



LARA REIS GUALBERTO

**VIABILIDADE FINANCEIRA ESTOCÁSTICA DO CULTIVO
DE MOGNO-AFRICANO**

**LAVRAS - MG
2026**

LARA REIS GUALBERTO

**VIABILIDADE FINANCEIRA ESTOCÁSTICA DO CULTIVO DE MOGNO-
AFRICANO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

Profa. Dra. Carolina Souza Jarochinski Dellú
Orientadora

Profa. Dra. Andressa Ribeiro
Coorientadora

Profa. Dra. Jaqueline Severino da Costa
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2026**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Gualberto, Lara Reis.

Viabilidade financeira estocástica do cultivo de mogno-africano / Lara Reis
Gualberto. - 2026.
80 p.

Orientadora: Carolina Souza Jarochinski Dellú

Coorientadora: Andressa Ribeiro

Coorientadora: Jaqueline Severino da Costa

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Teoria de opções reais. 2. Análise de risco. 3. Khaya grandifoliola. I. Dellú,
Carolina Souza Jarochinski. II. Ribeiro, Andressa. III. Costa, Jaqueline Severino da.
IV. Universidade Federal de Lavras. V. Título.

LARA REIS GUALBERTO

**VIABILIDADE FINANCEIRA ESTOCÁSTICA DO CULTIVO DE MOGNO-
AFRICANO**

**STOCHASTIC FINANCIAL VIABILITY OF AFRICAN MAHOGANY
CULTIVATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de junho de 2026.
Dra. Andressa Ribeiro - UFPI
Dra. Jaqueline Severino da Costa - UFLA
Dr. Álvaro Nogueira de Souza - UNB

Profa. Dra. Carolina Souza Jaroehinski Dellú
Orientadora

Profa. Dra. Andressa Ribeiro
Coorientadora

Profa. Dra. Jaqueline Severino da Costa
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2026**

Ao meu irmão, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Santa Rita de Cássia, por serem meu refúgio nos momentos difíceis e por todas as bênçãos concedidas ao longo desta caminhada.

Aos meus pais, Cristiane e Dehon, obrigada por nunca deixarem faltar nada. Ao meu irmão, Bruno, pela amizade, parceria e companheirismo de sempre. Somos a realização de um sonho, e sou grata por dividir a vida com você.

Às minhas orientadoras, pela paciência, cuidado, confiança e pelos ensinamentos compartilhados ao longo desta trajetória. Tenho grande admiração por vocês.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela oportunidade de desenvolvimento acadêmico e profissional, bem como por toda a estrutura oferecida para a realização deste trabalho.

Aos amigos que estiveram presentes durante essa jornada, obrigada pelos momentos compartilhados, pelo apoio e pelas amizades construídas e cultivadas ao longo desses anos.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

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

RESUMO

A avaliação da viabilidade financeira de projetos florestais é fundamental diante do longo ciclo produtivo e das variações associadas à produtividade, aos preços da madeira e às condições de mercado. Em plantios de mogno-africano (*Khaya grandifoliola* C. DC.), essas incertezas podem influenciar significativamente o retorno econômico do investimento. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo analisar a viabilidade financeira determinística e estocástica do cultivo de mogno-africano, considerando diferentes cenários de manejo e incorporando a flexibilidade gerencial por meio da Teoria de Opções Reais (TOR). Foram simulados sete cenários de produção, diferenciados pela idade de realização do desbaste, variando de 7 a 13 anos, com corte final aos 25 anos. A análise foi conduzida inicialmente por meio do Valor Presente Líquido (VPL) determinístico, seguida da incorporação das incertezas por meio da simulação de Monte Carlo, permitindo a estimativa da volatilidade do projeto. A partir desses parâmetros, foi construída uma árvore binomial para modelar a evolução estocástica do valor do projeto ao longo do tempo. Como estratégia de flexibilidade gerencial, foi considerada a opção de abandono, sendo exercida quando o valor do projeto fosse inferior ao valor de venda dos ativos. Os resultados indicaram que todos os cenários apresentaram viabilidade financeira sob a abordagem determinística. No entanto, ao incorporar a flexibilidade gerencial, verificou-se que o cenário com desbaste aos 7 anos apresentou o maior valor expandido do projeto, sendo a alternativa economicamente mais atrativa. Dessa forma, conclui-se que a aplicação da TOR proporciona uma avaliação mais abrangente de projetos florestais, ao incorporar simultaneamente risco, incerteza e flexibilidade gerencial, permitindo representar de forma mais adequada o processo de tomada de decisão em investimentos de longo prazo.

Palavras-chave: Teoria de Opções Reais; Análise de Risco; *Khaya grandifoliola*.

ABSTRACT

The assessment of the financial viability of forestry projects is essential given the long production cycle and the variations associated with productivity, timber prices, and market conditions. In African mahogany plantations (*Khaya grandifoliola* C. DC.), these uncertainties can significantly influence the economic return on investment. In this context, the present study aimed to analyze the deterministic and stochastic financial viability of African mahogany cultivation, considering different management scenarios and incorporating managerial flexibility through Real Options Theory (ROT). Seven production scenarios were simulated, differentiated by the age at which thinning was carried out, ranging from 7 to 13 years, with final harvest at 25 years. The analysis was initially conducted using deterministic Net Present Value (NPV), followed by the incorporation of uncertainties through Monte Carlo simulation, allowing the estimation of project volatility. Based on these parameters, a binomial tree was constructed to model the stochastic evolution of project value over time. As a managerial flexibility strategy, the abandonment option was considered and exercised whenever the project value became lower than the asset sale value. The results indicated that all scenarios were financially viable under the deterministic approach. However, when managerial flexibility was incorporated, the scenario with thinning at 7 years presented the highest expanded project value, representing the most economically attractive alternative. Therefore, it is concluded that the application of ROT provides a more comprehensive evaluation of forestry projects by simultaneously incorporating risk, uncertainty, and managerial flexibility, allowing a more appropriate representation of the decision-making process in long-term investments.

Keywords: Real Options Theory; Risk Analysis; *Khaya grandifoliola*.

INDICADORES DE IMPACTO

A avaliação da viabilidade financeira de diferentes regimes de manejo para plantios de *Khaya grandifoliola* por meio da Teoria de Opções Reais gerou impactos tecnológicos, econômicos, ambientais e sociais, de forma direta e potencial. Do ponto de vista tecnológico, o trabalho contribuiu para a ampliação da aplicação de ferramentas quantitativas avançadas na área de economia florestal, integrando simulação de Monte Carlo, árvores binomiais e flexibilidade gerencial na análise de investimentos florestais. Economicamente, os resultados fornecem subsídios para produtores rurais, investidores, consultores e empresas do setor florestal na definição de estratégias de manejo mais eficientes, reduzindo incertezas associadas a projetos de longo prazo e contribuindo para a tomada de decisão relacionada à idade de realização dos desbastes. Os resultados obtidos indicaram que a antecipação do primeiro desbaste pode aumentar o retorno econômico do empreendimento, gerando informações relevantes para o planejamento e a gestão de povoamentos destinados à produção de madeira nobre. Ambientalmente, a pesquisa contribui para o fortalecimento do cultivo de espécies florestais de alto valor agregado em áreas plantadas, favorecendo a oferta de madeira e auxiliando na redução da pressão sobre florestas nativas. Os impactos alcançam produtores rurais, empresas florestais, estudantes, pesquisadores e profissionais ligados à cadeia produtiva do mogno-africano, com potencial de utilização em atividades de ensino, pesquisa e extensão. O trabalho enquadra-se nas áreas temáticas de Tecnologia e Produção, Meio Ambiente, Trabalho e Educação e apresenta alinhamento com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 8 – Trabalho Decente e Crescimento Econômico, 12 – Consumo e Produção Responsáveis e 15 – Vida Terrestre.

IMPACT INDICATORS

The financial feasibility assessment of different management regimes for *Khaya grandifoliola* plantations using the Real Options Theory generated technological, economic, environmental, and social impacts, both direct and potential. From a technological perspective, the study contributed to expanding the application of advanced quantitative tools in forest economics by integrating Monte Carlo simulation, binomial trees, and managerial flexibility into forest investment analysis. Economically, the results provide support for rural landowners, investors, consultants, and forestry companies in defining more efficient management strategies, reducing uncertainties associated with long-term projects and contributing to decision-making regarding the timing of thinning operations. The results indicated that earlier thinning may increase the economic return of the enterprise, providing relevant information for the planning and management of stands aimed at high-value timber production. From an environmental perspective, the research contributes to strengthening the cultivation of high-value forest species in planted forests, promoting timber supply and helping reduce pressure on native forests. The impacts extend to rural landowners, forestry companies, students, researchers, and professionals involved in the African mahogany production chain, with potential applications in teaching, research, and extension activities. The study falls within the thematic areas of Technology and Production, Environment, Work, and Education and is aligned with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs) 8 – Decent Work and Economic Growth, 12 – Responsible Consumption and Production, and 15 – Life on Land.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	11
2.	OBJETIVOS.....	13
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	14
3.1.	<i>Khaya grandifoliola</i> C. DC. (Meliaceae).....	14
3.2.	Análise financeira de projetos florestais	21
3.3.	Teoria das Opções Reais.....	24
4.	MATERIAL E MÉTODOS	32
4.1.	Cenários simulados para investimento em plantação de mogno-africano	32
4.2.	Custos e receitas estimados para plantação de mogno-africano	33
4.3.	Análise financeira	35
4.3.1.	Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) sem flexibilidade (Passo 1)	35
4.3.2.	Modelagem da incerteza por meio de árvore de eventos (Passo 2)	36
4.3.3.	Identificação das opções e incorporação da flexibilidade (Passo 3)	38
4.3.4.	Análise das Opções Reais (Passo 4)	38
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
5.1.	Descrição dos custos e receitas.....	41
5.2.	Aplicação da Teoria de Opções Reais	44
5.2.1.	Cálculo do VPL determinístico.....	44
5.2.2.	Árvore de eventos.....	47
5.2.3.	Opção de abandono	56
5.2.4.	Análise das Opções Reais	57
6.	CONCLUSÕES	69
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
	REFERÊNCIAS	71

1. INTRODUÇÃO

O mercado de madeiras tropicais de alto valor agregado tem apresentado crescente relevância econômica, impulsionado pela demanda por produtos destinados à fabricação de móveis, construção civil, construção naval e instrumentos musicais. Nesse contexto, o mogno-africano (*Khaya* spp.) destaca-se como uma das espécies florestais exóticas promissoras para cultivo no Brasil, em razão da elevada qualidade de sua madeira, do potencial produtivo e da ampla adaptação às condições edafoclimáticas do país (Ferraz Filho *et al.*, 2021; Pinheiro *et al.*, 2011). Diante do crescente interesse por espécies florestais de elevado valor comercial, a implantação e o manejo de povoamentos com espécies exóticas tornaram-se práticas consolidadas no Brasil, sendo adotadas tanto por grandes empresas quanto por produtores independentes. A decisão de investir nesse tipo de empreendimento demanda uma análise criteriosa da viabilidade financeira e técnica do projeto, fundamentada em levantamentos detalhados sobre as características da espécie, as condições do local e as dinâmicas de mercado (Ribeiro *et al.*, 2018; Lafetá *et al.*, 2022).

O gênero *Khaya* spp., comumente conhecido por mogno-africano, possui no Brasil uma área plantada próxima de 50.000 hectares, composta predominantemente pelas espécies *K. grandifoliola* (66%) e *K. senegalensis* (33%), sendo também plantadas em menor escala as espécies *K. anthotheca* e *K. ivorensis* (Ferraz Filho *et al.*, 2021). No ano de 2019, estudos conduzidos no Brasil revelaram que a espécie anteriormente referida como *Khaya ivorensis* é, na verdade, identificada como *Khaya grandifoliola* C. DC. (Meliaceae). Sua área natural de ocorrência abrange a Uganda e uma faixa territorial que vai do leste da Guiné até o Sudão (Opuni-Frimpong, 2008). A silvicultura da espécie *K. grandifoliola* apresenta-se como uma alternativa economicamente viável para atender à demanda global por madeira, podendo ser utilizada em plantios puros (monocultivo) ou integrada em consórcios (Lafetá *et al.*, 2022). O interesse por esse cultivo vem, principalmente, pela sua adequabilidade climática, resistência a pragas e substituição da madeira do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King, Meliaceae) (Pinheiro *et al.*, 2011; Ribeiro *et al.*, 2023).

Investimentos de médio e longo prazo são características da produção florestal, no qual grande parte do capital permanece imobilizado durante vários anos até a obtenção dos retornos econômicos. Além disso, por depender de processos biológicos e de condições de mercado, esse tipo de investimento está sujeito a diferentes fontes de risco e incerteza (Coelho Júnior *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2014). Esses riscos podem ser tanto de natureza ambiental, como incêndios, tempestades e ataques de insetos, quanto de natureza econômica, como as flutuações

nos preços de insumos, venda de madeira e dos produtos florestais, além de incertezas relacionadas a taxas de juro e crescimento florestal (Khajuria, 2019). A flexibilidade administrativa para adaptar e rever decisões em investimentos não é observada nos métodos tradicionais de avaliação financeira, podendo não ser os mais adequados para capturar totalmente o potencial econômico de projetos florestais (Trigeorgis, 2007).

Métodos que considerem essa flexibilidade e as múltiplas opções de manejo podem ser mais apropriados para análises de investimentos florestais, como é o caso da Teoria das Opções Reais (TOR), uma vez que a incorporação da flexibilidade gerencial torna as decisões mais realistas (Brach, 2003). Autores como Dixit e Pindyck (1994), Copeland e Antikarov (2001) e Brandão, Dyer e Hahn (2005) apontaram a TOR como o método de avaliação financeira mais adequado para analisar investimentos com variáveis estocásticas, visto que essa abordagem permite uma avaliação mais precisa das oportunidades de investimento, considerando a flexibilidade gerencial para a adaptação das decisões ao longo do tempo.

Portanto, o presente estudo propõe a avaliação financeira de cenários de monocultivo para o mogno-africano avaliando diferentes momentos para realização do primeiro desbaste. A Teoria das Opções Reais foi aplicada para incorporar as incertezas inerentes aos preços dos produtos e custos de produção, considerando a flexibilidade de manejo em cada cenário e visando identificar a melhor alternativa para otimizar a produção de madeira e o retorno financeiro. A partir dessa análise, buscou-se determinar o cenário com maior viabilidade financeira e potencial de retorno do investimento. O estudo contribui para a tomada de decisão estratégica em investimentos florestais, oferecendo uma visão mais abrangente e realista dos riscos e oportunidades envolvidos nesse investimento florestal.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral é analisar e comparar a viabilidade financeira estocástica de diferentes cenários de produção envolvendo o mogno-africano (*Khaya grandifoliola*) utilizando a teoria de opções reais.

Os objetivos específicos são:

- (a) Comparar a viabilidade financeira, determinística e estocástica do monocultivo de *Khaya grandifoliola* submetidos a sete simulações de regimes de manejo com diferentes idades para o primeiro desbaste;
- (b) Definir o momento ideal para a realização dos cortes no povoamento considerando as incertezas nas variáveis econômicas (implantação, taxa de juros, produção da floresta, preço de venda do produto e custo de colheita e desbaste) e a possibilidade de flexibilidade nas decisões, como abandono do projeto.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. *Khaya grandifoliola* C. DC. (Meliaceae)

Barroso (1984) e Pinheiro (1986) apontaram que o gênero *Khaya*, de origem africana e pertencente à família Meliaceae, integra um grupo composto de 51 gêneros que abrangem 1.400 espécies pantropicais. Deste total, aproximadamente, 550 espécies possuem relevância para a economia florestal de diversos países. As espécies deste gênero, popularmente conhecidas como mognos-africanos, possuem diferentes utilidades, com uso madeireiro ou não madeireiro, como extrativos, cascas, folhas, frutos e as sementes. Historicamente, a madeira do mogno-africano é amplamente valorizada no mercado devido às suas propriedades tecnológicas e sua beleza (Lamb, 1963). Sua consagração no mercado madeireiro europeu ocorreu no ano de 1850, consolidando-se como uma madeira de alta demanda e prestígio (Lamb, 1967; Ribeiro; Ferraz Filho; Oliveira, 2019).

Em seus locais de origem, as espécies deste gênero são utilizadas para o tratamento de doenças, como é o caso da malária, visto que, há a presença de uma variedade de limonóides com ação antimalárica no extrato da casca do fuste de *K. ivorensis*, *K. senegalensis*, *K. anthoteca* e *K. grandifoliola*, e os estudos conduzidos por diferentes autores com essas espécies isoladamente em laboratórios obtiveram sucesso (Adebayo; Kretlli, 2011; Lee *et al.*, 2008; Nurain; Bewaji, 2017; Ribeiro; Ferraz Filho; Oliveira, 2019; Zhang *et al.*, 2009). Pinheiro *et al.* (2011) destacaram que as principais espécies deste gênero são: *K. ivorensis*, *K. senegalensis*, *K. anthoteca* e *K. grandifoliola*, sendo a *Khaya ivorensis* a espécie mais plantada no Brasil. Porém, até pouco tempo havia um mal-entendido em relação à identificação botânica da espécie de *Khaya* mais cultivada no Brasil, sendo que diversos trabalhos publicados anteriormente se referiam a *Khaya grandifoliola* como sendo *Khaya ivorensis* (Ferraz Filho *et al.*, 2021).

Em geral, as árvores podem variar entre 30 e 35 metros de altura, podendo ainda ultrapassar os 60 metros em alguns casos. Geralmente apresentam sapopemas na base, auxiliando a sustentação e o tronco pode atingir diâmetro de até 2 metros. As folhas são paripinadas, podendo ser decíduas ou sempre verdes a depender da espécie. As flores são desenvolvidas a partir de uma inflorescência em panículas, o fruto é globoso e possui 5 a 8 centímetros de diâmetro, contendo quatro ou cinco valvas preenchidas com grande número de sementes aladas e achatadas (CABI, 2013; Lemmens, 2008; Pinheiro *et al.*, 2011; Ribeiro; Ferraz Filho; Scolforo, 2017).

A introdução do mogno-africano no Brasil se deu pela doação de sementes ao

pesquisador Ítalo Falesi no Norte do país em 1976. No entanto, foi apenas em 1989 que os indivíduos provenientes destas sementes se reproduziram e permitiram a difusão da espécie para outras áreas do território nacional. Com as restrições do comércio do mogno brasileiro (*Swietenia macrophylla* King), a similaridade nas características da madeira entre as diferentes espécies de mogno, e a alta resistência do mogno-africano ao microlepidóptero *Hypsipyla grandella*, principal praga que afeta o mogno nativo em plantios homogêneos, os plantios de mogno-africano se expandiram em diferentes regiões do Brasil (Conde, 2006; Krisnawati; Kallio; Kanninen, 2011; Poltronieri *et al.*, 2000; Ribeiro *et al.*, 2017).

Pinheiro *et al.* (2011), consideraram a utilização das espécies africanas de mogno uma excelente alternativa para substituir a exploração do mogno brasileiro (*S. macrophylla*) na América Tropical. Segundo os autores, o cultivo do mogno-africano do gênero *Khaya* possui muitas vantagens, como:

- a) As espécies possuem rápido crescimento e, em algumas áreas, superam significativamente o crescimento do mogno brasileiro;
- b) Demonstram resistência à broca de ponteiro (*Hypsipyla grandella* Zeller), causadora de danos aos mognos do gênero *Swietenia* no continente americano, tornando o seu cultivo e a sua exploração econômica inviáveis;
- c) A madeira do mogno-africano tem uma comercialização garantida, atingindo preços altos no mercado, muitas vezes superiores aos do mogno nacional, tornando-se um excelente investimento em médio prazo;
- d) Conforme mencionado no item b, essas espécies mostram resistência à broca do ponteiro, que afeta a família Meliaceae na América, apresentando assim grande potencial para pesquisas futuras sobre melhoramento genético voltado à resistência a pragas.

O mogno-africano objeto do presente estudo é a espécie *Khaya grandifoliola* C. DC., a sua área de distribuição natural ocorre na Uganda e na faixa territorial que vai do leste da Guiné ao Sudão. É encontrada em Floresta Semidecídua, principalmente nos tipos mais seco e Savana (Opuni-Frimpong, 2008; Praciak *et al.*, 2013; Reis; Oliveira; Santos, 2019). É uma planta que, uma vez bem estabelecida, se beneficia da luz e é geralmente considerada uma espécie pioneira de longa duração com tolerância à sombra, além disso, apresenta boa regeneração em florestas e bordas de florestas nativas perturbadas (Praciak *et al.*, 2013). Em condições naturais as árvores de *K. grandifoliola* podem atingir 40 m de altura e seus fustes podem chegar a 23 m.

Podem apresentar sapopemas de até 3 m de altura e o tronco é normalmente torcido ou inclinado próximo ao topo (Opuni-Frimpong, 2008; Praciak *et al.*, 2013; Reis; Oliveira; Santos, 2019).

As folhas são compostas paripinadas, com 3 a 5 pares de folíolos opostos a subopostos. A lâmina foliar é elíptica a ovado-elíptica ou oblongo-elíptica, com ápice acuminado e base cuneada a arredondada. A nervação é peninérvea, com 9 a 15 pares de nervuras laterais. A textura é papirácea a coriácea, e a superfície é glabra. A ausência de estípulas e o arranjo espiralado dos folíolos são características marcantes (Opuni-Frimpong, 2008; Praciak *et al.*, 2013; Reis; Oliveira; Santos, 2019). As sementes são de cor castanha, com formato de disco ou quadrangular, bastante achatadas, com dimensões aproximadas de 2,0 cm x 3,5 cm. Além disso, as sementes devem ser cuidadosamente selecionadas, visto que, podem ocorrer ataques de insetos quando essas ainda estão na árvore. A germinação ocorre entre 10 e 35 dias após o semeio (Opuni-Frimpong, 2008; Praciak *et al.*, 2013; Reis; Oliveira; Santos, 2019).

De acordo com o relatório anual do IBÁ, em 2024 10,52 milhões de hectares no Brasil foram dedicados para o plantio de árvores, um crescimento de 2,8% em relação ao ano anterior, 77% dessa área total é destinada ao plantio do eucalipto, 18% pertencendo ao plantio de pinus, sobrando 500 mil hectares para as demais espécies, como seringueira, teca, acácia e araucária (IBÁ, 2025). O mogno-africano possui no Brasil, uma área total plantada de aproximadamente 50 mil hectares (Ferraz Filho *et al.*, 2021) e a expectativa é que essa área aumente ainda mais com a crescente demanda por madeira tropical de origem confiável e sustentável, incentivando novos investimentos em plantios em todo o país e impulsionando o mercado florestal em torno de novas espécies com potencial econômico (Ribeiro; Ferraz Filho; Oliveira, 2019).

A madeira da espécie *K. grandifoliola* (Figura 3.1) é valorizada para a carpintaria, marcenaria, móveis e laminação, sendo também indicada para construção leve, piso leve, acabamento interno, construção naval, instrumentos musicais (Figura 3.2), brinquedos, artesanatos, entalhes, torneados e utensílios domésticos (Opuni-Frimpong, 2008; Ribeiro; Ferraz Filho; Oliveira, 2019).

Figura 3.1 – Toras (a e b) e pranchão serrado (c) de mogno-africano (*Khaya grandifoliola* C. DC.) oriundos de um plantio de 18 anos de idade, Pará, Brasil.



Fonte: Ribeiro, Ferraz Filho e Oliveira (2019).

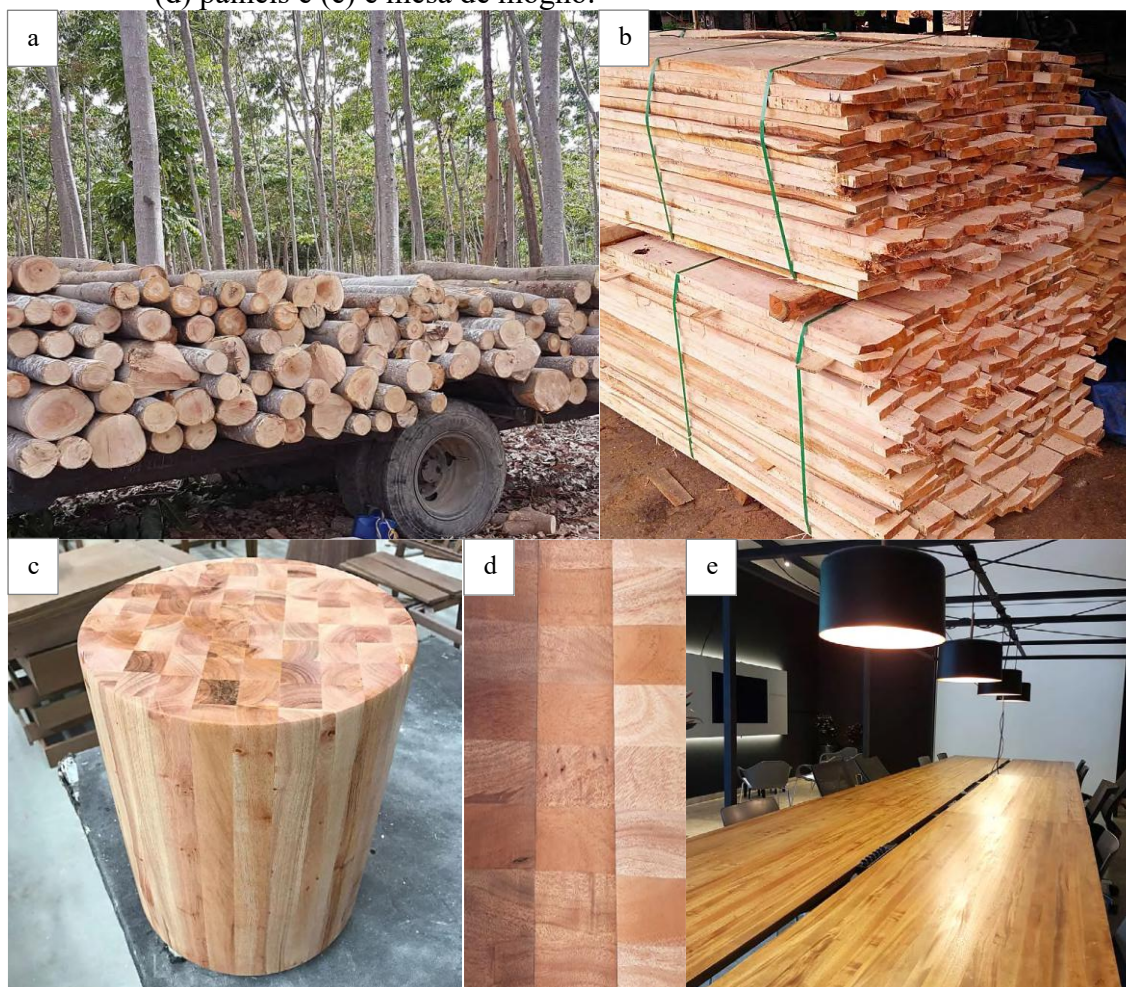
Figura 3.2 - Guitarra e contrabaixo produzidos pelo luthier Sânzio Brandão.



Fonte: Ribeiro, Ferraz Filho e Oliveira (2019).

Plantios de membros da Associação Brasileira de Mogno-Africano (ABPMA) estão presentes em 12 estados brasileiros, no entanto, a maioria dos plantios ainda não alcançou a idade final de corte para fins comerciais e nem elevada escala de produção de madeira, sendo que, as madeiras no mercado atual são provenientes de desbastes, utilizadas para diversos fins (Reis, 2023). Alguns plantios já foram submetidos ao desbaste, como é o caso da Empresa *Khaya Woods* localizada em Minas Gerais, em que, a madeira proveniente destes desbastes é utilizada para a fabricação de painéis, mesas e bancos. A Figura 3.3 ilustra etapas que vão desde a produção da madeira, oriunda de desbaste aos nove anos de idade, até o produto final (Ribeiro; Ferraz Filho; Oliveira, 2019).

Figura 3.3 - Ilustração da madeira de mogno-africano (*Khaya grandifoliola*) em diferentes etapas de produção: (a) Toras cortadas, (b) toras serradas na estufa, (c) banco, (d) painéis e (e) e mesa de mogno.



Fonte: Ribeiro, Ferraz Filho e Oliveira (2019).

Internacionalmente, a espécie mais comercializada é a *K. ivorensis*, originária das florestas naturais da República do Gana, no entanto, a madeira de *K. anthotheca* e *K. grandifoliola* também são aceitas no mercado (ITTO, 2025). De acordo com Arnold (2004), no comércio internacional, o nome mogno-africano inclui as várias espécies do gênero *Khaya*, mesmo com suas características variando, todas são estimadas no mercado. Ademais, valores comerciais disponíveis para o mercado internacional são referentes à madeira proveniente de florestas tropicais oriundas da África (Ribeiro; Ferraz Filho; Oliveira, 2019) e possuem alto valor comercial sendo reportado o preço médio de até €1.443,00/m³ para a madeira laminada e €889,00/m³ para madeira serrada seca em estufa, de acordo com informativos da International Tropical Timber Organization (ITTO, 2026).

No Brasil, os valores de madeira serrada são disponibilizados pela ABPMA e sofrem

pouca variação no preço com o decorrer dos anos. Na Tabela 3.1 estão representados os valores dos anos de 2022 e 2023 e as características para as diferentes classificações de qualidade da madeira.

Tabela 3.1 - Valores da ABPMA de venda da madeira serrada (m³) de mogno-africano, nos anos de 2022 e 2023.

Data da cotação: 29/11/2022					
Classe	Valor	Característica	Largura	Comprimento	Espessura
Madeira A PLUS	R\$ 4.500,00	Limpa nas duas faces	Acima de 15cm	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
Madeira A	R\$ 3.800,00	Limpa nas duas faces	Entre 11 e 15 cm	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
Madeira B PLUS	R\$ 2.800,00	Com mancha medular em 1 face	Acima de 9cm (média de 15 cm)	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
Madeira B	R\$ 2.100,00	Com mancha medular aberta em 1 face	Acima de 9cm (média de 15 cm)	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
Data da cotação: 29/06/2023					
Madeira A PLUS	R\$ 4.500,00	Limpa nas duas faces	Acima de 15cm	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
Madeira A	R\$ 3.800,00	Limpa nas duas faces	Entre 11 e 15 cm	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
Madeira B PLUS	R\$ 2.800,00	Com mancha medular em 1 face	Acima de 9cm (média de 15 cm)	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
Madeira B	R\$ 2.100,00	Com mancha medular aberta em 1 face	Acima de 9cm (média de 15 cm)	de 1,53/ 1,83/ 2,14/ 2,44 m	de 26, 31 e 36 mm
*Valores “Free On Board” (FOB) Janaúba					

Fonte: Associação Brasileira de Produtores de Mogno-Africano (ABPMA, 2022; ABPMA, 2023).

Ribeiro, Ferraz Filho e Oliveira (2019) afirmaram que a perspectiva de mercado é positiva, se baseando na crescente demanda por produtos da madeira de *Khaya* spp. em escala mundial. Para reduzir a pressão sobre a extração de madeira em áreas naturais de origem, o plantio florestal tem se tornado uma alternativa viável e está se expandindo em várias regiões do mundo. Vale ressaltar que no ano de 2022, o gênero *Khaya* foi incluído na lista da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (CITES, 2022), reforçando a importância do manejo sustentável do gênero para continuidade da produção madeireira e destacando a importância de plantações florestais (Ribeiro; Maluf, 2022).

3.2. Análise financeira de projetos florestais

A viabilidade financeira de um projeto depende da análise da disponibilidade de recursos para sua implementação. Essa análise se baseia na avaliação do fluxo de caixa projetado, considerando todos os custos e receitas gerados ao longo do horizonte de planejamento do projeto. O fluxo de caixa, que pode ser entendido como uma série temporal de valores representando as receitas líquidas em cada período é construído a partir da diferença entre as receitas e os custos em cada etapa do projeto (Rezende; Oliveira, 2013). Um fluxo de caixa robusto e positivo é um forte indicativo da saúde financeira do projeto e de sua capacidade de gerar bons retornos.

As análises financeiras desempenham um papel importante em projetos florestais devido à natureza desses investimentos, que envolvem altos custos iniciais e um longo período até o retorno financeiro (Price, 2014). Entender o valor temporal do dinheiro é importante nesse contexto, pois permite mensurar adequadamente como o valor de um investimento ou retorno futuro é impactado pelo tempo e pelas taxas de desconto (Amacher; Brazee, 2014; Price, 2014). Em projetos florestais, decisões como o momento ideal para realizar cortes, desbastes ou adotar estratégias de manejo, dependem de uma avaliação das incertezas financeiras e dos fluxos de caixa projetados (Amacher; Brazee, 2014).

Existem diversos métodos para a avaliação financeira de projetos. Dentre os principais indicadores financeiros, destacam-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), o Valor Anual Equivalente (VAE) e o Tempo de Retornos do Capital Investido (*Payback*) (Rasoto *et al.*, 2012; Rezende; Oliveira, 2013). Esses métodos tradicionais consideram o valor do capital ao longo do tempo e são classificados como determinísticos, pois se baseiam em um fluxo de caixa estático.

Sousa Neto, Oliveira e Bergamini Júnior (2008) afirmaram que o critério do VPL é usado em 80% das grandes empresas, esse método consiste em trazer para o valor presente todos os fluxos de caixa esperados ao longo do projeto, descontando-os por uma taxa mínima de atratividade. O resultado final representa a diferença entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos. O VPL se destaca como o principal indicador na análise de projetos utilizando o método do fluxo de caixa descontado (FCD). A tomada de decisões com base no VPL é orientada pela "Regra do VPL" (Dias, 2014), que oferece uma abordagem objetiva, sendo:

- a) $VPL > 0$: Indica que o projeto é economicamente viável, pois seu retorno é igual ou superior ao custo de oportunidade do capital. Nesse cenário, recomenda-se o

investimento no projeto;

- b) $VPL < 0$: Sinaliza que o projeto não é economicamente viável, uma vez que seu retorno é inferior ao custo de oportunidade do capital. A recomendação, nesse caso, é rejeitar o projeto;
- c) Projetos Mutuamente Exclusivos: Quando a escolha envolve projetos mutuamente exclusivos, ou seja, a aceitação de um implica na rejeição do outro, a "Regra do VPL" orienta a escolha do projeto com o maior VPL. Isso garante a seleção da alternativa que maximiza a criação de valor.

Contudo, é importante reconhecer a sensibilidade do VPL em relação à taxa de desconto utilizada, especialmente em projetos de longo prazo. Pequenas variações nessa taxa podem alterar significativamente a classificação dos projetos e as conclusões sobre sua lucratividade. Além disso, o VPL não permite a comparação direta de projetos com horizontes de planejamento diferentes, o que pode dificultar a tomada de decisão em cenários complexos (Rezende; Oliveira, 2013).

Estudos sobre a viabilidade financeira do mogno-africano são de extrema importância devido aos altos preços de mercado. Ribeiro *et al.* (2018) avaliaram a viabilidade financeira estocástica da implantação desta cultura no Brasil sob diferentes perspectivas de manejo florestal, iniciando com 277 árvores ha^{-1} , sendo eles: a) não desbastado; b) um desbaste aos dez anos de idade com 150 árvores por hectare remanescentes; e c) dois desbastes, primeiro na idade de oito anos remanescendo 150 árvores por hectare e segundo aos 15 anos com 75 árvores por hectare remanescentes. Apesar de todas as classes de sítio nos regimes de manejo apresentarem os VPLs positivos, os cenários B e C se destacaram sendo os melhores, demonstrando que a probabilidade de insucesso desses investimentos é quase zero. Lafeté *et al.* (2022) avaliaram a viabilidade financeira de 12 cenários diferentes sob espaçamento de 4x3 metros (833 árvores ha^{-1}) para a realização do primeiro desbaste em monocultivos de mogno-africano e concluíram que a máxima rentabilidade (maior VPL) foi obtida quando o primeiro desbaste é realizado aos cinco anos de idade, considerando os custos e receitas projetados nas simulações.

Apesar das diferenças metodológicas entre os estudos apresentados, incluindo a utilização de simulações estocásticas por Ribeiro *et al.* (2018), as análises permanecem baseadas em métodos tradicionais de avaliação econômica e não incorporam explicitamente a flexibilidade gerencial proporcionada pela Teoria das Opções Reais. Em outras palavras, assumem que os investimentos são irreversíveis após sua realização e que as estratégias operacionais permanecem fixas, sem possibilidades de ajustes ao longo do tempo em resposta

a mudanças nas condições de mercado ou à incorporação de novas informações (Rodrigues, 2016). Assim, mesmo quando corretamente aplicado, o método do FCD apresenta limitações, especialmente no que diz respeito à sua incapacidade de capturar o valor da flexibilidade gerencial (Myers, 1984). Isso ocorre porque o FCD tradicional não incorpora as incertezas futuras, nem considera eventos imprevistos que podem impactar o projeto ao longo de seu ciclo de vida (Frayer; Uludere, 2001). A possibilidade de adaptar decisões conforme novas informações e mudanças no mercado tem um valor significativo, e a ausência dessa consideração no FCD pode resultar em avaliações incompletas e, potencialmente, equivocadas da viabilidade do projeto.

Dada a limitação do VPL em cenários determinísticos, a Teoria das Opções Reais (TOR) surge como uma alternativa promissora para incorporar os riscos e incertezas presentes aos investimentos. Essa abordagem busca aprimorar a precisão das decisões, especialmente em projetos florestais que envolvem grandes investimentos e elevado grau de incerteza.

As metodologias de VPL e TOR são similares em suas propostas, pois ambas consideram o fluxo de caixa descontado a uma taxa mínima de atratividade. Porém, a análise do VPL é chamada de estática e a da TOR de flexível. Sousa Neto, Oliveira e Bergamini Júnior (2008) propuseram a seguinte comparação matemática entre essas metodologias: o cálculo do VPL ocorre no momento presente, determinando o valor máximo de um conjunto de alternativas mutuamente exclusivas (Eq. 3.1).

$$\text{Regra do VPL: Max (em } t = 0) [0, EoVt - X] \quad (\text{Eq. 3.1})$$

em que: Eo = valor futuro esperado do projeto, obtido a partir de Vt (valor efetivo futuro obtido pelo projeto), X = valor do investimento necessário para a execução do projeto.

A metodologia da TOR parte de uma abordagem distinta quando comparada ao VPL pelo método FCD. Do ponto de vista matemático, a abordagem pela TOR é baseada na expectativa de máximos, ao contrário da abordagem do VPL, que busca o máximo das expectativas, conforme demonstrado na Eq. (3.2).

$$\text{Regra TOR: } Eo \text{ Max (em } t = T) [0, Vt - X] \quad (\text{Eq. 3.2})$$

Isso significa que a TOR só considera viável o avanço do projeto se, e somente se, $Vt > X$ no período T . No caso do VPL o projeto será aprovado no momento inicial ($t = 0$), se, e

somente se, a expectativa no período for $EoVt > X$.

3.3. Teoria das Opções Reais

Quando se fala em tomada de decisões financeiras de empreendimentos florestais é importante a adoção de metodologias que abordem o risco de investimento, por se tratar de projetos de longo prazo em ativos biológicos, que estão sujeitos a inúmeras variáveis de incerteza (Silva *et al.*, 2014). Os preços dos insumos variam, assim como a demanda e os preços dos produtos, as taxas de juros, as taxas de câmbio e outras variáveis econômicas que desempenham um papel significativo em projetos e estratégias de negócio florestal. Quando o cenário muda, as empresas que possuem uma maior capacidade de se adaptar ao novo terão mais valor (Dias, 2014). Neste contexto, a metodologia tradicional de avaliação por fluxo de caixa descontado pode ser limitada em termos de tomada de decisão, visto que ele não incorpora ao valor do ativo as oportunidades gerenciais durante o ciclo produtivo (Gastaldi, 2012).

A teoria de opções reais (TOR) é uma metodologia utilizada para avaliação de investimentos em ativos reais, principalmente em condições de incerteza. Essa metodologia enfatiza o valor da flexibilidade do tomador de decisões permitindo a alteração dos rumos de um projeto ou a operação de um ativo real. Um ativo real pode ser entendido como qualquer oportunidade de investir em um projeto ou em um ativo já existente, que gere valor econômico (Dias, 2014). A opção real é o oposto de obrigação, opção é a liberdade de escolha na tomada de decisão, pois o investidor pode, por exemplo, adiar o investimento, contrair ou expandir, parar temporariamente ou até mesmo abandonar o projeto (Dias, 2014).

O termo “Opções Reais” foi primeiramente introduzido por Myers (1977), que identificou que os ativos reais poderiam ser analisados sob a mesma lógica das opções financeiras. De antemão, é importante distinguir opções reais de opções financeiras, uma opção financeira, geralmente negociada em bolsas de valores ou bolsas de mercadorias (Dias, 2014), é um contrato que dá ao detentor o direito sem a obrigação, de comprar ou vender um ativo financeiro a um preço estabelecido dentro de um período específico. Caso a opção financeira possa ser exercida a qualquer momento antes do vencimento, ela é conhecida como Opção Americana. No entanto, se a opção financeira só puder ser exercida no momento do seu vencimento, ela é chamada de Opção Europeia (Sousa Neto; Oliveira; Bergamini Júnior, 2008).

Por outro lado, a TOR surge como uma analogia ao conceito das opções financeiras, como “um direito sem a obrigação de exercer a opção” e o diferencial desta metodologia é a inclusão da incerteza e da flexibilidade na análise da viabilidade dos investimentos e assim como as opções financeiras, as opções reais dependem de variáveis básicas, sendo elas

detalhadas abaixo (Sousa Neto; Oliveira; Bergamini Júnior, 2008):

- a) Ativo subjacente sujeito ao risco (ASSR): valor do ativo real sem considerar as flexibilidades gerenciais. Quanto maior o valor da ASSR, maior o valor da opção;
- b) Preço do exercício: montante necessário que deve ser investido para realizar a opção;
- c) Prazo de vencimento do exercício: período pelo qual a opção está disponível, dependendo das características do ASSR;
- d) Desvio padrão do valor do ASSR: medida da volatilidade do ASSR, essa é a maior dificuldade no processo de cálculo, sendo necessária a simulação das variáveis para estimar a volatilidade do projeto;
- e) Taxa de juros livre de risco: taxa esperada livre de risco. À medida que a taxa aumenta, o valor da opção também aumenta;
- f) Dividendos: fluxos de caixa descontados futuros produzidos pelo projeto.

Iubel (2008) descreveu que a incerteza referente ao valor de uma ação financeira pode ser comparada à incerteza associada ao projeto avaliado por meio da TOR. Da mesma forma que, a taxa de juros livre de risco utilizada nas opções financeiras é equivalente à taxa correspondente em qualquer outro tipo de investimento.

As opções reais são classificadas de acordo com o tipo de flexibilidade que oferecem, permitindo várias abordagens de gestão em projetos, podendo diferir, expandir e abandonar, além disso, algumas opções podem ser compostas, ou seja, opções sobre opções. A Tabela 3.2 exemplifica os principais tipos de opções e seu uso na metodologia TOR.

Tabela 3.2 - Taxonomia das Opções Reais.

Tipo	Descrição	Importante para
Opção de diferir	Pode se esperar X anos para checar se os preços justificam a construção e o investimento em infraestrutura. Por exemplo, opção de aluguel ou de compra de terra ou recursos.	Indústria de extração de recursos naturais, mercado imobiliário, <i>agrobusiness</i> , produtos.
Opção de alterar Escala operacional	Expansão, contração, abandono e reinício de operações: se o mercado é favorável, a empresa pode expandir rapidamente. Caso contrário, pode reduzir ou suspender operações, com a possibilidade de retomá-las posteriormente.	Indústria de recursos naturais, construção de novas facilidades e cíclicas, mercado imobiliário comercial, indústria de bens e consumo, indústria da moda.
Opção de conversão	Se os preços ou a demanda mudam drasticamente no mercado, os gestores podem mudar o mix de produção da fábrica, ou usar diferentes insumos para a produção, dado à escassez, ou custo alto de algum insumo.	Produtos de bens e consumo, brinquedos, eletrônicos, peças de máquinas. Custo de <i>commodities</i> , energia elétrica, gás natural e matérias primas.
Opção de abandono	Se as condições de mercado declinarem drasticamente, a empresa pode abandonar o projeto ou a operação permanentemente e vendê-la.	Mercado financeiro, indústria de capital intensivo, novos produtos em mercado incerto.
Opção composta	Quando os investimentos são realizados em etapas, existe a opção de abandonar ou de seguir para a nova fase, dependendo dos resultados e das condições específicas daquele momento. Cada etapa pode ser vista como uma opção.	Indústria de intensivo, investimento em pesquisa e desenvolvimento de novos produtos, projetos de longo prazo de capital intensivo.
Opção de crescimento	O investimento inicial, como em PeD ou concessão de petróleo, é crucial para projetos interligados que geram crescimento futuro, como novos produtos, mercado ou competências.	Empresas de alta tecnologia, indústria baseada em inovação e investimento em ReD, operações multinacionais, aquisições estratégicas, empresas de múltiplos produtos, informática, computacional.
Opção Arco-Íris	Projetos Reais frequentemente envolvem a coleção e combinação de várias opções. Potenciais melhorias, expansão, abandono. Esse tipo de opção combina as outras opções acima detalhadas.	Projetos reais em todos os tipos de indústrias e negócios listados acima.

Fonte: Sousa Neto, Oliveira e Bergamini Júnior (2008) adaptado de Trigeorgis (1996).

De acordo com Cheng (2007), para a existência de uma opção real, são necessárias as três condições: irreversibilidade, incerteza e possibilidade de reavaliação do investimento. Irreversibilidade implica que o projeto possui uma natureza parcial ou totalmente irreversível, ou seja, não é possível recuperar todo o investimento caso ocorra uma mudança nos planos. A incerteza nos indica que os retornos futuros do investimento são imprevisíveis e o fluxo de caixa não é fixo nem conhecido. A possibilidade de reavaliação implica que existe a opção de adiar a ação para adquirir mais informações sobre o futuro. A dificuldade em atribuir valores para os parâmetros nos problemas de opções reais se dá porque os ativos geralmente ainda não são comercializados em mercados, tornando difícil o cálculo da variância, além de que, opções reais não apresentam preços de exercício pré-estabelecidos, bem como as suas datas para maturação (Pindyck, 1991; Grenadier, 2002).

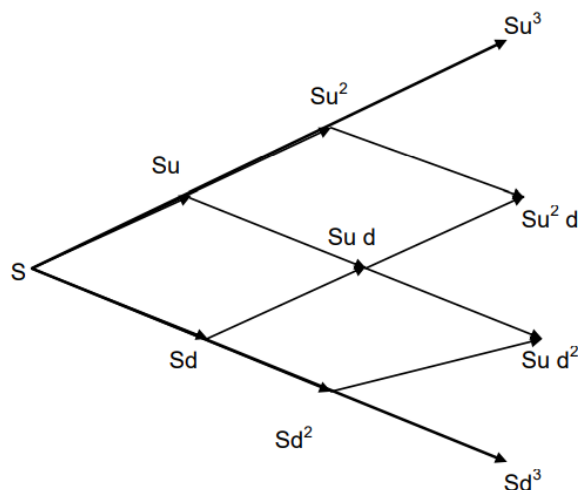
O modelo matemático de opções reais foi inicialmente introduzido pelo modelo de Black e Scholes, em 1973, e procurou incorporar na avaliação de ativos a presença de flexibilidades gerenciais, ampliando o valor das oportunidades de investimento em uma opção de compra do tipo europeia. Os autores escolheram essa opção como objeto de estudo devido às suas características específicas, sendo uma opção que pode ser exercida sobre um ativo sem envolvimento de remuneração ou dividendos. Além disso, essa opção pode ser negociada no mercado à vista, com seu preço determinado pela lei da oferta e da demanda. Esse modelo considera que o valor de um ativo segue um processo estocástico e incorpora a flexibilidade gerencial na tomada de decisão (adiar, expandir, reduzir ou abandonar o projeto) (Silva; Macedo, 2003).

Brandão e Saraiva (2007) afirmaram que o modelo de Black e Scholes (1973) deve ser aplicado para curtos períodos, necessitando constante ajuste. Como o valor da opção reflete o custo de montar uma carteira de ações equivalente, que deve replicar as futuras rentabilidades da opção, a avaliação das opções reais fundamenta-se em argumentos de equilíbrio por arbitragem, garantindo que o preço da opção reflita o custo de criar uma carteira equivalente que replique seus retornos, evitando distorções e assegurando uma precificação justa, portanto, é essencial verificar se é realmente possível construir a referida carteira (Pereira; Armanda, 2001).

No ano de 1979, Cox, Ross e Rubinstein desenvolveram o modelo binomial, tratando-se de um modelo de precificação de opções com abordagem binomial. Quando comparado com o modelo de Black e Scholes, o binomial apresentou vantagens na avaliação tanto das opções de compra quanto nas de venda, assim como para a avaliação das opções americanas e

europeias. O funcionamento do modelo binomial parte da premissa de que o preço de uma determinada ação segue um processo de multiplicação binomial em períodos discretos. Assim, ele pode ser representado por uma distribuição lognormal contínua e modelado através de uma árvore binomial discreta. A Figura 3.4 demonstra a relação do preço (S) multiplicado, a cada passo, por uma variável aleatória, passando a tomar valores distintos, representados por u e d .

Figura 3.4 - Modelo binomial proposto por Cox, Ross e Rubinstein.



Fonte: Iubel (2008), adaptado de Cox, Ross e Rubinstein (1979).

A cada período, o ativo subjacente pode assumir dois valores possíveis, u ou d , no sentido ascendente com aumento do valor ou descendente com a perda do mesmo. De acordo com Copeland e Antikarov (2002), para construir a árvore binomial, assume-se que o preço de uma ação segue um processo multiplicativo. Assim, se o preço atual da ação é S , ele pode subir para Su no próximo período com probabilidade p , ou cair para Sd com probabilidade complementar $1-p$. Os parâmetros $u-1$ e $1-d$ representam as possíveis taxas de retorno da ação, correspondendo, respectivamente, ao aumento ou à diminuição do preço no próximo período.

Uma maneira gráfica de visualizar as decisões atuais e futuras, bem como suas consequências é a utilização de uma árvore de decisão, assim como os eventos aleatórios relacionados (Joaquim, 2012). Bernstein (1997) afirmou que o risco e o tempo possuem alto grau de relação, então, ao avaliar as decisões dentro de um horizonte de tempo, é possível visualizar de forma mais clara a medida do risco. Essa ferramenta quando utilizada como complemento na análise de projetos de investimentos é bastante útil, visto que a árvore de decisão considera as decisões futuras e incorpora flexibilidade (Bish; Wang, 2004). Os procedimentos para a avaliação de opções reais a partir do modelo de árvore binomial, como proposto por Copeland e Antikarov (2002), segue quatro passos, expressos a seguir:

- Passo 1: cálculo do caso base, valor presente sem flexibilidade aplicando o modelo de avaliação dos fluxos de caixa descontados. Objetivo: cálculo do valor presente sem flexibilidade em $t=0$;
- Passo 2: modelagem da incerteza por meio de árvores de eventos. Objetivo: entender como o valor presente evolui ao longo do tempo;
- Passo 3: identificar e incorporar flexibilidade gerencial, criando uma árvore de decisões. Objetivo: analisar a árvore de eventos para identificar e incorporar flexibilidade gerencial, a fim de responder a novas informações;
- Passo 4: fazer a análise de opções reais, com objetivo de avaliar o projeto total, empregando um método algébrico simples e uma planilha eletrônica, por exemplo.

Em resumo, o modelo binomial busca inserir o projeto e seus desdobramentos dentro de uma árvore de decisão, mapeando e destacando as múltiplas alternativas motivadas por esses desdobramentos e pela incerteza. Sobre esses novos e diversos fluxos de caixa, calcula-se o valor presente líquido (VPL), ao mesmo tempo em que se verifica se o caminho escolhido atende a expectativa de rentabilidade definida pelo proprietário do capital (Brandão, 2001; Brasil *et al.*, 2007; Copeland; Antikarov, 2001; Joaquim, 2012).

No contexto florestal alguns estudos foram realizados utilizando a metodologia de opções reais, como o de Gastaldi (2012) que avaliou sob a perspectiva de decisões de investimento, o valor associado à possibilidade de antecipar ou adiar a colheita de uma floresta de eucalipto, diante das incertezas sobre o preço da madeira, foi considerado com base no corte realizado no sétimo ano. O modelo utilizado foi o binomial recombinante e os resultados indicaram que o uso de opções reais na avaliação de ativos florestais constitui uma ferramenta importante para reconhecer as especificidades da atividade florestal, uma vez que permite incorporar as incertezas inerentes ao setor e o valor da flexibilidade gerencial na tomada de decisão.

Insley (2002) utilizou a teoria de opções reais para determinar o momento ideal para a colheita de árvores, empregando programação dinâmica e técnicas numéricas para modelar diferentes processos estocásticos de preços. O estudo analisou as condições em que o tempo de colheita foi independente dos preços e considerou os efeitos de preços futuros da madeira que reverterem à média. O autor concluiu que tanto o valor da opção quanto o tempo de corte variam significativamente quando se assume a reversão à média, em contraste com o movimento browniano geométrico. Brobouski *et al.* (2004) utilizaram a teoria de opções reais na análise da

atratividade financeira de projetos florestais, com parcerias entre o produtor rural e empresa de reflorestamento, sob a vigência de contratos mínimos. Constataram que ao utilizar a teoria de opções reais, o projeto tornou-se mais flexível, permitindo que o produtor venda a madeira por um preço mínimo a partir do ano 8 até o tempo final do projeto, no entanto concluíram que a decisão de venda é mais apropriada a partir do ano 16. Frey *et al.* (2013) examinaram como a variabilidade dos retornos e a flexibilidade para alterar ou adiar decisões (valor de opção) influenciaram o potencial econômico das florestas e sistemas agroflorestais para manter terras privadas produtivas, enquanto continuam a oferecer serviços ecossistêmicos.

Rodrigues (2016) avaliou a viabilidade financeira de um investimento em concessão florestal, adotando tanto os métodos determinísticos quanto a teoria de opções reais, com a opção de abandono do investimento. A autora concluiu que os métodos determinísticos foram insuficientes para a análise financeira do investimento, com a inserção de riscos e flexibilidade, a TOR se mostrou ser uma boa ferramenta para o auxílio na tomada de decisão. Simões *et al.* (2022) analisaram a viabilidade econômica de projetos de investimento em restauração florestal, a partir da semeadura direta, por meio da abordagem de Opções Reais. Com essa metodologia, puderam constatar que projetos com essa especificidade são inviáveis economicamente, no entanto, quando adiado o dispêndio com o capital expendido da implantação do projeto de investimento do ano zero para o ano um e ponderar a possibilidade de redução em 30% da capacidade do projeto, reduz o déficit monetário em 37%. Tian, Gan e Lu (2022) avaliaram a viabilidade financeira de um sistema agroflorestal composto por árvores de álamo (*Populus* sp.) de rápido crescimento e alto rendimento, e cogumelos-de-chapéu (*Agaricus bisporus*), em Shandong, China. Foi aplicado o método tradicional do VPL e o método de opções reais considerando as opções de adiar, expandir e abandonar. Os resultados obtidos pela TOR foram significativamente maiores que os VPLs, sendo a avaliação pela TOR mais favorável financeiramente, visto que neste método foram incorporadas a incerteza e a flexibilidade gerencial.

Embora a TOR já tenha sido aplicada em diferentes contextos florestais, como exposto, observa-se uma escassez de estudos que empreguem essa abordagem para avaliar economicamente diferentes idades de desbaste em povoamentos de mogno-africano. Essa ausência é particularmente relevante, uma vez que o desbaste constitui uma das principais decisões de manejo da espécie, influenciando diretamente o crescimento das árvores remanescentes, a produção de madeira de maior valor agregado e a distribuição temporal das receitas do investimento. Dessa forma, o presente estudo contribui para o avanço do

conhecimento ao incorporar a flexibilidade gerencial na avaliação de regimes de manejo de mogno-africano, fornecendo subsídios para a definição de estratégias de desbaste mais eficientes sob condições de incerteza.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Cenários simulados para investimento em plantação de mogno-africano

A presente pesquisa para o monocultivo do mogno-africano foi simulada nas condições reais dos plantios conduzidos na Fazenda Florestas da Canastra, localizada no município de São Roque de Minas com latitude 20°14'42" e longitude 46°21'57"O, no estado de Minas Gerais, pertencente à mesorregião oeste de Minas e microrregião Piumhi. A fazenda possui uma área total de 296 ha de *Khaya grandifoliola* com diferentes talhões e idades, implantados em espaçamento 6 m x 6 m (277 árvores por hectare) e mudas seminais. Inventários florestais contínuos para o acompanhamento do crescimento são realizados desde o ano de 2011, fornecendo os dados para as simulações.

A região é caracterizada pelo clima Cwa, de acordo com a classificação de Köppen (Alvares *et al.*, 2013), ou seja, clima subtropical úmido, com invernos secos e verões quentes. As temperaturas variam entre 8,8°C na estação do inverno e 28,6°C no verão, com temperatura média de 20,6°C e pluviosidade média anual de 1390 mm. O relevo do município apresenta maior variação devido a sua maior complexidade geológica originária, com altitude de aproximadamente 819 m e com classes de solos predominantes do tipo Latossolo Vermelho-Escuro, Podzol e Cambissolo álico (Costa e Costa, 2005). Para a área de estudo, foram simulados sete regimes de manejo, diferenciados pela idade de realização do primeiro desbaste. O primeiro cenário considera a realização do desbaste aos 7 anos de idade, enquanto o último cenário estabelece o desbaste aos 13 anos, com incrementos anuais entre os regimes (Tabela 4.1). Em todos os cenários simulados, adotou-se a idade de 25 anos para o corte final. Após a realização do desbaste, foi padronizada a permanência de 150 árvores por hectare como remanescentes, conforme adotado por Ribeiro *et al.* (2018).

Tabela 4.1 - Cenários para a análise financeira em plantação florestal de *Khaya grandifoliola*.

Cenário	Descrição
C1	Desbaste aos 7 anos
C2	Desbaste aos 8 anos
C3	Desbaste aos 9 anos
C4	Desbaste aos 10 anos
C5	Desbaste aos 11 anos
C6	Desbaste aos 12 anos
C7	Desbaste aos 13 anos

Fonte: da autora (2026).

A prognose de crescimento e produção foi realizada por meio do software livre

SisMogno, desenvolvido pela Embrapa, o qual permite simular o desenvolvimento de povoamentos de mogno-africano sob diferentes condições de manejo (Oliveira *et al.*, 2019). Para a parametrização da simulação, foram utilizados dados de inventário referentes a um povoamento com densidade inicial de 277 indivíduos ha^{-1} , idade de 4 anos, área basal de 4,41 $\text{m}^2 \text{ha}^{-1}$ e índice de sítio igual a 27. Adicionalmente, foi adotado nível de homogeneidade igual a 5, correspondente à classificação de plantios com homogeneidade média, conforme critérios do software (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Interface do SisMogno e parâmetros utilizados na simulação da produção.

Fonte: da autora (2026).

4.2. Custos e receitas estimados para plantação de mogno-africano

Os custos de implantação e condução do mogno-africano foram fornecidos por pesquisa junto a produtores e atores com experiência na cultura, especialmente no estado de Minas Gerais, extraído do *Guia do Planejamento do Mogno-Africano*, elaborado pelo Viveiro Origem (2022). Tais custos contemplam as operações necessárias para a implantação e manutenção do povoamento, e estão apresentados de forma consolidada (Tabela 4.2). A partir dessas informações, foi estruturado um fluxo de caixa para o mogno-africano, considerando os diferentes regimes de manejo simulados, com adoção de desbaste do 7º ao 13º ano e com ciclo de corte final aos 25 anos.

Tabela 4.2 - Custos de implantação, manutenção, administração e colheita do projeto florestal de *Khaya grandifoliola*.

Atividade	Ano	Unidade	Custo
Implantação	0	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	12.899
Manutenção	1 a 4	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	1.150
Administração	1 a 25	R\$ ha ⁻¹ ano ⁻¹	1.150
Desbaste	A depender do cenário	R\$ m ⁻³	55
Colheita	25	R\$ m ⁻³	55

Fonte: Guia do Planejamento do Mogno-Africano, Viveiro Origem (2022).

O preço atual do metro cúbico da madeira foi obtido com base em dados publicados pela ABPMA e ajustado a partir de informações coletadas junto aos produtores da região de estudo (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Descrição dos produtos oriundos da madeira de *Khaya grandifoliola* e seu valor de venda.

Produto	Descrição (ø)	Valor de venda (R\$ m ⁻³)
P1	>35 cm	4.500
P2	25 a 35 cm	3.500
P3	18 a 25 cm	2.000
P4	8 a 18 cm	1.500
P5	<8 cm	150

Fonte: Adaptado de ABPMA (2024).

Para a madeira proveniente dos desbastes, adotou-se o preço de R\$ 150,00 por metro cúbico, considerando o cenário em que esse material é destinado integralmente à produção de biomassa energética. Tal estratégia foi adotada pela idade em que as árvores serão colhidas, consideradas jovens ainda para fins madeireiros, com diâmetro abaixo do esperado para um bom rendimento em serrarias.

Além disso, os volumes estimados para o corte final foram posteriormente ajustados para representar o rendimento em madeira serrada. Para tanto, considerou-se uma perda de 40% do volume comercial projetado, correspondente aos resíduos gerados durante o processamento da madeira em serraria. Assim, apenas 60% do volume obtido no corte final foi considerado para fins de cálculo das receitas associadas à produção de madeira serrada.

Para a incorporação da incerteza associada aos preços futuros, foi utilizada a Simulação de Monte Carlo, adotando-se uma distribuição triangular, a qual, segundo Souza (2001), é amplamente utilizada nas ciências agrárias e econômicas por sua simplicidade e por não exigir grande quantidade de dados. Além disso, Melo *et al.* (2025) também utilizaram Simulação de Monte Carlo associada à Teoria de Opções Reais para incorporar incertezas relacionadas à

produtividade, preços e custos em projetos florestais. Os autores destacam que a utilização de distribuições triangulares é adequada quando há limitação de dados históricos, permitindo representar valores mínimos, mais prováveis e máximos das variáveis analisadas. O intervalo dessa distribuição foi definido conforme adotado por Ribeiro *et al.* (2018) e representados na Tabela 4.4. A partir dessa distribuição, foram gerados cenários estocásticos ao longo do horizonte de planejamento, permitindo a análise das variáveis de incerteza.

Tabela 4.4 - Variáveis de incerteza consideradas na simulação de Monte Carlo para o projeto florestal com *Khaya grandifoliola*.

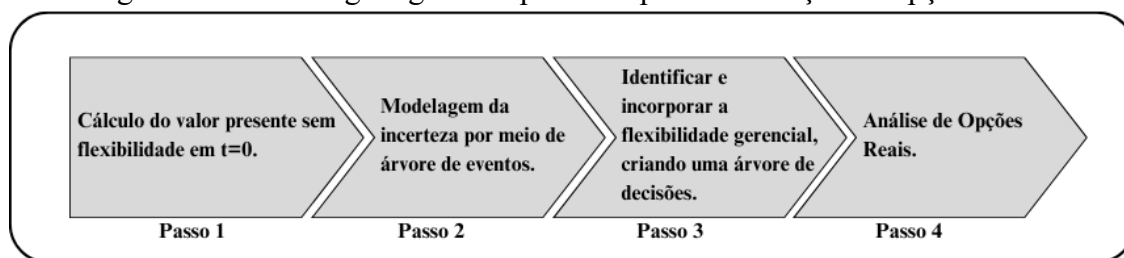
Variável de incerteza	Variação
Implantação	±10%
Taxa de juros	±20%
Produção da floresta	±30%
Preço de venda do produto	±50%
Custo de colheita e desbaste	±40%

Fonte: da autora (2026).

4.3. Análise financeira

Com o intuito de incorporar a incerteza e a flexibilidade nas análises financeiras, foi utilizada a Análise de Opções Reais. De acordo com Copeland e Antikarov (2002), o processo para a avaliação de opções reais pode ser representado em quatro etapas (Figura 4.2), sendo os passos explicados nos subtópicos seguintes.

Figura 4.2 - Abordagem geral do processo para a avaliação de opções reais.



Fonte: Adaptado de Copeland e Antikarov (2002).

4.3.1. Cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) sem flexibilidade (Passo 1)

Antes de adentrar no modelo de opções reais em si, o primeiro passo para o processo ilustrado na Figura 4.2, é o cálculo do valor presente sem flexibilidade, no tempo presente ($t=0$). Para isso, calcula-se o VPL de forma padrão, conforme proposto por Rezende e Oliveira (2013) (Eq. 4.1).

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (\text{Eq. 4.1})$$

em que:

Cj = custo ao final do ano j ;

Rj = receita ao final do ano j ;

i = taxa de juros anual;

n = idade do investimento, em anos.

A taxa mínima de atratividade, ou seja, a taxa de juros adotada neste estudo foi baseada no Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (Pronamp), conforme divulgado pelo BNDES (2026), sendo considerada uma taxa prefixada de 10% ao ano, vigente no período de elaboração deste trabalho.

4.3.2. Modelagem da incerteza por meio de árvore de eventos (Passo 2)

Após o cálculo do VPL sem flexibilidade, foi então realizada a construção da árvore de eventos, no entanto, neste passo não foram incorporadas, ainda, as decisões gerenciais que serão tomadas. O modelo adotado para a construção da árvore de eventos foi a árvore binomial, conforme proposto por Cox, Ross e Rubinstein (1979). Esse modelo possui uma abordagem mais simples e direta em relação à precificação de opções, podendo lidar tanto com opções europeias quanto americanas (Duku-Kaakyire; Nanang, 2004).

Em cada passo da árvore, assume-se que o valor do investimento poderá subir (u) ou descer (d), esses valores foram calculados utilizando a volatilidade (σ) e o tempo (t) até o momento final da árvore. Na árvore são representados todos os caminhos possíveis para o valor do ativo durante a rotação da opção e, ao final da árvore todos os valores finais possíveis do investimento são determinados (Duku-Kaakyire; Nanang, 2004; Tian; Gan; Lu, 2023).

A volatilidade aqui representada por σ , nos indica o desvio padrão dos retornos do projeto, que foi obtida a partir do resultado das Simulações de Monte Carlo (SMC) aplicadas ao fluxo de caixa descontado. Para cada iteração da simulação, foi calculada a variável de previsão z , conforme metodologia apresentada por Copeland e Antikarov (2001) (Eq. 4.2). Para isso, realizou-se 10.000 iterações e dentre as simulações geradas, foram considerados apenas os valores positivos, uma vez que o cálculo do logaritmo não é definido para valores negativos.

$$z = \ln \left(\frac{VP_1}{VP_0} \right) \quad (\text{Eq. 4.2})$$

em que:

VP_0 = Valor Presente do projeto no período inicial,

VP₁ = Valor Presente do projeto recalculado a partir de t = 1.

O desvio padrão da distribuição de z ao longo das simulações representa a volatilidade σ do projeto, que foi utilizada para o cálculo dos movimentos ascendentes (u) (Eq. 4.3) e descendentes (d) (Eq. 4.4).

$$u = e^{(\sigma\sqrt{\Delta t})} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = \frac{1}{u} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

em que:

u = taxa contínua de crescimento do preço do ativo (movimento de subida),

d = taxa contínua de redução do preço do ativo (movimento de descida),

σ = volatilidade, e

Δt = intervalo de tempo de um nó para o outro.

Para calcular o VPL sem flexibilidade em cada estágio do projeto, foi empregado um processo multiplicativo, utilizando os fatores u e d , previamente determinados. O VPL inicial (V_0) serviu como base para os cálculos subsequentes. A partir do nó inicial, o VPL em cada nó da árvore binomial foi obtido multiplicando-se o VPL do nó anterior por u em movimentos ascendentes (representando cenários favoráveis) e por d em movimentos descendentes (representando cenários desfavoráveis). Esse processo iterativo foi repetido até atingir as ramificações finais da árvore. Além disso, foram estimadas as probabilidades neutras ao risco p e a sua complementar ($1-p$) dos movimentos ascendentes e descendentes, conforme Copeland e Antikarov (2001) (Eq. 4.5).

$$p = \frac{(1 + r_f) - d}{u - d} \quad (\text{Eq. 4.5})$$

em que:

p = probabilidade neutra ao risco,

u = movimento ascendente do VPL,

r = taxa de interesse livre de risco, e

d = movimento descendente do VPL.

A volatilidade do projeto e as Simulações de Monte Carlo (SMC) foram calculadas no software R (R Core Team, 2026), com auxílio dos pacotes *readxl* (Wickham; Bryan, 2023), *dplyr* (Wickham et al., 2023), *purrr* (Wickham; Henry, 2023) e *janitor* (Firke, 2024) para importação, organização, manipulação e processamento dos dados. Os parâmetros da árvore

binomial, incluindo os fatores de subida (u), descida (d) e as probabilidades associadas, bem como a construção das árvores de eventos e de decisão, foram obtidos por cálculos realizados em planilha eletrônica.

4.3.3. Identificação das opções e incorporação da flexibilidade (Passo 3)

A opção considerada para os projetos foi a de abandono, podendo ser exercida em situações nas quais o projeto se torna economicamente inviável. Essa opção, segundo Monteiro (2003), trata-se de uma opção de venda americana, permitindo o abandono do projeto de forma definitiva e realizando a venda dos ativos investidos. Esta opção foi analisada em todos os cenários de investimentos propostos e tal opção seria exercida quando o Valor Presente Líquido do projeto em determinado nó da árvore fosse inferior ao seu preço de venda correspondente.

No presente estudo, a opção de abandono foi utilizada como mecanismo para mensurar o valor da flexibilidade gerencial diante das incertezas do projeto. Dessa forma, seu objetivo não é sugerir que o povoamento seja efetivamente abandonado nos anos de desbaste simulados, mas sim avaliar qual seria o valor econômico associado à possibilidade de interromper o investimento caso a continuidade do projeto se tornasse menos vantajosa do que a recuperação parcial do capital investido.

Tendo isso em vista, como o projeto florestal é parcialmente irreversível, ou seja, nem todo capital investido pode ser recuperado caso se realize a venda dos ativos já investidos, considerou-se que o preço de venda corresponderia a 80% dos investimentos florestais acumulados até o período em análise, conforme proposto por Albuquerque (2005). Dessa forma, o valor de abandono X_t varia ao longo do tempo conforme os custos acumulados do projeto.

4.3.4. Análise das Opções Reais (Passo 4)

A partir deste ponto, os valores de cada opção foram calculados de forma regressiva, do final até o início da árvore. Em cada etapa esse valor foi utilizado para o cálculo da opção na etapa anterior da árvore. Para isso, nesse processo utilizou-se a avaliação neutra ao risco, baseando-se nas probabilidades de o valor do ativo subir (u) ou descer (d) (Duku-Kaakyire; Nanang, 2004; Tian; Gan; Lu, 2023).

Com a escolha da opção de abandono, para determinar o valor do projeto com flexibilidade, foi utilizada a abordagem de cálculo remissivo, partindo do último período e retrocedendo na árvore binomial. No período final, o valor em cada nó terminal foi determinado pela condição de contorno, comparando o Valor Presente Líquido do projeto no nó em análise com o preço de venda (Eq. 4.6).

$$Retorno = Max(V_t, X) \quad (Eq. 4.6)$$

em que:

V_t : Valor Presente Líquido do projeto no nó, e

X : preço de venda do projeto.

Para os nós intermediários, o valor foi obtido pelo desconto regressivo da média ponderada pelas probabilidades neutras ao risco dos nós subsequentes, conforme Copeland e Antikarov (2001) e descrito na Equação 4.7.

$$V_t = Max\left(\left[\frac{(p \cdot V_u + (1-p) \cdot V_d)}{1 + r_f}\right], X\right) \quad (Eq. 4.7)$$

em que:

V_u e V_d = valores do projeto nos nós de subida e descida do período seguinte, respectivamente;

r = taxa livre de risco;

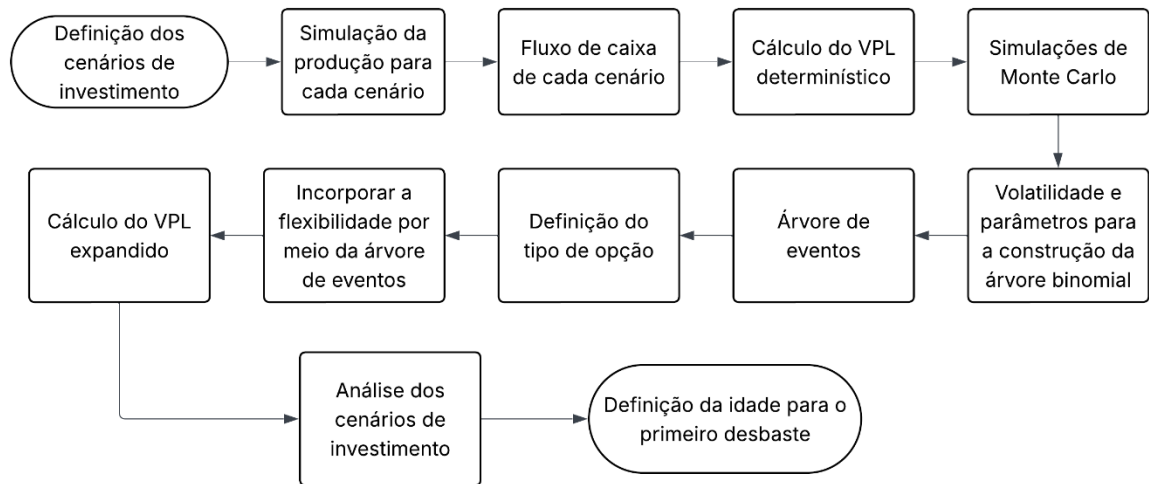
p = probabilidade neutra ao risco, e

X = preço de venda do projeto.

A decisão de exercer a opção de flexibilidade em cada nó da árvore binomial foi baseada na comparação entre o valor presente do projeto (V_t) calculado naquele nó e o preço de exercício da opção (X), que representa o preço de venda do projeto. A regra de decisão adotada foi a seguinte: se $V_t < X$, então a opção deve ser exercida; caso contrário ($V_t \geq X$), a opção não deve ser exercida. Em outras palavras, a opção é exercida apenas quando o valor presente do projeto é inferior ao seu preço de venda, garantindo que a decisão seja economicamente vantajosa.

Após calcular os VPLs com flexibilidade em cada nó, comparou-se cada valor com o preço de venda do projeto (X) para decidir sobre o exercício da opção. Repetindo esse processo para todos os nós até o nó inicial, foi obtido o VPL com flexibilidade do projeto. Finalmente, o valor da opção real de abandono foi calculado como a diferença entre o VPL com flexibilidade (expandido) e o VPL sem flexibilidade (estático). A Figura 4.3 apresenta as etapas empregadas para a avaliação dos cenários e identificação da idade ótima de desbaste das plantações de mogno-africano.

Figura 4.3 – Fluxograma da sequência metodológica utilizada para avaliação dos cenários de desbaste.



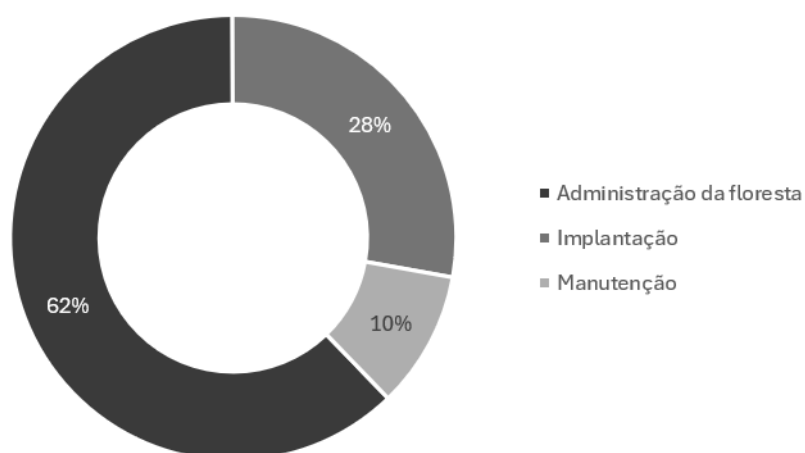
Fonte: da autora (2026).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Descrição dos custos e receitas

As proporções dos custos estimados para a plantação de mogno-africano são descritas no Gráfico 5.1. A predominância dos custos de administração da floresta decorre de sua ocorrência contínua ao longo de todo o ciclo. Embora os custos anuais sejam baixos quando comparado aos custos de implantação, sua ocorrência ao longo do horizonte de planejamento resulta na maior participação relativa nos custos totais do projeto.

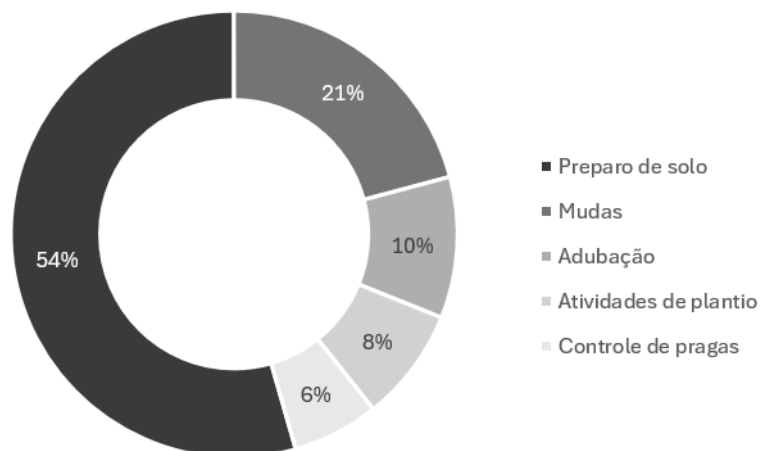
Gráfico 5.1 – Relação dos custos para uma plantação de mogno-africano.



Fonte: Guia do Planejamento do Mogno-Africano, Viveiro Origem (2022).

Os custos de implantação do mogno-africano concentram-se no ano zero, com destaque para o preparo do solo representando 54% do total. A aquisição de mudas constitui o segundo maior componente do investimento inicial (21%), refletindo elevado valor comercial de mudas, que podem variar entre R\$4,50 a R\$10,00 por unidade (Santos, *et al.*, 2019; Viveiro Origem, 2022), tornando-se uma das principais parcelas do investimento inicial (Gráfico 5.2).

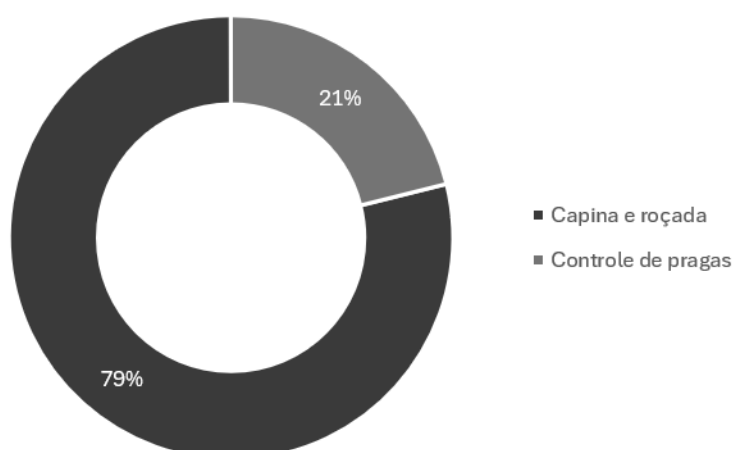
Gráfico 5.2 - Distribuição dos custos de implantação de uma plantação de mogno-africano.



Fonte: Guia do Planejamento do Mogno-Africano, Viveiro Origem (2022).

Os custos de manutenção apresentaram menor representatividade no custo do projeto, concentrando-se principalmente nas atividades de capina e roçada. A realização dessas operações está relacionada à necessidade de controle da competição por luz, água e nutrientes durante os primeiros anos de desenvolvimento do plantio (Gráfico 5.3).

Gráfico 5.3 - Distribuição dos custos de implantação de uma plantação de mogno-africano.

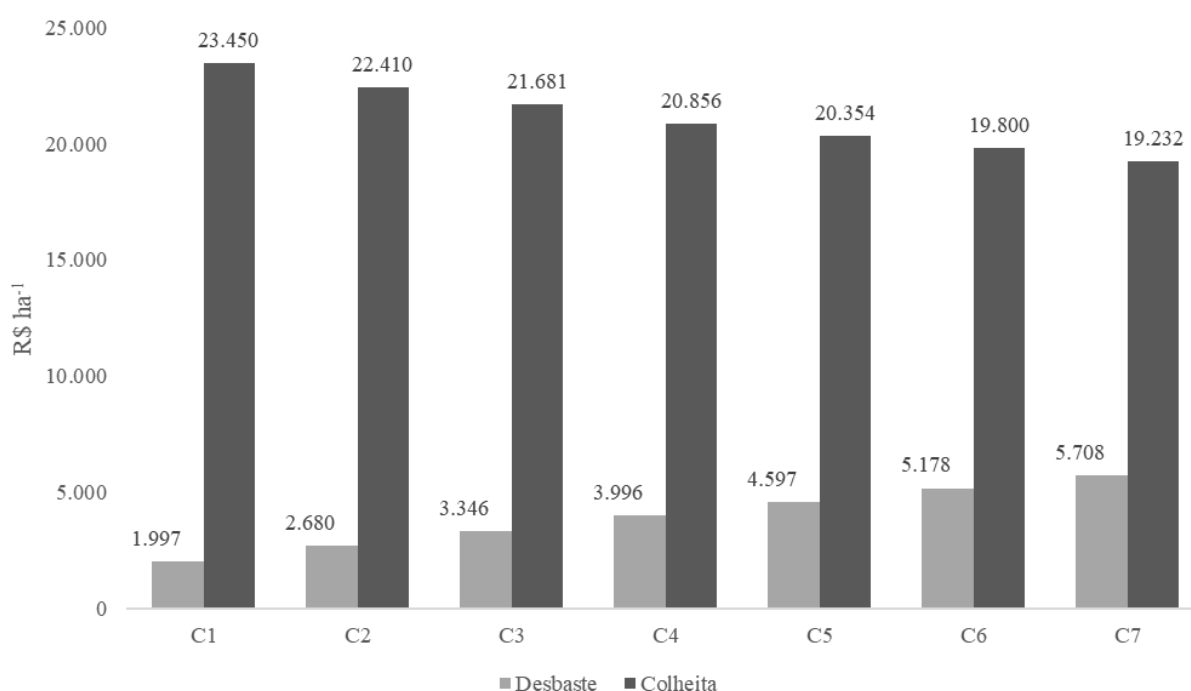


Fonte: Guia do Planejamento do Mogno-Africano, Viveiro Origem (2022).

Em relação aos cenários avaliados, a principal diferença está na idade de realização do desbaste. Observa-se que, quanto mais tardio o desbaste, maior é o custo dessa operação, visto que há um maior volume de madeira sendo removido, bem como maior porte da floresta. Por

outro lado, os custos de colheita final apresentam leve redução à medida que o desbaste é postergado, podendo ser justificado pela ocorrência dos desbastes mais tardios, causando a redução do volume remanescente para o corte final. No geral, o custo total (desbaste + colheita) aumenta gradualmente do cenário C1 ao C7, indicando que a postergação do desbaste eleva o custo operacional ao longo do ciclo. Os custos de desbaste e colheita por hectare em cada cenário avaliado são representados pelo Gráfico 5.4.

Gráfico 5.4 - Custos de desbaste e colheita nos diferentes cenários simulados para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.



Fonte: da autora (2026).

É notório que operações de desbaste envolvem elevados custos operacionais, especialmente em cenários de baixa produtividade ou madeira de pequenos diâmetros, tornando essencial a busca por regimes de manejo economicamente eficientes. Chang *et al.* (2023) ressaltam que a viabilidade financeira de operações de desbaste depende diretamente do equilíbrio entre produtividade, custos operacionais e valor dos produtos obtidos, sendo a definição do momento de realização do desbaste um dos principais fatores para otimização econômica do manejo florestal.

As receitas obtidas por hectare em cada cenário também variam conforme o volume de madeira obtido por produto (Tabela 5.1), tais valores foram oriundos da simulação de crescimento e produção realizada no SisMogno.

Tabela 5.1 - Receitas obtidas para cada tipo de operação, produto e cenários de desbaste simulados para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

Itens de receita	Receita (R\$ ha ⁻¹)						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Desbaste	5.445	7.308	9.126	10.899	12.537	14.121	15.568
Corte final	1.886.313	1.799.550	1.740.009	1.669.818	1.629.147	1.582.155	1.536.054
P1	1.837.890	1.747.440	1.688.850	1.611.900	1.576.800	1.524.960	1.482.300
P2	37.170	38.640	37.590	43.470	37.800	42.210	38.010
P3	6.600	8.520	8.880	10.200	9.120	10.440	11.640
P4	4.500	4.860	4.590	4.140	5.310	4.410	3.960
P5	153	90	99	108	117	135	144

Fonte: da autora (2026).

As receitas por hectare variam entre os cenários em função da idade do desbaste. Observa-se que, quanto mais tardio o desbaste, maior é a receita obtida nessa operação, devido ao maior crescimento das árvores. Em contrapartida, as receitas da colheita final aos 25 anos apresentam leve redução nos cenários com desbastes mais tardios, em razão da maior retirada de volume ao longo do ciclo. De forma geral, a colheita final permanece como a principal fonte de receita em todos os cenários.

Esse comportamento reforça a influência do regime de desbaste sobre a distribuição da produção e das receitas ao longo da rotação. Dosumu *et al.* (2024) ao avaliarem diferentes estratégias de desbaste em povoamentos mistos, observaram que intervenções que reduzem a competição entre árvores podem aumentar a produtividade e melhorar o desempenho econômico dos povoamentos. Os autores destacam que a definição da estratégia de desbaste afeta diretamente o crescimento das árvores remanescentes e a rentabilidade do empreendimento florestal. De forma semelhante, os resultados obtidos neste estudo evidenciam que alterações na idade de realização do desbaste modificam a distribuição das receitas entre as operações intermediárias e o corte final, influenciando o desempenho econômico dos diferentes cenários.

5.2. Aplicação da Teoria de Opções Reais

5.2.1. Cálculo do VPL determinístico

Inicialmente, foi realizado o cálculo do VPL de forma determinística para cada cenário analisado, considerando os fluxos de caixa projetados ao longo do ciclo produtivo de 25 anos. Os resultados dos VPL's para cada cenário são representados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Valor presente líquido (VPL) de cada cenário de desbaste simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

VPL (R\$ ha ⁻¹)	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
	146.721	139.199	134.063	127.871	124.285	120.066	115.869

Fonte: da autora (2026).

Os valores de VPL obtidos para os diferentes cenários indicam que todos os projetos são economicamente viáveis, uma vez que apresentam resultados positivos. Observa-se, entretanto, uma tendência de redução do VPL à medida que o desbaste é realizado em idades mais avançadas, passando de R\$ 146.721,00 ha⁻¹ no cenário 1 para R\$ 115.869,00 ha⁻¹ no cenário 7. Esse comportamento pode ser explicado pela menor antecipação das receitas nos cenários com desbaste tardio, o que reduz seu valor presente devido ao efeito do desconto ao longo do tempo. Embora o desbaste mais tardio possa gerar maior volume e valor bruto de madeira, a postergação dessas receitas diminui seu impacto econômico quando trazido a valor presente.

Além da antecipação das receitas, o comportamento observado nos cenários analisados também pode estar relacionado à dinâmica de crescimento do povoamento ao longo do tempo. Os desbastes têm como objetivo estimular o crescimento das árvores remanescentes, redistribuindo o potencial produtivo do povoamento para um menor número de indivíduos (Hawley; Smith, 1972). Em cenários com desbastes mais tardios, as árvores permanecem por mais tempo sob maior competição por luz, água e nutrientes, o que pode limitar o crescimento diamétrico dos indivíduos remanescentes (Dias *et al.*, 2005; Hawthorne *et al.*, 2013; Leite *et al.*, 2005; Monte *et al.*, 2009). Para plantios destinados à produção de madeira nobre e serraria, o desbaste precoce tende a favorecer o desenvolvimento de árvores com maiores dimensões e melhor qualidade da madeira (Carneiro *et al.*, 2012; Glencross *et al.*, 2014; Murta Júnior, 2018; Ramos *et al.*, 2014).

Os valores de VPL encontrados neste estudo estão em concordância com resultados observados por Ribeiro *et al.* (2018) em plantios de mogno-africano submetidos a diferentes regimes de manejo e desbaste. Os autores verificaram que todos os cenários avaliados apresentaram viabilidade econômica, com valores positivos de VPL variando entre R\$ 25.053,00 e R\$ 125.780,00 ha⁻¹, destacando que os regimes com realização de desbastes apresentaram melhor desempenho econômico em comparação aos povoamentos não desbastados. Esses resultados reforçam a importância da definição adequada para a maximização do retorno econômico em povoamentos destinados à produção de madeira com alto valor agregado. Outros valores de VPL reportados na literatura para plantios de mogno-

africano apresentam elevada variabilidade, oscilando entre R\$ 11.297,00 ha⁻¹ (Pierozan Junior *et al.*, 2018) a R\$ 291.583,00 ha⁻¹ (Oliveira *et al.*, 2017) (Tabela 5.3). Essa ampla dispersão evidencia a forte influência das premissas adotadas em cada estudo, incluindo espaçamento, idade de corte, produtividade esperada, preços da madeira, taxa de desconto e estrutura de custos. Dessa forma, comparações diretas entre os valores absolutos de VPL devem ser realizadas com cautela.

Tabela 5.3 – Valores de VPL encontrados na literatura para diferentes estudos envolvendo o mogno-africano.

Autores	Título	Espaçamento (m)	Idade de corte (anos)	VPL (R\$ ha)
PIEROZAN JUNIOR, <i>et al.</i> (2018)	Viabilidade econômica da produção de <i>Khaya ivorensis</i> em pequena propriedade no Paraná	5x5	20	11.297
REZENDE, <i>et al.</i> (2018)	Análise de risco e viabilidade econômica do plantio de mogno africano no sul de Minas Gerais	4x4	12	108.298
			15	101.066
			18	89.948
			12 e 18	111.571
OLIVEIRA, <i>et al.</i> (2017)	Análise econômica da implantação de mogno-africano no município de São Miguel do Passa Quatro-GO	3x2	21	291.583
GOMES (2010)	Análise da viabilidade técnica, econômico-financeiro para implantação da cultura do mogno-africano (<i>Khaya ivorensis</i> A. Chev.) na região oeste de Minas Gerais.	5x5	8 e 10	96.400
GRUPIONI, <i>et al.</i> (2018)	Indicadores econômicos na implantação do cultivo de mogno- africano no município de Cristalina-GO	3x2	21	261.749

Fonte: da autora (2026).

Dessa forma, sob a ótica determinística, os resultados indicam que a realização de desbastes em idades mais precoces tende a ser mais atrativa economicamente. No entanto, essa análise não considera as incertezas e a flexibilidade gerencial ao longo do tempo. Os valores de VPL foram considerados como o valor do ativo subjacente inicial na construção da árvore de

eventos.

5.2.2. Árvore de eventos

A partir da volatilidade estimada (σ), que representa a variabilidade dos retornos do projeto, foram determinados os parâmetros da árvore binomial, sendo u o fator de subida, d o fator de descida e p a probabilidade neutra ao risco para todos os cenários de desbaste avaliados (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 - Parâmetros de entrada da árvore de eventos para cada cenário de desbaste simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

Parâmetro	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
σ	0,3016	0,2964	0,2983	0,3019	0,3005	0,2989	0,3012
u	1,3520	1,3450	1,3476	1,3525	1,3505	1,3484	1,3514
d	0,7396	0,7435	0,7420	0,7394	0,7405	0,7416	0,7399
p	0,5884	0,5927	0,5911	0,5882	0,5894	0,5906	0,5888
$p-1$	0,4116	0,4073	0,4089	0,4118	0,4106	0,4094	0,4112

Fonte: da autora (2026).

Melo *et al.* (2025) também utilizaram Simulação de Monte Carlo associada à Teoria de Opções Reais para incorporar incertezas relacionadas à produtividade, preços e custos na análise do ciclo de vida da produção de eucalipto em uma empresa florestal brasileira. Os autores destacam que a utilização de distribuições triangulares é adequada quando há limitação de dados históricos, permitindo representar valores mínimos, mais prováveis e máximos das variáveis analisadas.

Para a construção da árvore de eventos, optou-se pela utilização da volatilidade do VPL, uma vez que os fluxos de caixa iniciais do projeto são negativos, impossibilitando o cálculo da taxa de retorno. Assim, a adoção da volatilidade do VPL permite contornar essa limitação e representar de forma mais consistente a incerteza associada ao projeto ao longo do tempo (Joaquim, 2012). No entanto, em projetos com geração de receita nos períodos iniciais, como em campos de exploração de petróleo, é comum a utilização da volatilidade da taxa de retorno (Brandão, 2010; Dezen, 2001; Dias, 2005; Joaquim, 2012; Mascarenas Filho, 2003).

As árvores de eventos para cada cenário analisado são apresentadas nas Figuras 5.1 a 5.7. Conforme observado, os valores máximos de VPL expandido que o projeto pode atingir por hectare em cada cenário (C1 a C7) são, respectivamente, R\$ 276.252.511,00, R\$ 230.150.298,00, R\$ 232.560.350,00, R\$ 242.891.672,00, R\$ 227.454.240,00, R\$ 211.147.486,00 e R\$ 215.730.032. Entretanto, esses valores representam resultados extremos da simulação, assim, não devem ser interpretados como valores reais do projeto, mas apenas

como uma indicação da variação possível sob condições de incerteza.

Valores extremos também foram relatados por Sousa Neto, Oliveira e Bergamini Júnior (2008) e Joaquim (2012), nos quais também foram identificados valores extremos e pouco representativos da realidade dos setores analisados. No entanto, os valores mais prováveis tendem a se concentrar em torno da média, sem atingir os extremos da árvore (Copeland & Antikarov, 2001).

Figura 5.1 - Árvore de eventos do cenário 1 (desbaste aos 7 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									276.252.511
																									204.321.338
																									151.119.745
																									111.770.888
																									82.667.764
																									61.142.568
																									45.222.146
																									33.447.114
																									24.738.089
																									18.296.737
																									13.532.596
																									10.008.952
																									7.402.801
																									5.475.245
																									4.049.590
																									2.995.150
																									2.215.267
																									1.638.451
																									1.211.828
																									896.290
																									662.912
																									490.302
																									362.636
																									268.212
																									198.375
																									146.721
																									108.518
																									80.262
																									59.363
																									43.906
																									32.474
																									24.018
																									17.764
																									13.139
																									9.718
																									7.187
																									5.316
																									3.932
																									2.908
																									2.151
																									1.591
																									1.177
																									870
																									644
																									476
																									352
																									260
																									193
																									142
																									105
																									78

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.3 - Árvore de eventos do cenário 3 (desbaste aos 9 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									232.560.350
																									172.570.515
																									128.055.289
																									95.022.936
																									70.511.405
																									52.322.718
																									38.825.872
																									28.810.589
																									21.378.787
																									15.864.047
																									11.771.855
																									8.735.260
																									6.481.966
																									4.809.918
																									3.569.181
																									2.648.497
																									1.965.307
																									1.458.349
																									1.082.162
																									803.014
																									595.874
																									442.166
																									328.107
																									243.471
																									180.667
																									134.063
																									99.481
																									73.819
																									54.777
																									40.647
																									30.162
																									22.382
																									16.608
																									12.324
																									9.145
																									6.786
																									5.036
																									3.737
																									2.773
																									2.058
																									1.527
																									1.133
																									841
																									624
																									463
																									344
																									255
																									189
																									140
																									104
																									77

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.4 - Árvore de eventos do cenário 4 (desbaste aos 10 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

[illegible]

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.5 - Árvore de eventos do cenário 5 (desbaste aos 11 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									227.454.240
																									168.420.529
																									124.708.490
																									92.341.518
																									68.375.104
																									50.628.958
																									37.488.666
																									27.758.818
																									20.554.266
																									15.219.590
																									11.269.482
																									8.344.589
																									6.178.826
																									4.575.167
																									3.387.723
																									2.508.470
																									1.857.419
																									1.375.343
																									1.018.385
																									754.072
																									558.359
																									413.442
																									306.137
																									226.682
																									167.849
																									124.285
																									92.028
																									68.143
																									50.457
																									37.361
																									27.665
																									20.484
																									15.168
																									11.231
																									8.316
																									6.158
																									4.560
																									3.376
																									2.500
																									1.851
																									1.371
																									1.015
																									752
																									556
																									412
																									305
																									226
																									167
																									124
																									92
																									68

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.6 - Árvore de eventos do cenário 6 (desbaste aos 12 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									211.147.486
																									156.595.484
																									116.137.521
																									86.132.266
																									63.879.159
																									47.375.358
																									35.135.475
																									26.057.884
																									19.325.577
																									14.332.626
																									10.629.653
																									7.883.379
																									5.846.632
																									4.336.098
																									3.215.825
																									2.384.985
																									1.768.801
																									1.311.814
																									972.894
																									721.538
																									535.121
																									396.868
																									294.333
																									218.289
																									161.892
																									120.066
																									89.046
																									66.040
																									48.978
																									36.324
																									26.939
																									19.979
																									14.817
																									10.989
																									8.150
																									6.044
																									4.483
																									3.325
																									2.466
																									1.829
																									1.356
																									1.006
																									746
																									553
																									410
																									304
																									226
																									167
																									124
																									92
																									68

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.7 - Árvore de eventos do cenário 7 (desbaste aos 13 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									215.730.032
																									159.629.428
																									118.117.789
																									87.401.253
																									64.672.554
																									47.854.454
																									35.409.901
																									26.201.555
																									19.387.840
																									14.346.031
																									10.615.345
																									7.854.824
																									5.812.177
																									4.300.720
																									3.182.318
																									2.354.756
																									1.742.401
																									954.010
																									705.920
																									522.345
																									386.509
																									285.998
																									211.624
																									156.591
																									115.870
																									85.738
																									63.442
																									46.944
																									34.736
																									25.703
																									19.019
																									14.073
																									10.413
																									7.705
																									5.702
																									4.219
																									3.122
																									2.310
																									1.709
																									1.265
																									936
																									692
																									512
																									379
																									281
																									208
																									154
																									114
																									84
																									62

Fonte: da autora (2026).

Conforme apontado por Copeland e Antikarov (2001), uma forma prática de verificar a consistência da árvore de eventos é observar a repetição dos valores ao longo de um mesmo alinhamento. Nas árvores geradas para os cenários analisados, observa-se que os valores iniciais de R\$ 146.721,00, R\$ 139.199,00, R\$ 134.063,00, R\$ 127.871,00, R\$ 124.285,00, R\$ 120.066,00 e R\$ 115.870,00 permanecem constantes ao longo da linha central das árvores (Figuras 5.1 a 5.7), evidenciando que esses nós não sofrem influência da volatilidade e confirmando a consistência dos resultados obtidos, sendo esses valores robustos na análise e podendo orientar a tomada de decisão.

5.2.3. Opção de abandono

Com base na estrutura da opção de abandono adotada, foram determinados os valores de exercício ao longo do tempo, correspondentes a 80% dos custos acumulados do projeto em cada período. A evolução desses valores, em R\$ ha⁻¹, que definem o limite inferior de decisão na árvore de eventos é apresentada na Tabela 5.5. Na etapa seguinte da análise, esses valores foram comparados aos valores do projeto obtidos na árvore de eventos, nó a nó, permitindo identificar os momentos em que o abandono se torna economicamente mais vantajoso do que a continuidade do investimento. Dessa forma, o valor de abandono passa a representar o limite mínimo de valor do projeto, sendo exercido sempre que o valor do ativo subjacente for inferior ao valor de venda dos ativos acumulados até aquele período.

Tabela 5.5 - Valor de abandono para cada ano de projeto nos cenários de desbaste simulados para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

Ano	Valor de abandono (R\$ ha ⁻¹)						
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
0	10.319	10.319	10.319	10.319	10.319	10.319	10.319
1	12.159	12.159	12.159	12.159	12.159	12.159	12.159
2	13.999	13.999	13.999	13.999	13.999	13.999	13.999
3	15.839	15.839	15.839	15.839	15.839	15.839	15.839
4	17.679	17.679	17.679	17.679	17.679	17.679	17.679
5	18.599	18.599	18.599	18.599	18.599	18.599	18.599
6	19.519	19.519	19.519	19.519	19.519	19.519	19.519
7	22.036	20.439	20.439	20.439	20.439	20.439	20.439
8	22.956	23.503	21.359	21.359	21.359	21.359	21.359
9	23.876	24.423	24.956	22.279	22.279	22.279	22.279
10	24.796	25.343	25.876	26.396	23.199	23.199	23.199
11	25.716	26.263	26.796	27.316	27.797	24.119	24.119
12	26.636	27.183	27.716	28.236	28.717	29.181	25.039
13	27.556	28.103	28.636	29.156	29.637	30.101	30.526
14	28.476	29.023	29.556	30.076	30.557	31.021	31.446
15	29.396	29.943	30.476	30.996	31.477	31.941	32.366
16	30.316	30.863	31.396	31.916	32.397	32.861	33.286
17	31.236	31.783	32.316	32.836	33.317	33.781	34.206
18	32.156	32.703	33.236	33.756	34.237	34.701	35.126
19	33.076	33.623	34.156	34.676	35.157	35.621	36.046
20	33.996	34.543	35.076	35.596	36.077	36.541	36.966
21	34.916	35.463	35.996	36.516	36.997	37.461	37.886
22	35.836	36.383	36.916	37.436	37.917	38.381	38.806
23	36.756	37.303	37.836	38.356	38.837	39.301	39.726
24	37.676	38.223	38.756	39.276	39.757	40.221	40.646
25	57.356	57.071	57.021	56.881	56.960	56.981	56.952

Fonte: da autora (2026).

Observa-se ainda que os valores de abandono aumentam ao longo do tempo em função do acúmulo dos investimentos realizados no projeto. Até o sexto ano, os cenários apresentam valores idênticos, uma vez que possuem a mesma estrutura de custos. As diferenças passam a ocorrer a partir das idades de desbaste, refletindo as particularidades de cada regime de manejo avaliado e o impacto nos custos e receitas do projeto.

5.2.4. Análise das Opções Reais

Os valores de abandono foram comparados, nó a nó, com os valores de decisão. A análise nó a nó sugere que a viabilidade do projeto está associada à ocorrência de cenários

favoráveis, caracterizados por movimentos ascendentes das variáveis. Em cenários menos favoráveis, a opção de abandono tende a ser exercida, como são apresentados nas Figuras 5.8 a 5.14, sendo que os valores tachados de vermelho representam os nós onde a opção foi exercida.

Figura 5.8 - Árvore de eventos expandida do cenário 1 (desbaste aos 7 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

[illegible]

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.9 - Árvore de eventos expandida do cenário 2 (desbaste aos 8 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									230.150.298
																								171.110.447	
																							127.215.934	127.215.934	
																						94.581.565	94.581.565		
																					70.318.805	70.318.805	70.318.805		
																					52.280.107	52.280.107	52.280.107		
																					38.868.829	38.868.829	38.868.829		
																					28.897.910	28.897.910	28.897.910		
																					21.484.805	21.484.805	21.484.805		
																					15.973.365	15.973.365	15.973.365		
																					11.875.760	11.875.760	11.875.760		
																					8.829.302	8.829.302	8.829.302		
																					6.564.345	6.564.345	6.564.345		
																					4.880.410	4.880.410	4.880.410		
																					3.628.452	3.628.452	3.628.452		
																					2.697.654	2.697.654	2.697.654		
																					2.005.632	2.005.632	2.005.632		
																					1.491.133	1.491.133	1.491.133		
																					1.108.618	1.108.618	1.108.618		
																					824.230	824.230	824.230		
																					612.798	612.798	612.798		
																					455.610	455.610	455.610		
																					338.753	338.753	338.753		
																					251.885	251.885	251.885		
																					187.320	187.320	187.320		
																					139.342	139.342	139.342		
																					103.744	103.744	103.744		
																					77.385	77.385	77.385		
																					57.969	57.969	57.969		

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.10 - Árvore de eventos expandida do cenário 3 (desbaste aos 9 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
																									232.560.350
																									172.570.515
																									128.055.289
																						95.022.936			128.055.289
																					70.511.405				70.511.405
																					52.322.718				52.322.718
																					38.825.872				38.825.872
																					28.810.589				28.810.589
																					21.378.787				21.378.787
																					15.864.047				15.864.047
																					11.771.855				11.771.855
																					8.735.260				8.735.260
																					6.481.966				6.481.966
																					4.809.918				4.809.918
																					3.569.181				3.569.181
																					2.648.497				2.648.497
																					1.965.307				1.965.307
																					1.458.349				1.458.349
																					1.082.164				1.082.164
																					803.019				803.019
																					595.885				595.885
																					442.189				442.189
																					328.155				328.155
																					243.562				243.562
																					180.844				180.844
																					100.024				100.024
																					74.792				74.792
																					33.756				33.756
																					23.166				23.166
																					22.687				22.687
																					24.956				24.956
																					25.876				25.876
																					26.796				26.796
																					27.716				27.716
																					28.636				28.636
																					29.556				29.556
																					30.476				30.476
																					31.396				31.396
																					32.316				32.316
																					33.236				33.236
																					34.156				34.156
																					35.406				35.406
																					36.326				36.326
																					37.246				37.246
																					38.166				38.166
																					39.086				39.086

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.11 - Árvore de eventos expandida do cenário 4 (desbaste aos 10 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

[illegible]

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.12 - Árvore de eventos expandida do cenário 5 (desbaste aos 11 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

[illegible]

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.13 - Árvore de eventos expandida do cenário 6 (desbaste aos 12 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

[illegible]

Fonte: da autora (2026).

Figura 5.14 - Árvore de eventos expandida do cenário 7 (desbaste aos 13 anos) simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

[illegible]

Fonte: da autora (2026).

O valor da opção representa o ganho econômico associado à possibilidade de adaptação do projeto diante de cenários desfavoráveis, neste caso, por meio da opção de abandono. Já o VPL expandido corresponde à soma entre o VPL determinístico e o valor da flexibilidade gerencial incorporada ao projeto. Dessa forma, a avaliação da viabilidade econômica não deve considerar apenas o valor da opção isoladamente, mas sim o comportamento conjunto dos indicadores econômicos do projeto.

A Tabela 5.6 apresenta os valores obtidos de VPL determinístico, valor da opção de abandono e VPL expandido para os cenários analisados. Observa-se que os valores de VPL determinístico apresentaram tendência decrescente entre os cenários C1 e C7, variando de R\$ 146.721,00 ha⁻¹ para R\$ 115.869,00 ha⁻¹. O mesmo comportamento foi observado para o VPL expandido, que reduziu de R\$ 146.872,00 ha⁻¹ no cenário C1 para R\$ 116.119,00 ha⁻¹ no cenário C7. Esse resultado indica que o adiamento do desbaste reduz a atratividade econômica do projeto, uma vez que posterga a obtenção de receitas e aumenta o efeito do desconto sobre os fluxos de caixa futuros.

Tabela 5.6 - Valores presentes líquidos (VPL) determinísticos e expandidos para cada cenário simulado para uma plantação de *Khaya grandifoliola*.

R\$ ha ⁻¹	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
VPL determinístico	146.721	139.199	134.063	127.871	124.285	120.066	115.869
Valor da opção	150	143	169	207	215	221	250
VPL expandido	146.872	139.342	134.232	128.078	124.500	120.287	116.119

Fonte: da autora (2026).

Em contrapartida, o valor da opção de abandono apresentou tendência crescente à medida que o desbaste foi postergado, passando de R\$ 150,00 ha⁻¹ no cenário C1 para R\$ 250,00 ha⁻¹ no cenário C7. Esse comportamento sugere que a flexibilidade gerencial se torna mais valiosa em projetos com maior exposição às incertezas ao longo do tempo, uma vez que o gestor dispõe de mais oportunidades para revisar a decisão de continuidade do investimento diante de mudanças nas condições econômicas e de mercado. Ainda assim, a possibilidade de adaptação das decisões ao longo do tempo permitiu aumentar o valor econômico dos cenários analisados. As árvores com flexibilidade gerencial para cada cenário analisado são apresentadas nas Figuras 5.8 a 5.14, sendo que os valores tachados de vermelho representam os nós onde a opção de abandono foi exercida.

Apesar do aumento do valor da opção, esse acréscimo não foi suficiente para compensar a redução observada no VPL determinístico. Como consequência, o cenário C1 apresentou o maior VPL expandido entre os regimes avaliados, alcançando R\$ 146.872,00 ha⁻¹. Esses

resultados indicam que a realização do desbaste aos 7 anos constitui a alternativa economicamente mais atrativa para o manejo de *Khaya grandifoliola*, considerando tanto os fluxos de caixa esperados quanto o valor associado à flexibilidade gerencial.

Esses resultados evidenciam que, para o cultivo de *Khaya grandifoliola* nas condições analisadas, a antecipação dos fluxos de caixa exerce maior influência sobre o valor econômico do projeto do que os benefícios proporcionados pelo aumento da flexibilidade gerencial. Assim, embora os desbastes mais tardios possam ampliar o valor da opção de abandono e gerar maiores receitas nas operações intermediárias, o recebimento dessas receitas em períodos mais distantes reduz seu impacto econômico quando descontado a valor presente. Dessa forma, nota-se que a antecipação das receitas exerceu maior influência sobre o valor econômico do projeto do que os ganhos proporcionados pelo aumento da flexibilidade gerencial.

Os resultados obtidos estão alinhados com aqueles encontrados por Ribeiro *et al.* (2018), que verificaram a viabilidade econômica de plantios de mogno-africano sob diferentes regimes de manejo, com valores positivos de VPL para todos os cenários avaliados. Os autores observaram que a adoção de desbastes pode aumentar o retorno econômico do projeto, reforçando a importância das intervenções silviculturais na maximização do valor gerado pelos povoamentos. Além disso, destacaram que variáveis como taxa de desconto, produtividade e preços da madeira exercem forte influência sobre os resultados econômicos, evidenciando o elevado nível de incerteza associado aos investimentos florestais de longo prazo. Nesse contexto métodos capazes de incorporar a flexibilidade gerencial e as incertezas do projeto tornam-se relevantes para complementar as análises econômicas tradicionais.

Diante desse cenário, a utilização da Teoria de Opções Reais permite complementar a análise tradicional baseada exclusivamente no VPL determinístico. Segundo Simões *et al.* (2022), a incorporação de flexibilidades gerenciais permite representar de forma mais realista as incertezas inerentes aos projetos florestais, fornecendo uma avaliação mais abrangente do investimento, ao incorporar o valor econômico associado à flexibilidade gerencial. Embora a inclusão da opção de abandono tenha aumentado o valor do projeto no presente estudo, o acréscimo observado não foi suficiente para alterar o ordenamento dos cenários avaliados, de modo que tanto o VPL determinístico quanto o VPL expandido indicaram o cenário C1 como a alternativa economicamente mais atrativa.

Resultados semelhantes foram observados por Medeiros *et al.* (2017) em povoamentos de *Tectona grandis* submetidos a diferentes espaçamentos. Os autores verificaram que a idade técnica do primeiro desbaste variou entre 6 e 8 anos, dependendo do espaçamento adotado,

sendo que povoamentos menos adensados apresentaram necessidade de desbaste mais tardio. Dessa forma, a proximidade entre os resultados encontrados para teca e mogno-africano sugere que espécies florestais tropicais de alto valor agregado podem apresentar respostas semelhantes quanto à influência do momento do desbaste sobre o desempenho econômico.

Além do retorno econômico antecipado, o desbaste precoce favorece o crescimento diamétrico das árvores remanescentes, característica desejável em povoamentos destinados à produção de madeira para serraria. Fernández *et al.* (2017) ao avaliarem regimes de desbaste e poda em povoamentos de *Pinus radiata*, observaram que a redução da competição proporcionada pelo desbaste aumentou o volume individual das árvores e favoreceu a produção de madeira de maior valor agregado. Segundo os autores, o aumento do espaço disponível após o desbaste permite maior crescimento em diâmetro e ampliação da copa das árvores remanescentes, contribuindo para a produção de toras de melhor qualidade para processamento mecânico. Esse aspecto é particularmente relevante para o mogno-africano, cuja rentabilidade está associada à produção de madeira de alto valor agregado destinada à serraria e à indústria moveleira.

Nesse contexto, os resultados obtidos neste estudo sugerem que a realização do primeiro desbaste aos 7 anos, além de antecipar receitas intermediárias, pode contribuir para direcionar o crescimento das árvores remanescentes para produtos de maior valor agregado, aspecto importante em plantios de mogno-africano destinados à serraria. Os resultados encontrados no presente estudo corroboram com os reportados por Melo *et al.* (2025), que observaram que a incorporação da flexibilidade gerencial por meio da Teoria de Opções Reais pode aumentar o valor econômico de projetos florestais e auxiliar na definição de estratégias de manejo mais eficientes sob condições de incerteza. Assim, a aplicação da Teoria de Opções Reais mostrou-se uma ferramenta útil para avaliação econômica de plantios de mogno-africano, permitindo incorporar incertezas e flexibilidades gerenciais que não são captadas por métodos determinísticos.

6. CONCLUSÕES

A análise da viabilidade financeira determinística e estocástica dos sete regimes de manejo demonstrou que todos os cenários analisados apresentaram viabilidade econômica, com valores positivos de VPL. Contudo, observou-se redução gradual do retorno econômico à medida que o primeiro desbaste foi postergado, tanto na análise determinística quanto na avaliação por Opções Reais.

A incorporação das incertezas por meio da Simulação de Monte Carlo e da Teoria de Opções Reais evidenciou que a flexibilidade gerencial agrega valor aos projetos florestais, ainda que de forma moderada. Os valores da opção de abandono indicaram a existência de ganhos associados à possibilidade de adaptação das decisões ao longo do ciclo produtivo, tornando a avaliação econômica mais aderente às condições de incerteza características dos investimentos florestais.

Quanto à definição do momento ideal para a realização dos cortes, os resultados indicaram que o cenário com primeiro desbaste aos sete anos (C1) apresentou o maior VPL expandido, sendo a alternativa economicamente mais atrativa entre os regimes avaliados. Além da antecipação das receitas intermediárias, esse resultado está associado aos benefícios silviculturais do desbaste precoce, que reduz a competição entre as árvores remanescentes e favorece o crescimento dos indivíduos destinados à colheita final. Dessa forma, a antecipação do desbaste contribui simultaneamente para a geração de fluxos de caixa mais próximos do presente e para o melhor aproveitamento do potencial produtivo do povoamento.

Por fim, destaca-se que a utilização da Teoria de Opções Reais se mostrou uma ferramenta relevante para a avaliação de projetos florestais, permitindo incorporar incertezas e flexibilidade gerencial à análise, o que não é contemplado pela abordagem tradicional baseada apenas no VPL. Assim, sua aplicação contribui para uma tomada de decisão mais robusta e alinhada às condições reais de mercado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora os resultados obtidos indiquem a viabilidade econômica do cultivo de *Khaya grandifoliola* e permitam identificar a idade de desbaste mais atrativa sob as condições avaliadas, é importante destacar que as análises realizadas neste estudo foram baseadas em simulações. Essa abordagem foi necessária em razão da inexistência, até o momento, de um número representativo de povoamentos de mogno-africano conduzidos até a idade de corte final em condições comerciais no Brasil. Dessa forma, as projeções aqui apresentadas constituem estimativas fundamentadas nas melhores informações atualmente disponíveis, devendo ser continuamente refinadas à medida que novos dados de campo e resultados operacionais se tornem disponíveis.

Além disso, o mogno-africano ainda pode ser considerado uma cultura relativamente recente no contexto florestal brasileiro. Como consequência, a maior parte da madeira atualmente comercializada é proveniente de operações de desbaste, caracterizando-se como madeira jovem e com propriedades distintas daquelas esperadas para árvores conduzidas até a idade de corte final. Esse cenário contribui para que os preços de comercialização da madeira ainda não estejam plenamente consolidados, refletindo um mercado em processo de estruturação e amadurecimento.

Outro aspecto relevante refere-se ao processamento da madeira. Atualmente, existem poucas informações disponíveis sobre os rendimentos efetivos de serraria para o mogno-africano no Brasil. Em razão dessa limitação, este estudo adotou premissas baseadas em informações disponíveis para outras espécies e em dados de mercado. Assim, recomenda-se a realização de estudos específicos voltados à quantificação dos rendimentos e das perdas no processo de desdobro do mogno-africano, contribuindo para maior precisão das análises econômicas e para o fortalecimento do manejo da espécie no país.

REFERÊNCIAS

- ADEBAYO, J. O.; KRETTLI, A. U. Potential antimalarials from Nigerian plants: a review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 133, p. 289-302, 2011.
- ALBUQUERQUE, M. H. F. **Aplicação da Teoria de Opções Reais na Análise de Viabilidade Econômica de um Projeto: O Caso da Aracruz Celulose SA**. 2005. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Administração. Faculdades Ibmecc, Rio de Janeiro, 2005. 34.
- ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMACHER, G. S.; BRAZEE, Richard J. Risk and uncertainty in forest resources decision making. In: **Handbook of forest resource economics**. Routledge, 2014. p. 309-321.
- ARNOLD, R. J. *Khaya senegalensis*: current use from its natural range and its potential in Sri Lanka and elsewhere in Asia. In: PROSPECTS for high-value hardwood timber plantations in the 'dry' tropics of northern Australia, Mareeba, Queensland, 2004. Proceeding. Queensland: Private Forestry North Queensland Association Inc, 2004. CD-ROM.
- ARNOLD, R. *Khaya senegalensis* – current use from its natural range and its potential in Sri Lanka and elsewhere in Asia. In: PROSPECTS FOR HIGH-VALUE HARDWOOD TIMBER PLANTATIONS IN THE “DRY” TROPICS OF NORTHERN AUSTRALIA, 19-21 Oct. 2004, Mareeba, Australia. **Proceedings...** Queensland: Private Forestry North Queensland Association Inc., 2004. p. 1-9.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MOGNO-AFRICANO (ABPMA). Tabela do Mogno ABPMA. In: **Jornal ABPMA**. Belo Horizonte: ABPMA, dez. 2022, p. 28. disponível em: <<https://abpma.org.br/wp-content/uploads/JORNAL-ABPMA-Dezembro22-link.pdf>>. Acesso em: dez. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE MOGNO-AFRICANO (ABPMA). Tabela do Mogno ABPMA. In: **Jornal ABPMA**. Belo Horizonte: ABPMA, jun. 2023, p. 14. disponível em: <<https://abpma.org.br/wp-content/uploads/JornalABPMAJunho2023.pdf>> Acesso em: dez. 2024.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL (BNDES). **Pronamp Investimento**. Rio de Janeiro, 2026. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/pronamp-investimento>>. Acesso em: abr. 2026.
- BARROSO, G. M. **Sistemáticas das angiospermas do Brasil**. Viçosa: Imprensa Universitária, Universidade Federal de Viçosa, 1984. 377 p.
- BERNSTEIN, P. L. **Desafio aos deuses: a fascinante história do risco**. Rio de Janeiro: Elsevier, 1997. 408 p.
- BISH, E. K.; WANG, Q. Optimal investment strategies for flexible resources, considering

pricing and correlated demands. **Operations Research**, v. 52, n. 6, p. 954-964, 2004.

BLACK, F.; SCHOLES, M. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of political economy**, v. 81, n. 3, p. 637-654, 1973.

BRACH, M. A. **Real options in practice**. John Wiley & Sons, 2003.

BRANDÃO, L. E. T. Qual o momento certo de investir na empresa? **Revista Conjuntura Econômica**, v. 55, n. 2, p. 40-41, 2001.

BRANDÃO, L. E.; DYER, J. S.; HAHN, W. J. Using binomial decision trees to solve real-option valuation problems. **Decision Analysis**, v. 2, n. 2, p. 69-88, 2005.

BRANDÃO, L. E. T.; SARAIVA, E. C. G. Risco privado em infra-estrutura pública: uma análise quantitativa de risco como ferramenta de modelagem de contratos. **Revista de Administração Pública**, v. 41, n. 6, p. 1035-1067, 2007.

BRANDÃO, M. C. **Análise dos parâmetros que influenciam a obtenção do valor da flexibilidade por opções reais no setor elétrico**. 2010. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2010.

BRASIL, H. G. *et al.* **Opções Reais: Conceitos e Aplicações a Empresas e Negócios**. São Paulo: Saraiva, 2007.

BROBOUSKI, W. J. P. *et al.* Teoria das opções reais aplicada a um contrato de parceria florestal com preço mínimo. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL**, 26., 2004, São João del-Rei. Anais... São João del-Rei: Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional, 2004. p. 492-503.

CABI. **Forestry compendium**. Wallingford: CAB International, 2013. Disponível em: <<http://www.cabi.org/fc>>. Acesso em: jun. 2025.

CARNEIRO, J. G. A. *et al.* **Princípios de desrama e desbastes florestais**. 1. ed. Campos dos Goytacazes, RJ, 2012. 96 p.

CHANG, H. *et al.* The cost of forest thinning operations in the Western United States: A systematic literature review and new thinning cost model. **Journal of Forestry**, v. 121, n. 2, p. 193-206, 2023.

CHENG, Y. J. **Decisão de investimento através da teoria de opções reais: estudo de caso em projetos do setor financeiro**. 2007. Dissertação (Mestrado Profissional em Finanças e Economia Empresarial) – Escola de Economia de São Paulo, Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2007.

COELHO JÚNIOR, L. M. *et al.* Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob condição de risco. **Cerne**, Lavras, v. 14, n. 4, p. 368-378. 2008.

CONDE, R. A. R. **Controle silvicultural e mecânico da broca do mogno *Hypsipyla grandella* (Zeller, 1848) (Lepidoptera: Pyralidae) em sistema agroflorestal**. 2006. 74 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2006.

CONVENTION ON INTERNATIONAL TRADE IN ENDANGERED SPECIES OF WILD FAUNA AND FLORA (CITES). *Proposal 51: Inclusion of African populations of the genus Khaya in Appendix II*. Nineteenth Meeting of the Conference of the Parties (CoP19), Panama City, 2022. Disponível em: <<https://cites.org>>. Acesso em: abril de 2026.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais: um novo paradigma para reinventar a avaliação de investimentos**. Rio de Janeiro: Campus, 2002.

COSTA, T. C. C.; COSTA, L. M. **Análise comparativa do meio físico e socioeconômico de três municípios com parques florestais: Araponga, Caparaó e São Roque de Minas - MG**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2005. 42 p. (Documentos, 71). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: jan. 2025.

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.

DEZEN, F. J. P. **Opções reais aplicadas à escolha de alternativa tecnológica para o desenvolvimento de campos marítimos de petróleo**. 2001. 100 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo) – Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

DIAS, A. N. *et al.* Emprego de um modelo de crescimento e produção em povoamentos desbastados de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 731-739, 2005.

DIAS, M. A. G. **Opções reais híbridas com aplicações em petróleo**. 2005. 490 f. Tese (Doutorado em Engenharia Industrial) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

DIAS, M. A. G. **Análise de investimentos com opções reais – teoria e prática com aplicações em petróleo e outros setores – volume 1: conceitos básicos em tempo discreto** / Marco Antonio Guimarães Dias – Rio de Janeiro: Interciência, 2014. 358p.

DIXIT, A. K.; PINDYCK, R. S. **Investment under uncertainty**. Princeton: Princeton University Press, 1994. 468 p.

DOSUMU, B. *et al.* Thinning strategies impact the productivity, perpetuity and profitability of mixed stands. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v. 39, n. 5, p. 217-225, 2024.

DUKU-KAAKYIRE, A.; NANANG, D. M. Application of real options theory to forestry investment analysis. **Forest Policy and Economics**, Amsterdam, v. 6, n. 6, p. 539-552, 2004.

FERNÁNDEZ, M. P. *et al.* Effects of thinning and pruning on stem and crown characteristics of radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 10, n. 2, p. 383-390, 2017.

FERRAZ FILHO, A. C. *et al.* African mahogany plantation highlights in Brazil. **Floresta e Ambiente**, v. 28, n. 3, e20200081, 2021.

FIRKE, S. **janitor: Simple Tools for Examining and Cleaning Dirty Data**. R package version

2.2.1, 2024. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=janitor>>.

FRAYER, J.; ULUDERE, N. Z. What is it worth? Application of real options theory to the valuation of generation assets. **The Electricity Journal**, v. 14, n. 8, p. 40-51, 2001.

FREY, G. E. *et al.* A real options model to assess the role of flexibility in forestry and agroforestry adoption and disadoption in the Lower Mississippi Alluvial Valley. **Agricultural Economics**, v. 44, n. 1, p. 73-91, 2013.

GASTALDI, H. L. G. **Opções reais em investimentos florestais**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia – Área de concentração: Finanças e Macroeconomia Aplicadas) – Insper Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo, 2012.

GLENCROSS, K. *et al.* Basal area increment is unaffected by thinning intensity in young *Eucalyptus dunnii* and *Corymbia variegata* plantations across different quality sites. **Forest Ecology and Management**, v. 318, p. 326-333, 2014.

GOMES, D. M. **Análise de viabilidade técnica, econômico-financeira para implantação da cultura do mogno-africano (*Khaya ivorensis* A. Chev.) na região oeste de Minas Gerais**. 2010. 70 p. Monografia (Especialização em Gestão Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

GRENADIER, S. R. Option exercise games: an application to the equilibrium investment strategies of firms. **The Review of Financial Studies**, v. 15, n. 3, p. 691-721, 2002.

GRUPIONI, P. H. F. *et al.* Indicadores econômicos na implantação do cultivo de mogno-africano no município de Cristalina-GO. **Agrarian Academy**, Goiânia, v. 5, n. 9, p. 499-510, 2018.

HAWLEY, R. C.; SMITH, D. M. **The practice of silviculture**. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, 1954. 525 p.

HAWTHORNE, S. N. D. *et al.* The long term effects of thinning treatments on vegetation structure and water yield. **Forest Ecology and Management**. n.310, p.983–993. 2013.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual 2025**. São Paulo: IBÁ, 2025. Disponível em: <https://iba.org/wp-content/uploads/2025/10/IBA_relatorio_digital_POR.pdf>. Acesso em: mai. 2026.

INSLEY, M. A real options approach to the valuation of a forestry investment. **Journal of Environmental Economics and Management**, v. 44, n. 3, p. 471-492, 2002.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO). **Tropical timber market report**. Yokohama, 2026. Disponível em: <<https://www.itto.int/mis/>>. Acesso em: mai. 2026.

IUBEL, F. B. **Análise das decisões de investimentos de um plano de saúde a partir da teoria das opções reais**. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, 2008.

JOAQUIM, M. S. **Aplicação da teoria das opções reais na análise de investimentos em sistemas agroflorestais**. 2012. xi, 116 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Florestal, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Brasília, 2012.

KHAJURIA, R. P. Real option analysis in forest management decision making. In: KANT, S.; ALAVALAPATI, J. R. R. (ed.). **Handbook of forest resource economics**. New York: Routledge, 2014. p. 341-352.

KRISNAWATI, H.; KALLIO, M. H.; KANNINEN, M. **Swietenia macrophylla King: ecology, silviculture and productivity**. Bogor: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2011.

LAFETÁ, B. O. *et al.* Simulação e avaliação econômica para o primeiro desbaste de *Khaya ivorensis* A. Chev. **Revista Forestal Mesoamericana Kurú**, Cartago, v. 19, n. 44, p. 44-55, 2022.

LAMB, F. B. On further defining mahogany. **Economic Botany**, v. 17, n. 3, p. 217-232, 1963.

LAMB, F. Bruce. "Mahogany": a name in controversy. **American Speech**, v. 42, n. 3, p. 219-226, 1967.

LEE, S. E. *et al.* Antimalarial activity of anthothecol derived from *Khaya anthotheca* (Meliaceae). **Phytomedicine**, v. 15, n. 6-7, p. 533-535, 2008.

LEITE, H. G. *et al.* Avaliação de um modelo de distribuição diamétrica ajustado para povoamentos de *Eucalyptus* sp. submetidos a desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.2, p.271-280, 2005.

LEMMENS, R. H. M. J. **Khaya ivorensis** A. Chev. Plant Resources of Tropical Africa (PROTA). Wageningen, Netherlands, 2008. Disponível em: <<http://www.prota4u.org>>. Acesso em: dez. 2024.

MASCARENHAS FILHO, C. G. **A influência da volatilidade na avaliação das opções reais: o caso dos investimentos em telecomunicações e petróleo no Brasil**. 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Economia) – Departamento de Economia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

MEDEIROS, R. A. *et al.* Idade técnica do primeiro desbaste de povoamentos de teca em diferentes espaçamentos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 45, n. 116, p. 705-716, 2017.

MELO, G. A. *et al.* Optimizing forest sector performance based on life cycle cost analysis and real options. **Science of The Total Environment**, v. 988, p. 179675, 2025.

MONTE, M. A. *et al.* Crescimento de um clone de eucalipto submetido a desrama e desbaste. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 33, n. 5, p. 777-787, 2009.

MONTEIRO, R. C. **Contribuições da abordagem de avaliação de opções reais em ambientes econômicos de grande volatilidade: uma ênfase no cenário latino-americano**. 2003. Dissertação (Mestrado em Controladoria e Contabilidade) – Faculdade de Economia,

Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MURTA JÚNIOR, L. S. **Projeção do crescimento de árvores individuais em plantio experimental de eucalipto desbastado**. 2018. 103 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2018.

MYERS, S. C. Determinants of corporate borrowing. **Journal of Financial Economics**, v. 5, n. 2, p. 147-175, 1977.

MYERS, S. C. Finance theory and financial strategy. **Interfaces**, v. 14, n. 1, p. 126-137, 1984.

NURAIN, I. O.; BEWAJI, C. O. Effects of aqueous bark extracts of *Khaya grandifoliola* and *Enantia chlorantha* on some biochemical parameters in Swiss mice. **Iranian Journal of Toxicology**, v. 11, n. 5, p. 13-21, 2017.

OLIVEIRA, P. R. C. *et al.* Análise econômica da implantação de mogno-africano no município de São Miguel do Passa Quatro-GO. In: CONGRESSO ESTADUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DO IF GOIANO, 6., 2017, Urutaí. **Anais...** Urutaí: IF Goiano, 2017. p. 1-3.

OLIVEIRA, E. B. *et al.* **Softwares para manejo de precisão e análise econômica de mogno-africano, em plantios puros e em ILPF**. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. (ed.). *Mogno-africano (Khaya spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil*. Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 267-286.

OPUNI-FRIMPONG, E. *Khaya grandifoliola*. In: LOUPPE, D.; OTENG-AMOAKO, A. A.; BRINK, M. (ed.). **Plant resources of tropical Africa**. Wageningen: PROTA Foundation, 2008.

PEREIRA, P. J.; ARMADA, M. R. **As opções reais na avaliação de oportunidades de investimento: uma revisão da literatura**. Braga: Universidade do Minho, 2001. (Documentos de Trabalho, n. 3).

PIEROZAN JUNIOR, C. *et al.* Viabilidade econômica da produção de *Khaya ivorensis* em pequena propriedade no Paraná. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 38, e201701495, p. 1-9, 2018.

PINDYCK, R. S. Irreversibility, uncertainty, and investment. **Journal of Economic Literature**, v. 29, n. 3, p. 1110-1148, 1991.

PINHEIRO, A. L. **Estudos de características dendrológicas, anatômicas e taxonômicas de Meliaceae na microrregião de Viçosa-Minas Gerais**. 1986. 186 f. Tese (Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1986.

PINHEIRO, A. L. *et al.* **Ecologia, silvicultura e tecnologia de utilização dos mogno-africanos (Khaya spp.)**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Agrossilvicultura, 2011. 102 p.

POLTRONIERI, L. S. *et al.* **Identificação de doenças em mogno-africano no Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2000. 13 p. (Circular Técnica, 18).

PRACIAK, A. *et al.* (ed.). **The CABI encyclopedia of forest trees**. Wallingford: CABI, 2013.

523 p

PRICE, C. Temporal aspects in forest economics. In: KANT, S.; ALAVALAPATI, J. R. R. (ed.). **Handbook of forest resource economics**. New York: Routledge, 2014. p. 50-66.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2026. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: abr. 2026.

RAMOS, D. C. *et al.* Thinning effect on plant growth of pruned eucalypt clone. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 3, p. 495-503, 2014.

RASOTO, A. *et al.* **Gestão financeira: enfoque em inovação**. Curitiba: Aymarã Educação, 2012.

REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B. de; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2019. 378 p. ISBN 978-85-7035-923-0.

REIS, C. A. F. Mogno africano no Brasil apresenta acervo virtual gratuito de informações técnico-científicas. **Jornal ABPMA**. Associação Brasileira dos Produtores de Mogno Africano (ABPMA), jun. 2023, p. 19-22.

REZENDE, J. L. P. de; OLIVEIRA, A. D. de. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 3. ed. Viçosa, MG: UFV, 2013. 386 p

REZENDE, M. L. *et al.* Análise de risco e viabilidade econômica do plantio de mogno africano no sul de Minas Gerais. **Custos e @gronegocio on line**, v. 14, edição especial, p. 314-331, 2018.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; SCOLFORO, J. R. S. O cultivo do mogno africano (*Khaya* spp.) e o crescimento da atividade no Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00076814, 2017.

RIBEIRO, A. *et al.* Financial and risk analysis of African mahogany plantations in Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 2, p. 148-158, 2018.

RIBEIRO, A.; FERRAZ FILHO, A. C.; OLIVEIRA, E. B. **Usos, importância econômica e perspectivas de mercado**. In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

RIBEIRO, A.; MALUF, L. Khayas e outras espécies madeireiras na lista de proteção CITES. **Jornal ABPMA**. Associação Brasileira dos Produtores de Mogno Africano (ABPMA), dez. 2022, p. 15-17.

RIBEIRO, A.; *et al.* Evolução da severidade do cancro e qualidade de fuste no crescimento do mogno-africano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 58, p. e03380, 2023.

RODRIGUES, M. I. **Análise financeira de investimentos em concessão florestal por meio**

de métodos determinísticos e estocásticos. Monografia apresentada ao IV Prêmio Serviço Florestal Brasileiro em Estudos de Economia e Mercado Florestal. Brasília, DF: Serviço Florestal Brasileiro, 2016.

SANTOS, A. M. *et al.* **Aspectos silviculturais.** In: REIS, C. A. F.; OLIVEIRA, E. B.; SANTOS, A. M. **Mogno-africano (*Khaya* spp.): atualidades e perspectivas do cultivo no Brasil.** Brasília, DF: Embrapa, 2019.

SILVA, T. J. R.; MACEDO, M. A. S. Opções sobre contratos futuros de café arábica: uma avaliação da aplicabilidade do modelo de Black & Scholes. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (SIMPEP), 10., 2003, Bauru. *Anais...* Bauru: UNESP, 2003.

SILVA, C. S. J. *et al.* Viabilidade econômica e rotação florestal de plantios de candeia (*Eremanthus erythropappus*), em condições de risco. **Cerne**, Lavras-MG, v. 20, p. 113-122, 2014.

SIMÕES, D. *et al.* Restauração florestal com semeadura direta: uma abordagem com opções reais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 2022, Curitiba. *Anais eletrônicos...* Curitiba: Galoá, 2022.

SIMÕES, D. *et al.* Real options analysis applied to investment projects in planted forests of Pinus. **Bois et Forêts des Tropiques**, n. 354, p. 55-64, 2022.

SOUSA NETO, J. A. de S.; OLIVEIRA, V. I. de; BERGAMINI JUNIOR, L. C. **Opções reais: introdução à teoria e à prática.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2008.

SOUZA, J. L. M. de. **Modelo para análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro.** 2001. 253 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2001.

TIAN, N.; GAN, J.; LU, F. A real options model for evaluating a tree and mushroom vertical agroforestry system in Shandong, China. **Agroforestry Systems**, v. 97, n. 2, p. 163-174, 2023.

TRIGEORGIS, L. **Real options:** managerial flexibility and strategy in resource allocation. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

TRIGEORGIS, L. Opções reais e interações com a flexibilidade financeira. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 47, n. 3, p. 95-120, jul./set. 2007.

VIVEIRO ORIGEM. **Guia do planejamento do mogno-africano.** Minas Gerais, 2022. Disponível em: <<https://mudasorigem.com.br/guia-do-planejamento-do-mogno-africano/>>. Acesso em: nov. 2025.

WICKHAM, H.; HENRY, L. **purrr: Functional Programming Tools.** R package version 1.0.2, 2023. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=purrr>>.

WICKHAM, H.; BRYAN, J. **readxl: Read Excel Files.** R package version 1.4.5, 2023. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=readxl>>.

WICKHAM, H. *et al.* **dplyr: A Grammar of Data Manipulation.** R package version 1.1.4,

2023. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=dplyr>>.

ZHANG, B. *et al.* Limonoids from *Khaya ivorensis*. **Phytochemistry**, v. 70, n. 10, p. 1305-1308, 2009.