	184,22	415
<i>Qualea paraensis</i> Duke	507,26	415
<i>Sterculia alata</i> (Roxb.) R.Br.	51,62	415
<i>Vatairea paraenses</i> Duke	38,79	415