

Marina Ludovico Stollenwerk

**Análise de investimentos na implementação da
tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais:
uma abordagem de opções reais**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre em
Administração de Empresas pelo Programa de
Pós-graduação em Administração de Empresas,
do Departamento de Administração da PUC-Rio.

Orientador: Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Rio de Janeiro

abril de 2024

Marina Ludovico Stollenwerk

**Análise de investimentos na implementação da
tecnologia blockchain em serventias
extrajudiciais: uma abordagem de opções reais**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Administração de Empresas, do Departamento de Administração da PUC-Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Prof. Carlos de Lamare Bastian Pinto

Orientador

Departamento de Administração de Empresas – PUC-Rio

Prof. Luis Alberto Melchiades Leite

Petróleo Brasileiro – Rio de Janeiro – Matriz

Prof. Luiz Eduardo Teixeira Brandão

Departamento de Administração de Empresas – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 24 de abril de 2024

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e do orientador.

Marina Ludovico Stollenwerk

Graduada em Direito pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio. Pós-graduada em Direito Público e Privado pela Escola da Magistratura do Estado do Rio de Janeiro - EMERJ e em Direito das Famílias e Sucessões pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio.

Ficha Catalográfica

Stollenwerk, Marina Ludovico

Análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais : uma abordagem de opções reais / Marina Ludovico Stollenwerk ; orientador: Carlos de Lamare Bastian Pinto. – 2024.

101 f. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Administração, 2024.

Inclui bibliografia

1. Administração – Teses. 2. Análise de investimentos. 3. Teoria das opções reais. 4. Tecnologia blockchain. 5. Serventias extrajudiciais. I. Pinto, Carlos de Lamare Bastian. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Administração. III. Título.

CDD: 658

Agradecimentos

Ao Professor Carlos de Lamare Bastian Pinto, meu orientador, pelo compartilhamento de profundo conhecimento e pela generosa orientação, mas também por me revelar o outro lado da Força.

Ao Professor Luiz Eduardo Teixeira Brandão, orientador de meu orientador, pelas contribuições ao desenvolvimento deste trabalho, sedimentado ao longo do mestrado.

À minha família, pelo amor e apoio incondicionais, cujo benchmark pretendo alcançar.

À PUC-Rio e aos seus professores, por propiciar um ambiente favorável ao aprendizado e ao crescimento de seus alunos.

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

Resumo

Stollenwerk, Marina Ludovico; Pinto, Carlos de Lamare Bastian. **Análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais: uma abordagem de opções reais**. Rio de Janeiro, 2024. 101p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração de Empresas, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

O objetivo da dissertação é contribuir para o avanço do conhecimento sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, segundo o ordenamento jurídico brasileiro. Para tal, desenvolveu-se um modelo teórico baseado na Teoria das Opções Reais (TOR) para analisar investimentos na tecnologia blockchain, considerando diferentes níveis de adoção dessas tecnologias em serviços notariais e registrais e tipos de opções reais. A metodologia adotada compreende: (i) pesquisa bibliográfica e documental sobre o tema central da dissertação; (ii) análise de conteúdo para mapear as espécies de serventias extrajudiciais existentes no ordenamento jurídico brasileiro, associando-as aos níveis de adoção da tecnologia blockchain reportados na literatura; (iii) desenvolvimento do modelo teórico para análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain no referido contexto; (iv) demonstração da aplicabilidade do modelo proposto, a partir de dados primários coletados em uma serventia extrajudicial localizada no Estado do Paraná; e (v) análise reflexiva sobre os potenciais benefícios econômicos e não econômicos da adoção da tecnologia blockchain nas operações de serviços notariais e registrais no Brasil. Destacam-se como resultados principais um modelo de análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serviços notariais e registrais no Brasil e a avaliação de seus impactos econômicos e não econômicos para os oficiais titulares, usuários dos serviços e a sociedade em geral.

Palavras-chave

Análise de investimentos; teoria das opções reais; tecnologia blockchain; serventias extrajudiciais.

Abstract

Stollenwerk, Marina Ludovico; Pinto, Carlos de Lamare Bastian (Advisor). **Investment Analysis for Implementing Blockchain Technology in Notary Offices: A Real Options Approach**. Rio de Janeiro, 2024. 101 p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Administração de Empresas, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation aims to contribute to the advancement of knowledge on the analysis of investments with real options in the implementation of blockchain technology in notary offices under the Brazilian legal framework. To achieve this, a theoretical model was developed based on the Real Options Theory (ROT) to analyze investments in blockchain technology, considering varying levels of adoption of this technology in notarial and registry services, as well as types of real options. The adopted methodology encompasses: (i) bibliographic and documentary research on the central themes of the dissertation; (ii) content analysis to map the types of notarial and registry offices existing in the Brazilian legal framework, associating them with the reported levels of adoption of blockchain technology reported in the literature; (iii) development of a theoretical model for the analysis of investments with real options in the aforementioned context; (iv) of the applicability of the proposed model, based on primary data collected from an extrajudicial office located in the state of Paraná; and (v) reflective analysis of the potential economic and non-economic benefits of adopting blockchain technology in notarial and registry services in Brazil. The main results include a model for the analysis of investments with real options in the implementation of blockchain technology in notarial and registry services in Brazil, along with an assessment of its economic and noneconomic impacts on titular officials, service users, and society in general.

Keywords

Investment analysis; real options theory; blockchain technology; extrajudicial notary offices.

Sumário

1. Introdução	13
1.1 Definição do problema de pesquisa	17
1.2 Objetivos: final e intermediários	18
1.3 Delimitação do estudo	18
1.4 Metodologia	19
1.4.1 Fase exploratória e descritiva	20
1.4.2 Fase de pesquisa aplicada	24
1.4.3 Fase conclusivo-propositiva	24
1.5 Estrutura da dissertação	24
2. Referencial teórico	26
2.1 Tecnologia blockchain: conceito, componentes, características e desafios da implementação	26
2.2 Serventias extrajudiciais: funções e potencial de aplicação da tecnologia blockchain	29
2.2.1 Serventias extrajudiciais: funções e espécies existentes no ordenamento jurídico brasileiro	29
2.2.2 Aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais..	31
2.2.3 Níveis de adoção da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais	44
2.3 Análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain com opções reais: perspectiva de aplicação em serventias extrajudiciais	45
2.3.1 Análise de investimentos com opções reais: base conceitual	46
2.3.2 Estudos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em outros setores	48
2.4 Considerações finais sobre o capítulo	52
3. Modelo teórico para análise de investimento com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais	54
3.1 Visão geral do modelo	55
3.2 Visão detalhada do modelo	55
3.2.1 Etapa 1: Definição do projeto de investimento	56
3.2.2 Etapa 2: Modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB)	58

3.2.3 Etapa 3: Determinação dos parâmetros do modelo e construção da árvore binomial	60
3.2.4 Etapa 4: Valoração das opções reais de expansão, com base no modelo binomial	64
3.2.5 Etapa 5: Análise de sensibilidade e flexibilidade	65
4. Aplicação do modelo teórico em uma serventia extrajudicial do Estado do Paraná	67
4.1 Proposição do estudo empírico e definição das questões norteadoras	67
4.2 Caracterização da unidade de análise e seu contexto organizacional	68
4.2.1 Unidade de análise	68
4.2.2 Contexto organizacional	68
4.3 Aplicação do modelo teórico em uma serventia extrajudicial do Estado do Paraná	73
4.3.1 Coleta, formatação e análise dos dados	74
4.3.2 Resultados da etapa 1: Definição do projeto de investimento da serventia extrajudicial	76
4.3.3 Resultados da etapa 2: Modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB)	79
4.3.4 Resultados da etapa 3: Determinação dos parâmetros do modelo binomial e construção da árvore binomial	81
4.3.5 Resultados da etapa 4: Valoração das opções de expansão, com base no modelo binomial	84
4.3.6 Resultados da etapa 5: Análise de sensibilidade e flexibilidade das opções	85
4.4 Discussão dos resultados	87
5. Conclusões	90
6. Referências bibliográficas	93
Apêndice A. Estratégias de busca nas bases Web of Science e Scopus	101

Siglas e acrônimos

ANOREG	Associação dos Notários e Registradores
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CNB/CF	Conselho Federal do Colégio Notarial do Brasil
CNJ	Conselho Nacional de Justiça
DAO	Decentralized Autonomous Organization
FCD	Fluxo de Caixa Descontado
ISO	International Organization for Standardization
MAD	Negação do Ativo Negociado
MGB	Movimento Geométrico Browniano
NAPR	National Agency of Public Registry (Georgia Republic)
NDLTD	Networked Digital Library of Theses and Dissertations
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PUC-Rio	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
REC	Renewable Energy Certificate
RBB	Rede Blockchain Brasil
SCIMS	Sistema de Gerenciamento de Informações de Cadeia de Suprimentos
SERP	Sistema Eletrônico de Registros Públicos
SREI	Sistema de Registro Eletrônico de Imóveis
TOR	Teoria das Opções Reais
VPL	Valor Presente Líquido
VPO	Valor Presente da Opção
TCU	Tribunal de Contas da União
WIPO	World Intellectual Property Organization

Lista de figuras

Figura 1.1 –	Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos	21
Figura 1.2 –	Mapa conceitual da pesquisa	23
Figura 3.1 –	Árvore binomial com cinco intervalos de tempo	64
Figura 4.1 –	Árvore binomial do projeto de investimento com opções	83
Figura 4.2 –	Árvore binomial do projeto de investimento com opções	84
Figura 4.3 –	Análise de sensibilidade: múltiplo de expansão x custo de expansão	85
Figura 4.4 –	Análise de sensibilidade: desvio padrão x taxa de crescimento	86
Figura 4.5 –	Análise de sensibilidade: custo médio ponderado x livre de risco	87

Lista de quadros

Quadro 2.1 –	Características da tecnologia blockchain	27
Quadro 2.2 –	Desafios na implementação da tecnologia blockchain	28
Quadro 2.3 –	Outros estudos sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais	38
Quadro 2.4 –	Escala de adoção do registro de propriedades em blockchain	44
Quadro 2.5 –	Soluções tecnológicas baseadas em blockchain no contexto de serventias extrajudiciais no Brasil	45
Quadro 2.6 –	Estudos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain	49
Quadro 3.1 –	Dados a serem levantados na definição do projeto	57
Quadro 3.2 –	Parâmetros do modelo binomial	61
Quadro 4.1 –	Critérios de escolha e parâmetros de elegibilidade de serventias extrajudiciais para a implementação da tecnologia blockchain	73
Quadro 4.2 –	Quadro-síntese da coleta, formatação e análise dos dados	74
Quadro 4.3 –	Parâmetros do modelo binomial definidos para o estudo empírico	81

Lista de tabelas

Tabela A1 – Estratégia de busca na base Scopus	101
Tabela A2 – Estratégia de busca na base Web of Science	101

1

Introdução

A tecnologia blockchain tem despertado um crescente interesse nos mais diversos contextos devido às suas características distintivas, que incluem descentralização, imutabilidade, transparência, eficiência e segurança. Consiste de uma base de dados distribuída, que mantém um livro-razão imutável e compartilhado, facilitando o processo de registro de transações e de controle de ativos em uma rede. Este livro-razão é criptografado e protegido contra adulteração, revisão e exclusão. Qualquer item de valor pode ser controlado e comercializado em uma rede de blockchain, o que reduz os riscos e os custos de todas as partes envolvidas (Swan, 2015; Tapscott e Tapscott, 2016; Limieux, 2016; Mougayar, 2016; Lacity, 2018; ISO, 2022).

Inicialmente concebida como a estrutura subjacente à criptomoeda Bitcoin, essa tecnologia tem se expandido para além do âmbito financeiro e vem sendo aplicada em vários setores como saúde, logística e cadeia de suprimentos e registro de propriedade (Swan, 2019; Treiblmaier, 2019; e Grover et al., 2019). Dentre suas características distintivas, destaca-se a descentralização, fundamentada em uma arquitetura de rede composta por nós interconectados, que elimina o risco de um ponto único de falha, conferindo à tecnologia uma robustez excepcional contra ataques cibernéticos e tentativas de manipulação (Treiblmaier, 2019).

A imutabilidade dos registros mantidos na blockchain constitui outra característica essencial desta tecnologia. Uma vez efetuada uma transação, a alteração retroativa dos dados é inviável, promovendo assim uma integridade de dados sem precedentes e fortalecendo a confiança mútua entre as partes envolvidas. A transparência inerente ao sistema permite o rastreamento e a verificação de todas as transações realizadas, colaborando significativamente para a mitigação de fraudes e corrupção.

A eficiência da tecnologia blockchain também é apontado como um fator-chave para seu crescimento, pois possibilita reduções consideráveis em custos e

em tempo de processamento. Além disso, a implementação de contratos inteligentes, que são executados automaticamente sob a satisfação de condições predeterminadas, potencializa ainda mais a agilidade e a efetividade das operações realizadas.

Destaca-se ainda como um de seus atributos mais valorizados, a segurança oferecida pela tecnologia blockchain pelos seus sofisticados mecanismos de criptografia e natureza descentralizada (Saad et al., 2019; Atlam e Wills, 2019).

Essas características não apenas asseguram a proteção contra acessos não autorizados, mas também previnem a concentração de vulnerabilidades em um único ponto, consolidando a tecnologia blockchain como uma solução disruptiva para a facilitação e a automatização segura de transações em um amplo espectro de aplicações.

Em nível internacional, o interesse despertado pela tecnologia blockchain tem crescido cada vez mais, materializado pelo surgimento de diversas iniciativas como o European Union Blockchain Observatory and Forum, lançado em fevereiro de 2018 pela Comissão Europeia, em colaboração com o Parlamento Europeu; o Global Blockchain Policy Centre, criado pela Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) para estudar os benefícios e riscos da tecnologia blockchain para economias e sociedades, bem como seu uso em áreas políticas específicas; a Blockchain Task Force, coordenada pela World Intellectual Property Organization (WIPO), e o Technical Committee ISO/TC 307, com foco na normalização internacional da tecnologia blockchain e tecnologias distribuídas.

De acordo com a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2022), prevê-se que a tecnologia blockchain impulse nos próximos anos a transformação digital na interação entre empresas, governos e sociedades, inclusive em nível global. Particularmente, a aplicação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais tem sido objeto de experimentação em diversos países (p.ex., Suécia, República da Geórgia e Brasil) e de estudos sobre o uso dessa tecnologia para aprimorar a prestação dos serviços notariais e registrais, cuja revisão será apresentada no capítulo 2.

A adoção da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais pode trazer vantagens nos procedimentos notariais e registrais como um todo. Salles (2019) e Lopes (2021) destacam os seguintes benefícios da adoção de soluções baseadas na

tecnologia blockchain em serviços notariais e registrais: (i) o aumento da confiança entre as partes envolvidas, com redução significativa dos riscos na operação; (ii) a alta qualidade dos dados, por estarem disponíveis de forma completa, consistente e precisa; (iii) a integridade do processo, na medida em que os protocolos serão executados em conformidade com a regulamentação; (iv) a ampliação da transparência para os usuários ao permitir-lhes acesso e rastreio da cadeia de operações executadas; e (v) a digitalização dos documentos em código.

Nas experiências-piloto da implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais na Suécia, República da Geórgia e Brasil, reportadas por Shang e Price (2018); McMurren et al. (2018); Lemieux (2017a); Flores et al. (2018); e Salles (2019), houve uma agregação de desenvolvimento com a tecnologia, sem que houvesse uma substituição dos responsáveis pela gestão legal das serventias. Ao manter a intervenção do Estado ou de terceiros com a incumbência da função pública de intermediação e governança dos serviços notariais e registrais, adotaram-se modelos privados ou híbridos para o emprego da tecnologia blockchain nos casos reportados.

As experiências-piloto de maior sucesso foram implementadas com transações registradas diretamente na rede blockchain (Salles, 2019). No caso da República da Geórgia, os fatores que levaram ao sucesso da iniciativa foram os documentos fundiários predominantemente já digitalizados e a vontade política e a viabilidade de adotar o ambiente regulatório (Shang e Price, 2018).

Já na Suécia, o sucesso pode ser atribuído a um ambiente legal não regulamentado (McMurren et al., 2018). Segundo Lemieux (2017a), o projeto sueco é um exemplo de adoção da tecnologia blockchain como uma tecnologia adaptada ao registro, não uma revisão completa do sistema. Não altera as regras dos negócios jurídicos, mas apenas busca aprimorá-los com as novas tecnologias. Portanto, a autoridade de manutenção de registros deve ser mantida em uma mistura de blockchains públicos e autorizados. Seria considerado permissionado, pois apenas um número limitado de atores do órgão de registro aprovaria os bloqueios, e público, dada a informação disponível permanentemente.

No Brasil, em um primeiro momento, adotou-se a duplicidade de registros nas serventias de João Pessoa, São Paulo e Pelotas, criando-se um registro em blockchain ao mesmo tempo em que se preservou o registro notarial atual. No caso do Cartório de Registro de Imóveis nos municípios de Pelotas (RS), Flores et

al. (2018) afirmam que, embora haja benefícios potenciais da aplicação da tecnologia, como eficiência aprimorada, fricção transacional reduzida, maior segurança, ainda há muitos aspectos da solução que requerem melhoria e possível redesenho a partir de uma perspectiva da ciência arquivística.

Além dos estudos sobre as experiências-piloto na Suécia, República da Geórgia e Brasil, a revisão bibliográfica inclui 23 estudos publicados no período de 2017 a 2023, que abordaram aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais sob diferentes perspectivas (p.ex., Karumba et al., 2023; Menezes et al., 2023; Ulloa e Galegos, 2022; Ooi et al., 2022; Garcia-Teruel e Simón-Moreno, 2021; Lopes, 2021; Fill e Härer, 2020; Sousa et al., 2020; Páez et al., 2020; Wittek et al., 2020; Pinto e Silva, 2020). Com base nos resultados da análise de conteúdo dos textos completos desses estudos, constatou-se que nenhum deles abordou o tema de análise de investimentos para implementação dessa tecnologia em serviços notariais e registrais.

Na perspectiva do desenvolvimento de modelos de análise de investimentos para implementação da tecnologia blockchain em serviços notariais e registrais no Brasil, destacam-se os seguintes desafios: (i) ser uma tecnologia emergente, disruptiva, sem a estabilidade característica de tecnologias maduras e universalmente implementadas; (ii) não haver ainda uma regulamentação sobre o tema no ordenamento jurídico brasileiro; (iii) existir desconfiança sobre a segurança cibernética e a privacidade ao se inserir dados sensíveis dos usuários em uma rede blockchain; e (iv) necessitar possivelmente de investimento de capital inicial substancial para sua implementação nas serventias extrajudiciais (Kümpel e Borgarelli, 2017; Salles, 2019; e Lopes, 2021).

Ante os desafios postos, os métodos tradicionais de análise de investimentos são insuficientes para garantir aos gestores informações relevantes e satisfatórias na tomada de decisão sobre projetos de investimento sob incerteza, como na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais. A Teoria das Opções Reais (TOR) mostra-se, portanto, a mais adequada para projetos dessa natureza (Law et al., 2004; Brandão et al., 2005; Freitas e Brandão, 2009; Pinto, 2009; Dias, 2014).

Justifica-se a adoção da Teoria das Opções Reais nesta pesquisa, por se tratar de uma metodologia para avaliação de ativos reais, como os projetos de investimento na tecnologia blockchain, que leva em conta as flexibilidades

operacionais e gerenciais ao longo da vida útil do projeto. Brandão et al. (2005) argumentam que uma das mais significativas limitações do método do fluxo de caixa descontado é que ele falha em não inserir o valor da flexibilidade da gestão inerente a muitos tipos de projetos. Considera-se, portanto, que a utilização da análise de investimentos com opções reais no contexto da implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais possa incorporar e precificar o valor da flexibilidade à análise.

Ao propor um modelo teórico para análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain nas operações de serventias extrajudiciais no Brasil, esta pesquisa buscará contribuir para o avanço do conhecimento sobre o emprego da TOR na análise de investimento em tecnologias disruptivas no âmbito de serventias extrajudiciais, visto que os poucos estudos prévios que empregaram essa abordagem metodológica para analisar investimentos em blockchain focalizaram outros contextos (Bhimani et al., 2020; Sánchez Pérez et al., 2020; Zhao e Min, 2020; Vazov et al., 2022; e Marques, Gomes e Brandão, 2023).

1.1.

Definição do problema de pesquisa

A contextualização do tema e a revisão da literatura permitiram evidenciar as lacunas a serem exploradas nesta pesquisa e fundamentaram a formulação das seguintes questões norteadoras:

- QN1 - Quais as contribuições do estado-da-arte sobre análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain nos mais diversos setores da economia? E em particular em serventias extrajudiciais?
- QN2 - Quais são as espécies de serventias notariais e registrais existentes no ordenamento jurídico brasileiro? E quais as oportunidades de adoção da tecnologia blockchain nas diferentes espécies?
- QN3 - Em que medida o emprego da Teoria das Opções Reais (TOR) vem contribuindo para o avanço do conhecimento empírico sobre análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain?
- QN4 - Como aplicar a TOR para apoiar processos decisórios sobre investimento em tecnologia blockchain nas operações de diversas

espécies de serventias extrajudiciais, segundo o ordenamento jurídico brasileiro?

1.2.

Objetivos: final e intermediários

Buscando-se responder as questões norteadoras da pesquisa, o objetivo final da dissertação é contribuir para o avanço do conhecimento sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, segundo o ordenamento jurídico brasileiro.

Para atingir o objetivo final, formularam-se os seguintes objetivos intermediários:

- Investigar as contribuições do estado-da-arte sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain, visando fundamentar a fase de modelagem da pesquisa;
- Mapear as espécies de serventias notariais e registrais existentes no ordenamento jurídico brasileiro, associando-as aos níveis de adoção da tecnologia blockchain;
- Analisar as potenciais contribuições da análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain nas diversas espécies de serventias extrajudiciais no Brasil;
- Propor modelo teórico para análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain nas operações de diversas espécies de serventias extrajudiciais no Brasil;
- Demonstrar a aplicabilidade do modelo teórico, a partir de dados coletados nos arquivos de uma serventia extrajudicial localizada no Estado do Paraná.

1.3.

Delimitação do estudo

Este estudo aborda o emprego da análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, segundo o ordenamento jurídico brasileiro. A demonstração da aplicabilidade do modelo teórico será realizada a partir de dados primários de uma serventia extrajudicial localizada no Estado do Paraná.

A inexistência de estudos anteriores sobre o tema central desta dissertação pode ser comprovada pelos resultados das buscas nas principais bases de dados de publicações científicas (Apêndice A), pela análise das experiências-piloto na Suécia, República da Geórgia e Brasil e de 23 estudos que examinaram o uso da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais. Evidenciaram-se as lacunas a serem exploradas nesta pesquisa e a oportunidade de se utilizar a TOR na análise de investimentos em tecnologias disruptivas no contexto das serventias extrajudiciais, com base no caso brasileiro.

1.4. Metodologia

Segundo a taxonomia proposta por Vergara (2015; 2016), a pesquisa é considerada aplicada, descritiva e metodológica (quanto aos fins). Pode ser classificada como descritiva, considerando a apresentação do estado-da-arte sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain nos mais diversos setores e, em particular, em serventias extrajudiciais.

Esta pesquisa pode ser classificada também como metodológica, uma vez que durante seu desenvolvimento será proposto um modelo teórico de análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain no contexto de serventias extrajudiciais, segundo o ordenamento jurídico brasileiro.

Trata-se de uma pesquisa aplicada, tendo em vista que será demonstrada a aplicabilidade do modelo teórico, mediante o desenvolvimento de um estudo empírico contemplando a análise de investimentos com opções reais em um escritório do Estado do Paraná. Com base nos resultados, será possível avaliar os potenciais impactos econômicos e não econômicos da adoção da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais no Brasil.

Quanto aos meios de investigação, a metodologia compreende:

- Pesquisa bibliográfica e análise documental sobre o tema central da dissertação - análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais;
- Análise de conteúdo (Krippendorff, 2018) para mapear as espécies de serventias notariais e registrais existentes no ordenamento jurídico brasileiro, associando-as aos níveis de adoção da referida tecnologia reportados na literatura;

- Desenvolvimento do modelo teórico para análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain nas operações de diversas espécies de serventias extrajudiciais no Brasil, considerando diferentes níveis de adoção dessas tecnologias e tipos de opções reais (p.ex., opções de expansão);
- Demonstração da aplicabilidade do modelo proposto, a partir de dados coletados em uma serventia extrajudicial localizada no Estado do Paraná.

A figura 1.1 apresenta o desenho da pesquisa, destacando seus componentes e métodos, de acordo com três fases principais: (i) exploratória e descritiva; (ii) pesquisa aplicada; e (iii) conclusiva.

Detalham-se, a seguir, o desenvolvimento das três fases e os resultados esperados em cada bloco da figura 1.1.

1.4.1.

Fase exploratória e descritiva

Iniciada durante a elaboração desta dissertação, a fase exploratória da pesquisa compreende pesquisa bibliográfica e documental, com o objetivo de levantar estudos prévios e documentos de referência para delimitação do tema central da pesquisa – ‘Análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais’. Na sequência, aprofunda-se a pesquisa bibliográfica e documental, incluindo o uso das estratégias *backward* e *forward snowballing*, para responder as três primeiras questões norteadoras.

Como resultado, selecionaram-se 23 estudos prévios sobre a adoção da tecnologia blockchain por serventias extrajudiciais em diversos países, inclusive o Brasil (p.ex., Karumba et al., 2023; Menezes et al., 2023; Ulloa e Galegos, 2022; Ooi et al., 2022; Garcia-Teruel e Simón-Moreno, 2021; Lopes, 2021; Fill e Härer, 2020; e Sousa et al., 2020). No entanto, após a análise de conteúdo detalhada, constatou-se que nenhum dos estudos anteriores abordou o tema análise de investimentos na tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, tanto no Brasil, quanto em outros países. Isso posto, os resultados da revisão bibliográfica dos referidos estudos permitiram evidenciar as lacunas da literatura a serem exploradas na presente pesquisa.

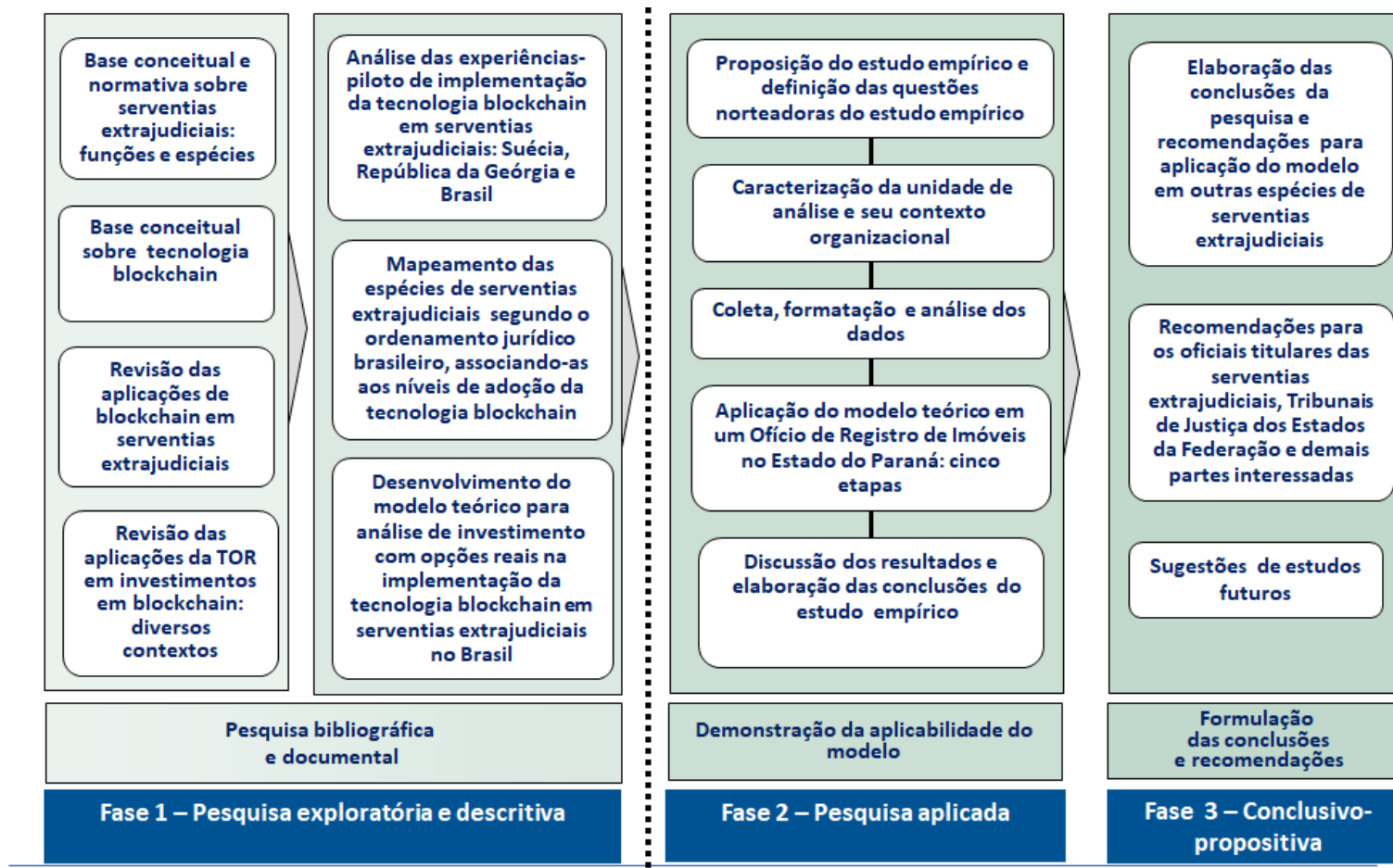


Figura 1.1 – Desenho da pesquisa, seus componentes e métodos

Ainda na fase exploratória e descritiva, realiza-se o mapeamento das espécies de serventias notariais e registrais existentes no ordenamento jurídico brasileiro *vis-à-vis* os níveis de adoção da tecnologia blockchain reportados na literatura, em resposta à segunda questão norteadora. Nesta fase, mapeiam-se também as diversas incertezas inerentes a projetos de investimento na tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais no Brasil e selecionou-se aquela com maior aderência ao objetivo final da pesquisa, a saber a receita. Na sequência, buscando responder a quarta questão norteadora, desenvolve-se um modelo teórico com base na TOR para se avaliar investimentos na tecnologia blockchain em diversas espécies de serventias extrajudiciais segundo o ordenamento jurídico brasileiro. Considerando diferentes níveis de adoção dessa tecnologia, tipos de opções reais e a incerteza inerente a esse tipo de projeto de investimento, propõe-se o emprego do modelo binomial de tempo discreto com opções de expansão e exercício a qualquer momento (opção americana).

Para complementar a revisão bibliográfica de estudos prévios sobre o tema central da pesquisa, realiza-se também nesta fase uma análise dos poucos estudos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em diferentes contextos socioprodutivos (Bhimani et al., 2020; Sánchez Pérez et al., 2020; Zhao e Min, 2020; Vazov et al., 2022; e Marques, Gomes e Brandão, 2023), visando justificar empiricamente a escolha da TOR como abordagem metodológica central na fase de modelagem, em resposta às questões norteadoras 1 e 3.

Uma visão geral e esquemática dos resultados desta primeira fase é representada graficamente no formato de um mapa conceitual (figura 1.2).

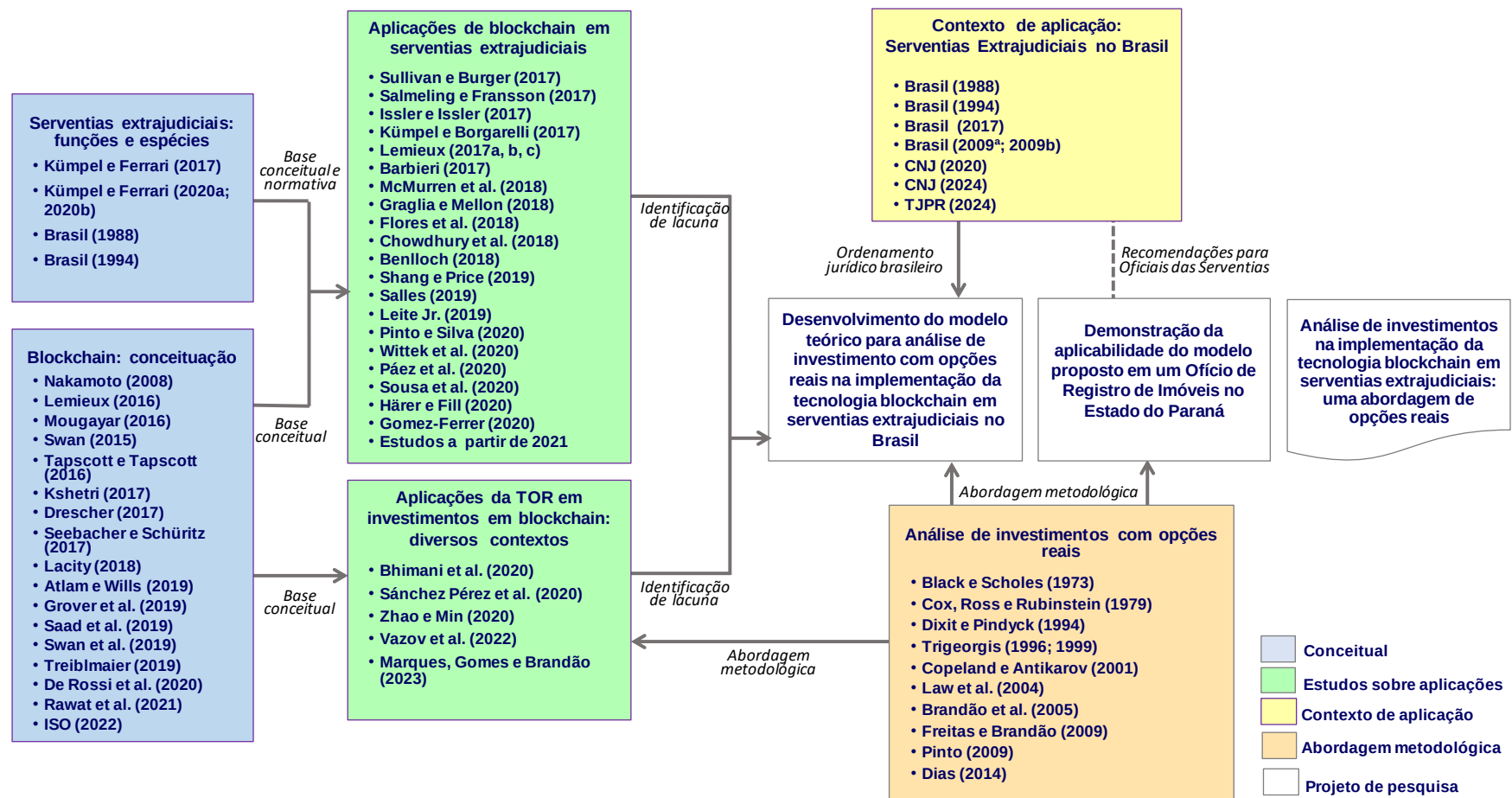


Figura 1.2: Mapa conceitual da pesquisa

1.4.2

Fase de pesquisa aplicada

Para responder a quatro questão norteadora, prevê-se o desenvolvimento de um estudo empírico seguindo sete etapas, a saber:

- (i) definição dos objetivos e questões norteadoras do estudo empírico;
- (ii) definição da unidade de análise e do contexto organizacional de aplicação;
- (iii) definição do projeto de investimento em blockchain na serventia extrajudicial selecionada;
- (iv) modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB);
- (v) determinação dos parâmetros do modelo binomial e construção da respectiva árvore;
- (vi) valoração da opção de expansão; e
- (vii) análise de sensibilidade e flexibilidade.

A partir da demonstração empírica do modelo teórico proposto, analisam-se e discutem-se seus resultados.

1.4.3

Fase conclusivo-propositiva

Na terceira e última fase, elaboram-se a conclusão geral e as específicas em relação a cada uma das questões norteadoras enunciadas nesta introdução. Formulam-se também recomendações aos diversos atores interessados na aplicação do modelo proposto, além de sugestões para estudos futuros como desdobramentos desta pesquisa.

1.5

Estrutura da dissertação

A dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos, incluindo esta introdução.

No capítulo 2, apresenta-se o referencial teórico em três seções, a saber: (i) conceituação da tecnologia blockchain, componentes, características e desafios na implementação em diversos setores da economia; (ii) caracterização de serventias extrajudiciais, suas funções e potencial de aplicação da tecnologia blockchain; e (iii) análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia

blockchain, incluindo revisão de estudos empíricos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em outros contextos socioprodutivos.

No capítulo 3, propõe-se um modelo teórico para análise de investimento com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais no Brasil. Este modelo compreende cinco etapas: (i) definição do projeto de investimento em blockchain; (ii) modelagem da incerteza do investimento pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB); (iii) determinação dos parâmetros do modelo binomial e construção da respectiva árvore; (iv) valoração das opções de expansão; (v) análise de sensibilidade e flexibilidade.

No capítulo 4, apresentam-se e discutem-se os resultados de um estudo empírico conduzido em uma serventia extrajudicial localizada no Estado do Paraná. Aplica-se o modelo teórico proposto no capítulo anterior para a análise de investimento na implementação da tecnologia blockchain nesta serventia extrajudicial.

Finalmente, no capítulo 5, formulam-se as conclusões da pesquisa e endereçam-se recomendações para estudos futuros, como desdobramentos naturais e aprofundamento de aspectos relevantes que emergiram desta dissertação.

2

Referencial teórico

O referencial teórico foi elaborado com base nos resultados da busca de documentos indexados nas bases de dados Web of Science e Scopus (Apêndice A), complementados com teses e dissertações levantadas na base Networked Digital Library of Theses and Dissertations (NDLTD) e outros documentos relevantes acessados pelo Google Scholar. Compreende: conceituação da tecnologia blockchain, componentes, características e desafios na implementação em diversos setores da economia; (ii) caracterização de serventias extrajudiciais, suas funções e potencial de aplicação da tecnologia blockchain; e (iii) análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain, incluindo revisão de estudos empíricos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em outros contextos socioprodutivos.

2.1.

Tecnologia blockchain: conceito, componentes, características e desafios da implementação

Esta seção sintetiza os conceitos básicos da tecnologia blockchain, seus componentes, principais características e desafios da implementação nos mais diversos setores da economia.

O termo blockchain tem origem no conceito original de bitcoin introduzido por um usuário que usou o pseudônimo Satoshi Nakamoto (2008). Desde então, modificações têm sido feitas a partir do conceito original e novas aplicações têm sido construídas utilizando a tecnologia blockchain.

Para fins desta pesquisa, define-se tecnologia blockchain como um banco de dados distribuído que mantém um livro-razão imutável e compartilhado, auxiliando o processo de registro de transações e controle de ativos em uma rede blockchain. Os registros são criptografados e protegidos contra adulteração, revisão e exclusão. Como resultado, qualquer ativo pode ser controlado e

negociado em uma rede blockchain, o que reduz riscos e custos para todas as partes envolvidas (Swan, 2015; Lemieux, 2016; Lacity, 2018; Saad et al., 2019).

A tecnologia blockchain é constituída por dois componentes principais: (i) uma rede descentralizada, que facilita e verifica as transações, e (ii) um livro-razão (ledger) imutável e compartilhado que a rede mantém. Na rede blockchain não há nenhum ponto de falha a partir do qual registros ou recursos digitais possam ser corrompidos (Drescher, 2017; Atlam e Wills, 2019; De Rossi et al., 2020). Em função da contabilidade distribuída da tecnologia blockchain, são inúmeras suas aplicações em todos os tipos de registros e transações digitais (Swan et al., 2019), incluindo serventias extrajudiciais – contexto de aplicação na presente pesquisa.

As principais características desta tecnologia incluem a natureza distribuída do blockchain, a imutabilidade dos dados e a necessidade de se chegar a um consenso sobre quais transações devem ser registradas. Tais características abrem uma ampla variedade de aplicações nos mais diversos setores da economia. No quadro 2.1, listam-se as características essenciais da tecnologia blockchain, com base na revisão da literatura elaborada por Treiblmaier (2019).

Quadro 2.1: Características da tecnologia blockchain

Características	Consequências	
	Positivas	Negativas
Imutabilidade	Internet de valor e rastreabilidade	Inflexibilidade
Transparência	Eficiência na recuperação de dados	Privacidade, vazamento de informações
Programabilidade	Execução de forma determinística	Código-fonte imutável
Descentralização	Desintermediação	Desintermediação
Consenso	Minimização da confiança requerida	Consumo de energia, potencial centralização de energia
Confiança distribuída	Estabelecimento da confiança	Eliminação de relacionamentos pessoais

Fonte: Treiblmaier (2019).

O considerável interesse pela tecnologia blockchain tem sido impulsionado pelo potencial de aplicação em muitos setores, como reportado em trabalhos publicados nos últimos oito anos (Rawat et al., 2021; Swan et al., 2019; Saad et al., 2019; Lacity, 2018; Seebacher e Schüritz, 2017; Tapscott e Tapscott, 2016; Lemieux, 2016; e Mougayar, 2016). No entanto, a implementação efetiva da tecnologia blockchain em diferentes campos de aplicação deve considerar os respectivos sistemas sociais, institucionais, regulatórios, econômicos e físicos,

que, por sua vez, podem gerar inúmeros desafios na fase de sua implementação, conforme mostrado no quadro 2.2.

Quadro 2.2: Desafios na implementação da tecnologia blockchain

Desafio	Descrição
Taxa de transações	Número de transações sendo processadas em um determinado período de tempo.
Latência	Quantidade de tempo antes de uma transação ser processada.
Tamanho e largura de banda	A tecnologia blockchain evolui ao longo do tempo à medida que novos blocos são constantemente adicionados. Isso também consome largura de banda considerável para baixar os dados.
Recursos desperdiçados	Ineficiências intrínsecas da tecnologia blockchain, como redundância na transmissão de dados, armazenamento e protocolos de consenso com consumo considerável de energia.
Usabilidade	Interações dos usuários com aplicações baseadas em blockchain.
Versão difícil	Uma infinidade de versões e garfos de blockchain facilitam ataques cibernéticos e dificultam transações cruzadas.
Existência de garfos, várias versões	O direito de controlar o acesso a informações (pessoais) e também de excluí-las.
Privacidade	Dúvidas sobre a veracidade do conteúdo do blockchain.
Qualidade probatória e confiabilidade dos registros	Ainda não surgiram normas referentes a direitos de acesso a dados, estruturas e transações permitidas.
Falta de regulamentação	A legislação está atrasada em relação ao desenvolvimento da tecnologia blockchain.
Regulamentos	As soluções tecnológicas baseadas em blockchain exigem novas estruturas que podem alterar completamente a governança existente.
Governança compartilhada	Atração de uma massa crítica de usuários.
Ecossistema viável	A tecnologia blockchain é alvo potencial de ataques cibernéticos.

Fontes: Saad et al. (2019); Lacity (2018); Kshetri (2017); Tapscott e Tapscott (2016); Lemieux (2016); e Swan (2015).

No Brasil, uma recente iniciativa denominada Rede Blockchain Brasil (RBB) foi lançada pelo Tribunal de Contas da União (TCU) e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) em maio de 2022. A rede pública, sem fins lucrativos, já funciona em caráter experimental e a previsão é de que a primeira aplicação descentralizada ocorra em 2023. O emprego da tecnologia blockchain busca trazer inovação, eficiência, transparência e integridade a atos e contratos da administração pública (CNN Brasil, 2022).

A RBB será uma base de dados pública, com o armazenamento de informações em blocos encadeados de forma sequencial. Deverá haver consenso entre as partes para que os documentos sejam aceitos na rede e, uma vez publicados, não podem ser modificados nem deletados, garantindo assim segurança e integridade dos dados. A Rede contará com três tipos de participantes: (i) patronos, que serão somente o TCU e o BNDES, com poder de

voto e veto; (ii) os participantes associados, que participarão da governança com voto e serão responsáveis pelos nós, com validação e registro das transações válidas na cadeia blockchain; e (iii) os parceiros, que podem usar a rede e fazer transações, mas não participam no núcleo de validação e consenso.

Em maio de 2020, o Conselho Nacional de Justiça (CNJ) publicou o Provimento nº 100/2020, que possibilitou a integração oficial da tecnologia blockchain ao sistema de cartórios no Brasil. O texto regulamentou a aguardada realização dos atos notariais online e instituiu a plataforma e-Notariado, criada e gerida pelo Conselho Federal do Colégio Notarial do Brasil (CNB/CF), para implementar a prática dos atos notariais eletrônicos no País (CNJ, 2020).

É nesse cenário que as serventias extrajudiciais, com sua expertise em registros e segurança jurídica, podem não só utilizar essa e outras aplicações baseadas em blockchain para otimizar seus serviços, visando economizar tempo e aumentar a segurança das operações, como também trazer benefícios aos usuários dos serviços, ao permitir transações que atualmente só podem ser realizadas fisicamente.

2.2.

Serventias extrajudiciais: funções e potencial de aplicação da tecnologia blockchain

Nesta seção, descrevem-se inicialmente as funções e espécies de serventias extrajudiciais de acordo com o ordenamento jurídico brasileiro. Na sequência, apresentam-se os resultados de projetos-piloto realizados na Suécia, República da Geórgia e Brasil para ilustrar o potencial de aplicação da tecnologia blockchain nesse contexto. Além disso, caracterizam-se os níveis de adoção da tecnologia blockchain em serviços notariais e registrais de acordo com a escala proposta por Graglia e Mellon (2018). Ao final, mapeiam-se as potenciais aplicações da tecnologia blockchain em relação aos níveis de adoção descritos anteriormente.

2.2.1.

Serventias extrajudiciais: funções e espécies existentes no ordenamento jurídico brasileiro

No Brasil, os serviços notariais e registrais têm por finalidade garantir a publicidade, autenticidade, segurança e eficácia dos atos jurídicos (Kümpel e Ferrari, 2017; 2020a; 2020b). A publicidade garante o acesso às informações e aos

atos praticados na serventia extrajudicial. A autenticidade é a característica segundo a qual os atos praticados na serventia extrajudicial são verdadeiros, e isso é assegurado pela fé pública do oficial titular. A segurança confere estabilidade às relações jurídicas e confiança no ato praticado. A eficácia é a aptidão do ato notarial ou registral de produzir seus efeitos jurídicos.

Apesar de ser um serviço público essencial, a atividade é prestada em caráter privado por um particular, denominado tabelião ou registrador, dotado de fé pública. O Poder Público delega o exercício da atividade notarial e registral a esse particular, após ter sido aprovado em concurso público (Brasil, 1988). O oficial titular é remunerado com os emolumentos, fixados pelo Poder Público e pagos pelos usuários do serviço. Em razão disso, o oficial titular é civilmente responsável por todos os prejuízos que pessoalmente ou seus funcionários causarem, por culpa ou dolo, a terceiros (Brasil, 1973).

Em razão da especialidade do serviço público, foram criadas no ordenamento jurídico brasileiro espécies de serventias extrajudiciais, cada qual com suas atribuições: (i) tabelionato de notas; (ii) tabelionato e registro de contratos marítimos; (iii) tabelionato de protesto de títulos; (iv) registro de imóveis; (v) registro de títulos e documentos e civis das pessoas jurídicas; (vi) registro civil das pessoas naturais e de interdições e tutelas; (vii) registro de distribuição (Brasil, 1973).

Independentemente da espécie de serventia extrajudicial, compete a todos os notários formalizar juridicamente a vontade das partes; intervir nos atos e negócios jurídicos para dar forma legal ou autenticidade; e autenticar fatos (Brasil, 1994).

Os tabeliães de notas têm competência para lavrar escrituras e procurações públicas; lavrar testamentos públicos e aprovar os cerrados; lavrar atas notariais; reconhecer firmas; e autenticar cópias (Brasil, 1994). Os tabeliães e oficiais de registro de contratos marítimos devem lavrar os atos, contratos e instrumentos relativos a transações de embarcações; registrar esses documentos; reconhecer firmas em documentos destinados a fins de direito marítimo; e expedir traslados e certidões dos documentos lavrados (Brasil, 1994). Por sua vez, é função dos tabeliães de protesto de título protocolar os documentos de dívida como prova do descumprimento da obrigação jurídica, com a intimação dos devedores para pagamento, sob pena de protesto e abalo do crédito (Brasil, 1994).

Já os oficiais de registro de imóveis são responsáveis por manter atualizada a matrícula de imóvel de sua circunscrição geográfica com registros e averbações de atos constitutivos, translativos, declaratórios ou extintivos de direitos reais (Brasil, 1973).

Os escritórios de registro títulos e documentos têm por objetivo conservar quaisquer documentos e preservar direitos relativos a negócios jurídicos sobre bens móveis ou valores imobiliários. No exercício de suas funções, esses escritórios são responsáveis por notificar pessoas sobre diversas situações e matérias (Brasil, 1973).

Os escritórios de registro civil das pessoas jurídicas têm por atribuição registrar atos constitutivos e averbar alterações de pessoas jurídicas não empresárias sob sua circunscrição geográfica, a fim de conferir-lhes personalidade jurídica e existência legal (Brasil, 1973). Os escritórios de registro das pessoas naturais são responsáveis por documentar fatos naturais da vida humana das pessoas domiciliadas em sua circunscrição geográfica, como nascimento, casamento e óbito (Brasil, 1973).

Por fim, os escritórios de distribuição são responsáveis pela distribuição equitativa dos serviços da mesma natureza aos escritórios de tabelionato de protesto e de registro de títulos e documentos (Brasil, 1973).

2.2.2.

Aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais

Como mencionado na introdução, vários estudos publicados no período de 2017 a 2023 abordaram aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais em diversos países, inclusive o Brasil, destacando os benefícios e desafios na implementação dessa tecnologia em serviços notariais e registrais.

Neste item, apresentam-se inicialmente os resultados de experiências-piloto para implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais na Suécia, República da Geórgia e no Brasil, que visaram melhorar a prestação de serviços notariais e registrais, integrando essa tecnologia em seus processos, porém sem substituir seus titulares oficiais (McMurren et al., 2018; Flores et al., 2018; Shang e Price, 2019; Gomez-Ferrer, 2020; Bennett et al., 2021). Modelos privados ou híbridos foram adotados para o uso da tecnologia blockchain nos casos aqui relatados, na perspectiva de manter a intervenção governamental ou de

terceiros com a responsabilidade da função pública de intermediação e governança dos serviços notariais e registrais (Bennett et al., 2021).

Na sequência, complementa-se essa visão com os resultados da meta-análise de 23 estudos publicados no período de 2017 a 2023 sobre o uso da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, visando evidenciar as lacunas a serem exploradas na presente pesquisa.

Experiência-piloto na Suécia

A experiência-piloto na Suécia foi desenvolvido na Lantmäteriet (a autoridade sueca de mapeamento, cadastro e registro de terras) durante o período de 2016 a 2018, com o objetivo de estudar e testar as possibilidades do emprego da tecnologia blockchain em transações imobiliárias e processos de escritura de hipotecas, incluindo registros de terras. Essa iniciativa foi patrocinada por um consórcio formado por consultores de negócios, fornecedores de tecnologia e instituições financeiras, a saber: Kairos Future (empresa de consultoria), Telia (fornecedor de tecnologia), ChromaWay (fornecedor de tecnologia), SBAB Bank e Landshypotek (instituições financeiras) (McMurren et al., 2018).

A prova de conceito foi realizada em todas as fases do processo de venda de um determinado imóvel, incluindo a transmissão de propriedade do terreno. O sistema sueco inclui comprador, vendedor, agente imobiliário, banco comprador, banco vendedor e registro de imóveis. O processo existente antes da adoção da nova tecnologia foi caracterizado por: (i) incluir trinta e quatro etapas; (ii) levar semanas ou meses para ser concluído; (iii) fazer uso apenas da reutilização limitada de dados entre as etapas; (iv) ainda ser em grande parte com documentos impressos, assinados e enviados por e-mail; e (v) exigir verificação manual de identidade (McMurren et al., 2018; Bennett et al., 2021).

A solução baseada em blockchain aplicada pela ChromaWay dependia de um blockchain privado com permissão (Postchain Blockchain), que emprega contratos inteligentes (Esplix Smart Contract) para registrar o processo de fluxo de trabalho da contratação. Esta solução apresentava as seguintes características: (i) apenas as partes do contrato referiam-se aos dados da contratação; (ii) o contrato não seria totalmente executado sem o cumprimento dos requisitos de dados e assinatura; e (iii) os protocolos do contrato podem ser distribuídos por fornecedores terceirizados ou diretamente por meio de aplicativos desenvolvidos

pelo registro. A última característica foi considerada altamente benéfica no caso sueco, considerando o número de atores que participam do processo de transmissão em geral.

Os custos operacionais da descentralização são maiores do que os de manter um banco de dados centralizado, devido à necessidade de réplicas contínuas do sistema. Além disso, por ser um blockchain privado, não se trata necessariamente de distribuição, mas de replicação de dados. No entanto, no caso do modelo sueco, esse custo maior pode ser recompensado pela rapidez do registro e pela segurança que o blockchain agrega ao sistema (McMurren et al., 2018).

Os resultados da prova de conceito revelaram uma redução significativa no número de etapas manuais necessárias para uma transação imobiliária (de 34 para 13), maior transparência no processo para todas as partes envolvidas em termos de poder visualizar o status de uma transação a qualquer momento até a conclusão, além de uma distribuição mais barata e simples do protocolo de transferência de propriedade padrão usando um contrato inteligente. No entanto, um desafio significativo foi identificado durante a avaliação da prova de conceito, ou seja, o ordenamento jurídico sueco não permite assinaturas eletrônicas para transações imobiliárias, o que certamente é uma grande restrição em termos de escalar o projeto para o nível de produção.

Em relação ao *status* atual, a rede blockchain e o protocolo de prova de conceito de contrato inteligente foram verificados e testados externamente. Espera-se que haja mais progresso na adoção da tecnologia blockchain nos cartórios na Suécia, assim que as restrições regulatórias de assinatura digital forem equacionadas (Bennett et al., 2021).

Experiência-piloto na República da Geórgia

A República da Geórgia foi um dos primeiros países do mundo a adotar a tecnologia blockchain para registro de imóveis. O projeto de integração de serviços de registro em blockchain começou em 2016 quando o BitFury Group se interessou em desenvolver a infraestrutura de TI da National Agency of Public Registry (NAPR) daquele país. A primeira fase de cooperação com o BitFury Group envolveu o desenvolvimento de um projeto piloto referente ao uso da tecnologia blockchain para registro de imóveis e outros trabalhos técnicos e

preparatórios, visando seu lançamento em ambiente operacional (Shang e Price, 2019).

A NAPR lançou a segunda fase de cooperação com o Grupo BitFury em 2017, prevendo a promulgação do projeto piloto em ambiente operacional e a introdução de contratos inteligentes. Em seguida, a NAPR providenciou o lançamento do projeto piloto de armazenamento de informações sobre extratos de imóveis e registro de empresas em ambiente operacional, além da introdução de contratos inteligentes. Desde 20 de fevereiro de 2017, as informações sobre o extrato de qualquer bem imóvel são enviadas automaticamente para a rede blockchain. É impossível excluir, alterar, reescrever ou manipular ilegalmente os dados armazenados na rede blockchain.

A inovação significa atribuir um *hash* único ao extrato do imóvel. O hash é uma sequência de símbolos, que é único para cada documento, se o mesmo algoritmo for usado. Os *hashes* idênticos na rede blockchain e no site da NAPR confirmam a autenticidade da extração. Consequentemente, com a tecnologia blockchain, a NAPR torna as informações sobre bens imóveis ainda mais seguras, transparentes e acessíveis para todos os interessados. De acordo com a NAPR (2022), qualquer pessoa pode verificar a autenticidade do extrato de bens imóveis na rede blockchain por meio de sites especiais www.blockchain.info, www.blocktrail.com e www.btc.com.

Esta inovação aplica-se às operações de registro correntes e não implica no pagamento de taxas adicionais. Os extratos antigos, ou seja, aqueles preparados até 20 de fevereiro de 2017, puderam ser armazenados na rede blockchain, mas somente mediante renovação. As informações do extrato renovado são armazenadas automaticamente na rede global blockchain. As certidões podem ser renovadas pela internet ou nas sedes territoriais da NAPR, em Salas de Atendimento ao Público e em Centros Comunitários.

Experiências-piloto no Brasil

Três casos de implementação da tecnologia blockchain em cartórios no Brasil são apresentados neste item: (i) o Cartório de Registro de Imóveis dos municípios de Pelotas e Morro Redondo (Estado do Rio Grande do Sul); (ii) um dos cartórios de João Pessoa (Paraíba); e (iii) cinco cartórios no Rio de Janeiro

(Estado do Rio de Janeiro), incluindo o 15º Cartório, o maior deste município e o terceiro do Brasil (Flores et al., 2018).

Em 2017, uma *startup* americana (Ubitquity LCC) anunciou um projeto piloto em parceria com o Cartório de Registro de Imóveis dos municípios de Pelotas e Morro Redondo, ambos no Rio Grande do Sul. O projeto teve como objetivo criar um programa de cadastro de imóveis da região para contribuir para a redução de custos e melhoria da precisão, segurança e transparência dos dados (Flores et al., 2018).

Este projeto introduziu uma plataforma paralela replicando a estrutura de registro existente. Ao adicionar uma camada extra de eficiência e confiança ao sistema atual, a tecnologia blockchain funcionou inicialmente como um backup, caso o original fosse destruído ou perdido (Flores et al., 2018). Na região onde o projeto-piloto foi conduzido, os registros imobiliários poderiam ser comparados com seus equivalentes na blockchain – um registro imutável – e essa verificação garantiria a legitimidade dos registros a todas as partes envolvidas (Ubitquity, 2020).

No entanto, as regras para geração de registros ‘espelhados’ na rede blockchain ainda não foram elaboradas, dado o estágio embrionário do projeto. No entanto, elas podem ser necessárias para garantir o cumprimento dos requisitos legais e garantir que a confiabilidade inicial não seja perdida na transcrição de registros pré-existentes para a rede blockchain (Flores et al., 2018). Do ponto de vista da Ubitquity, esse projeto piloto foi bem-sucedido e inovador, além de ter sido a primeira vez que ocorreu a aplicação da tecnologia blockchain no registro imobiliário em toda a América Latina (Ubitquity, 2020).

Outro projeto refere-se ao Cartório Azevêdo Bastos, localizado em João Pessoa (PB), que implantou em fevereiro de 2018 uma solução tecnológica baseada em blockchain para o registro de pessoas físicas, em parceria com a empresa OriginalMy. A iniciativa trouxe facilidades aos moradores de João Pessoa (PB) e possibilitou a autenticação de documentos por meio do aplicativo para smartphone criado pela OriginalMy. Portanto, além da segurança da rede blockchain, o processo de autenticação de documentos se tornou muito mais rápido e simples. Qualquer documento autenticado na rede blockchain pode ser verificado se é autêntico, tendo sido autenticados mais de 200 documentos dessa maneira.

Com base em dados extraídos do site da *startup* responsável (OriginalMy), o processo começa com uma espécie de pré-autenticação do documento e o encaminhamento para o cartório. Em seguida, o utilitário verifica se o documento não foi adulterado (a tecnologia blockchain garante a integridade) e adiciona o selo de autenticação. Por fim, o usuário obtém a versão autenticada de volta. Também lhe é entregue um código, que pode ser fornecido pelo usuário a qualquer outra pessoa para verificar a autenticidade do documento através do site do cartório. Sua grande vantagem é a imutabilidade e a transparência. Enquanto a nova solução tecnológica ainda está em fase de adaptação, ela tem sido considerada como uma boa solução intermediária e de curto prazo, pois combina eficiência com a fé pública necessária para a realização de determinados atos (como o registro de imóveis).

A *startup* por trás da tecnologia blockchain (OriginalMy) também possui um serviço de validação de identidade via blockchain chamado Block-ID. A pessoa informa uma série de dados pessoais e a empresa faz verificações em diversos bancos de dados públicos para validar essa identidade. Nenhum dado é armazenado na empresa, apenas no celular do usuário. Cerca de 1500 pessoas já criaram identidades com blockchain por meio do OriginalMy. A solução da empresa foi adotada, inclusive, pelo aplicativo Mudamos, criado para coletar assinaturas de projetos de lei da iniciativa popular.

No município do Rio de Janeiro (Estado do Rio de Janeiro), um projeto de blockchain envolveu cinco cartórios, incluindo o 15º Ofício de Tabelionato de Notas (Salles, 2019). Em fase de prototipagem, a solução Notary Ledgers já permitiu a realização de serviços em um ambiente virtual, no qual todas as transações podem ser validadas e registradas em blockchain a partir de diversos Cartórios Brasileiros com atribuições distintas.

A adoção da solução Notary Ledgers visou: (i) melhorar significativamente a experiência do usuário final (pessoa física ou jurídica), uma vez que os serviços notariais podem ser efetuados virtualmente e sem necessidade de deslocamento físico para o cartório; (ii) garantir maior segurança e transparência nas transações, com a tecnologia que a plataforma pode proporcionar a imutabilidade dos registros e a utilização de um registro compartilhado; e, (iii) ampliar o escopo de atuação nas transações no mercado brasileiro, pois, por meio de uma estrutura digital, são integrados a outros sistemas ainda não atendidos pelos cartórios.

A significativa redução de custos refere-se aos custos com pessoal (escrivães, principalmente) e infraestrutura (aluguel, espaço físico, entre outros), que hoje representam 60% dos custos mensais. Já está rodando na plataforma um fluxo de criação de identidade digital, envolvendo o 15º Ofício de Tabelionato de Notas e o Registro de Pessoa Jurídica do Rio de Janeiro (RCPJ-RJ), por meio de validadores, como, por exemplo, o Serviço Federal de Processamento de Dados (Serpro), e reconhecimento facial. A fé pública está sendo totalmente preservada em ambientes físicos, pois as ações continuam sendo validadas e mediadas por serventias extrajudiciais. Isso visa garantir maior segurança jurídica aos atos e serviços praticados no ambiente digital.

Outros estudos sobre o uso da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais

Em complementação aos estudos que relataram experiências-piloto de implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais na Suécia, República da Geórgia e no Brasil, apresenta-se no quadro 2.3, a seguir, uma síntese de 23 estudos sobre o uso da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, publicados no período de 2017 a 2023.

Quadro 2.3: Outros estudos sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco(s)	Abrangência
Sullivan e Burger (2017)	Examinar o Programa de e-Residência da Estônia e suas implicações, especialmente no contexto da autenticação de identidade digital e o uso da tecnologia blockchain para serviços notariais e de registro.	Conceitual	Programa de e-Residência da Estônia Implicações do emprego da tecnologia blockchain em serviços notariais e de registro.	Abrange as implicações legais, políticas e técnicas desses desenvolvimentos, especialmente no contexto da autenticação de identidade, proteção de dados, serviços de confiança digital e a potencial transformação dos serviços tradicionais de cartório por meio da tecnologia blockchain.
Issler e Issler (2017)	Discutir o potencial de emprego da tecnologia blockchain como aliada ao Registro Público Brasileiro, visando modernizar os procedimentos judiciais e extrajudiciais, buscando maior rapidez, segurança, publicidade, autenticidade e eficácia nos registros públicos.	Conceitual	Análise da viabilidade e dos benefícios da adoção da tecnologia blockchain no Registro Público Brasileiro, com ênfase na modernização dos procedimentos, na segurança e na eficiência dos registros públicos.	Discussão teórica sobre a aplicação da tecnologia blockchain, considerando os aspectos legais e práticos relacionados ao Registro Público no Brasil.
Kümpel e Borgarelli (2017)	Analisar a aplicação da tecnologia blockchain na atividade notarial e registral, considerando seus impactos e desafios.	Conceitual	Interação da blockchain com os agentes tradicionais da atividade notarial e registral, como notários e registradores, e sua potencial influência na segurança, confiabilidade e celeridade dos processos	Aborda questões legais, tecnológicas e organizacionais relacionadas à adoção da blockchain nesse setor específico.
Lemieux (2017a)	Explorar questões de arquivamento para ajudar aqueles que consideram a aplicação da tecnologia blockchain na administração de terras a obter uma imagem mais clara de seu impacto potencial no arquivamento de registros de propriedade de terras.	Conceitual	Avaliação de três soluções exemplares de blockchain para o arquivamento de transações de terras, com o objetivo de levantar questões e refletir sobre as implicações dessa tecnologia.	Discussão de questões legais e financeiras relacionadas ao uso de tecnologias blockchains para o arquivamento de registros de propriedade de terras.

Continua....

Quadro 2.3: Outros estudos sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais (cont.)

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco(s)	Abrangência
Lemieux (2017b)	Apresentar uma síntese de pesquisas originais que documentam vários casos de aplicação da tecnologia blockchain na manutenção de registros de transações de terras, médicos e financeiros.	Metodológica. Envolve a análise e síntese de casos de estudo para desenvolver uma tipologia de soluções de blockchain.	Análise de como a tecnologia blockchain está transformando a criação e a manutenção de registros autênticos, bem como as implicações dessas soluções para a preservação de registros a longo prazo.	Aborda diferentes tipos de soluções de blockchain e sua aplicação em diversos setores, como transações de terras, registros médicos e financeiros.
Lemieux (2017c)	Avaliar o potencial das tecnologias de blockchain e registros distribuídos como sistemas confiáveis de registro, utilizando um framework teórico baseado em princípios arquivísticos.	Conceitual	Avaliação da confiabilidade e autenticidade dos registros mantidos em sistemas de blockchain, bem como na análise da integridade e identidade dos registros ao longo do tempo	Aborda as características dos registros confiáveis, a importância da autenticidade e integridade dos registros, e a aplicação prática desses conceitos em ambientes digitais, como no setor imobiliário e de saúde.
Barbieri (2017)	Analisar como a tecnologia blockchain pode revolucionar o sistema de registro de terras. A natureza do estudo é conceitual, pois explora as possibilidades teóricas e práticas da aplicação da tecnologia blockchain no setor de registro de terras.	Conceitual	Características principais da tecnologia blockchain, uso de soluções baseadas em blockchain em assuntos judiciais e, mais especificamente, em registros de terras e avaliação dos riscos e impactos legais relacionados ao uso da tecnologia blockchain nesse contexto.	Engloba desde a discussão teórica sobre a tecnologia blockchain até sua aplicação potencial no setor de registro de terras, considerando exemplos de países em desenvolvimento e desenvolvidos que estão explorando essa tecnologia.
Graglia e Mellon (2018)	Examinar como a tecnologia blockchain, aplicada a escritórios de registros prediais e escritórios imobiliários poderá contribuir para a melhoria dos serviços prestados;	Conceitual Empírica	Pré-requisitos básicos que podem evitar riscos na implementação da tecnologia blockchain, no contexto de registro de propriedade. Níveis de integração do direito de propriedade com a tecnologia blockchain	Analisa os benefícios do emprego da tecnologia blockchain em escritórios de registros prediais e escritórios imobiliários, como redução dos custos e das fraudes e os riscos inerentes à plataforma, como casos de avanço da tecnologia e integração do direito de posse e propriedade.

Continua...

Quadro 2.3: Outros estudos sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais (cont.)

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco(s)	Abrangência
Chowdhury et al. (2018)	Propor uma arquitetura baseada em blockchain para fornecer um serviço de notarização em tempo real em um ambiente de compartilhamento de dados baseado em <i>Personal Data Store</i> (PDS).	Metodológica. Desenvolvimento de uma abordagem e uma arquitetura específicas para resolver um problema identificado no compartilhamento de dados pessoais.	Segurança e autenticidade dos documentos compartilhados, especialmente no contexto de registros acadêmicos e de saúde, enquanto a abrangência aborda a implementação de uma solução baseada em blockchain para garantir a verificação em tempo real da autenticidade dos documentos compartilhados, mantendo a privacidade dos indivíduos envolvidos.	Aborda a implementação de uma solução baseada em blockchain para garantir a verificação em tempo real da autenticidade dos documentos compartilhados, mantendo a privacidade dos indivíduos envolvidos.
Benlloch (2018)	Analisar a digitalização do direito empresarial sob o ponto de vista notarial, especialmente no contexto da Espanha e de outros países com sistemas de segurança jurídica preventiva envolvendo serventias extrajudiciais.	Conceitual.	Papel das serventias extrajudiciais na facilitação da Constituição, alteração e extinção de empresas, com um foco específico no equilíbrio entre sistemas telemáticos e o sistema notarial latino continental.	Explora o arcabouço teórico e os princípios subjacentes à digitalização do direito societário, especialmente sob a perspectiva dos titulares das serventias extrajudiciais. Os autores defendem um sistema que garanta flexibilidade, digitalização e segurança jurídica, respeitando as leis dos Estados-Membros da Comunidade Europeia.
Salles (2019)	Analisar o potencial da tecnologia blockchain no contexto do registro de imóveis no Brasil.	Metodológica.	Avaliação da viabilidade e dos impactos da implementação da tecnologia blockchain no registro de imóveis.	Uso da tecnologia blockchain Contexto do registro de imóveis no Brasil.

Continua...

Quadro 2.3: Outros estudos sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais (cont.)

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco	Abrangência
Leite Jr. (2019)	Analisar de que forma a tecnologia blockchain pode ser utilizada para trazer melhorias ao processo de registro imobiliário brasileiro, analisando a segurança dos sistemas, facilitação das transações e do processo de registro, além de avaliar o potencial da tecnologia para aprimorar as funções dos órgãos de registro.	Metodológica	Análise da efetividade da tecnologia blockchain no registro imobiliário brasileiro.	Aborda não apenas a questão da eficiência na prestação dos serviços notariais e de registro no Brasil, mas também a necessidade de adaptação desses serviços às novas tecnologias e à realidade contemporânea, visando aprimorar a qualidade, a acessibilidade e a competitividade desse setor.
Wittek et al. (2020)	Desenvolver e implementar uma solução blockchain para permitir que os usuários utilizem o serviço de Prova de Existência da Bloxberg dentro do MATLAB.	Metodológica .	Integração do serviço de Prova de Existência da Bloxberg com o MATLAB, destacando especificamente como essa integração pode beneficiar os usuários na verificação da existência de arquivos em pontos específicos no tempo.	Aspectos técnicos da integração do serviço de blockchain com o MATLAB e as aplicações potenciais dessa integração em diversos campos.
Páez et al. (2020)	Propor uma arquitetura para um sistema de documento de identificação eletrônico baseado em biometria e tecnologia blockchain.	Metodológica.	Integração de dados biométricos, como impressões digitais e reconhecimento de íris, com a tecnologia blockchain para melhorar a segurança e autenticação de identidade do usuário.	Proposta de uma rede blockchain para um sistema nacional de documento de identidade eletrônico, bem como a implementação de um novo algoritmo de consenso chamado <i>Tournament Consensus Algorithm</i> (TCA).
Sousa et al. (2020)	Apresentar uma experiência acadêmica baseada em tecnologias de microsserviços e blockchain para serventias extrajudiciais. A natureza do estudo é empírica, pois envolve a implementação de um protótipo e a análise dos resultados obtidos.	Empírica com a implementação de um protótipo e análise dos resultados obtidos.	Demonstração de como as tecnologias de microsserviços e blockchain podem ser aplicadas em serventias extrajudiciais para melhorar a confiança e eficiência na compartilhamento de dados.	Descrição do modelo de negócios proposto, a implementação de um protótipo para emissão de certidão de nascimento e registro dessa certidão em uma blockchain, bem como a discussão sobre decisões de design e lições aprendidas que podem auxiliar outros estudantes e iniciantes nessas tecnologias.

Continua...

Quadro 2.3: Outros estudos sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais (cont.)

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco	Abrangência
Fill e Härer (2020)	Explorar as aplicações potenciais das tecnologias blockchain no contexto dos notários de direito civil, com ênfase na segurança, transparência e eficiência das transações legais.	Conceitual.	Análise de como a tecnologia blockchain pode ser utilizada para melhorar os processos legais conduzidos por notários de direito civil, destacando os benefícios e desafios associados a essa implementação.	Aborda desde a explicação dos fundamentos da tecnologia blockchain até a discussão sobre a necessidade de expertise legal profunda para lidar com transações de alto risco e complexidade nesse contexto específico.
Lopes (2021)	Analisar a viabilidade e os impactos da implementação da tecnologia blockchain na atividade notarial, com foco na segurança, transparência e eficiência dos processos notariais.	Conceitual. Metodológica, ao discutir possíveis abordagens de implementação da tecnologia blockchain no contexto de serventias extrajudiciais.	Análise das implicações da tecnologia blockchain na atividade notarial.	Considera tanto os benefícios potenciais quanto os desafios práticos da adoção dessa tecnologia no contexto de serventias extrajudiciais.
Rosa (2021)	Propor um framework de compartilhamento de dados que garanta a autenticidade dos dados compartilhados em tempo real e forneça privacidade transacional em uma rede blockchain, sob o prisma do sistema jurídico brasileiro.	Metodológica. Desenvolvimento e implementação de uma estrutura específica para atender aos requisitos de segurança e privacidade no compartilhamento de dados pessoais.	Utilização da tecnologia blockchain para garantir a autenticidade dos documentos compartilhados e na proteção da privacidade dos indivíduos envolvidos.	Aborda o potencial de adoção da tecnologia blockchain sob o prisma do sistema jurídico brasileiro. A investigação permitirá identificar que o emprego da ferramenta encontra no direito a abertura necessária, sendo recurso fundamental ao alcance dos fins buscados pela publicidade imobiliária.
Garcia-Teruel e Simón-Moreno (2021)	Analisar a tokenização digital de direitos de propriedade sob uma perspectiva comparativa.	Conceitual.	Aplicação da tecnologia blockchain para representar direitos de propriedade de forma digital, examinando questões legais e práticas associadas a essa inovação.	Análise comparativa de sistemas jurídicos de diferentes países, como Espanha, Alemanha, França, Itália e Holanda, com referências a outros sistemas legais para contextualizar comparativamente a tokenização de direitos de propriedade.

Continua...

Quadro 2.3: Outros estudos sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais (cont.)

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco	Abrangência
Ooi et al. (2022)	Analisar a tecnologia, promessas e perigos do uso de blockchain para transferências de terras, com um foco específico no sistema de transferência de terras.	Conceitual.	Possibilidades teóricas e práticas do uso da tecnologia blockchain para registros de terras, focando no sistema de transmissão inglês.	Visão detalhada das tecnologias de blockchain estabelecidas e emergentes, avaliando as promessas e riscos associados ao uso de blockchain para transferências de terras.
Ulloa e Galegos (2022)	Propor o uso da tecnologia blockchain no atual sistema notarial, utilizando contratos inteligentes para este fim. Nestes contratos, todos os termos ou cláusulas de uma transação são detalhados, como em um contrato tradicional, mas com novas capacidades e mecanismos de segurança específicos da tecnologia blockchain, devido aos seus algoritmos de criptografia nativos, sem a intervenção de terceiros.	Metodológica. Desenvolvimento de uma arquitetura que estabelece os processos de consenso e distribuição do livro-razão geral em cada um dos nós, distribuídos nas diferentes entidades ou organizações de certificação.	Uso da tecnologia blockchain no atual sistema notarial, mediante contratos inteligentes.	Aborda novas capacidades e mecanismos de segurança específicos da tecnologia blockchain, devido aos seus algoritmos de criptografia nativos, sem a intervenção de terceiros no atual sistema notarial..
Menezes et al. (2023)	Propor uma arquitetura de blockchain e contratos inteligentes para serviços notariais, com foco específico no contexto brasileiro e sob o ordenamento jurídico do país.	Conceitual.	Arquitetura de blockchain e contratos inteligentes para serviços notariais Potenciais benefícios e desafios associados à implementação dessa arquitetura no Brasil.	Discussão dos aspectos técnicos, econômicos e regulatórios da implementação da arquitetura proposta.
Karumba et al. (2023)	Apresentar o framework <i>Blockchain Agnostic Interoperability Framework</i> (BAILIF) para facilitar a interoperabilidade entre tecnologias de blockchain no contexto de serventias extrajudiciais.	Conceitual.	Apresentação do BAILIF como uma solução para permitir a troca de dados, transferência de ativos e trocas atômicas entre plataformas de blockchain no contexto de serventias extrajudiciais.	Aborda os princípios de design do framework, sua arquitetura em camadas e componentes específicos, como o Sistema de Notário Descentralizado (DNS) e o protocolo XCAV.

2.2.3.

Níveis de adoção da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais

Os projetos-piloto conduzidos em cartórios da Suécia e República da Geórgia adotaram soluções tecnológicas baseadas em blockchain que foram desenvolvidas para enfrentar desafios relacionados a terras e propriedades. Graglia e Mellon (2018) examinaram como a tecnologia blockchain foi aplicada a ofícios de registros prediais e escritórios imobiliários e discutiram como os serviços prestados pelos cartórios poderão evoluir com suporte dessas novas soluções tecnológicas. Nessa perspectiva, os autores propuseram uma escala de oito pontos para avaliar o nível de adoção do registro de propriedades em blockchain, conforme apresentado no quadro 2.4.

Quadro 2.4: Escala de adoção do registro de propriedades em blockchain

Nível	Nome	Descrição	Exemplos
0	Sem integração	Nenhum uso de blockchain.	Maioria dos países
1	Gravação em blockchain	Blockchain público usado para registrar documentos.	Brasil, República da Georgia e Dubai
2	Fluxo de trabalho (Workflow) inteligente	Blockchain usado para registrar o andamento das transações.	Registro de propriedades na Suécia e Dubai
3	Contratos inteligentes	Contratos inteligentes usados para pagamentos em garantia.	Propy
4	Registros em blockchain	Banco de dados central substituído por um blockchain autorizado.	República da Georgia Georgia e Dubai
5	Direitos desagregados	Vários direitos a uma parcela simples são desagregados e gerenciados via blockchain.	Nenhum exemplo identificado.
6	Direitos fracionários	Os direitos de uma determinada parcela são fragmentados e gerenciados via blockchain.	Nenhum exemplo identificado.
7	Transações <i>peer to peer</i>	Os direitos são transacionados sem intermediários no sistema de nível 4.	Nenhum exemplo identificado.
8	Interoperabilidade	Diferentes registros de blockchain se fundem.	Nenhum exemplo identificado.

Fonte: Graglia and Mellon (2018).

Utilizando-se os níveis de adoção descritos no quadro 2.4 e a análise de conteúdo (Krippendorff, 2018), foi possível mapear as possíveis aplicações de soluções baseadas em blockchain no contexto de serventias extrajudiciais no Brasil, como mostra o quadro 2.5, a seguir.

Quadro 2.5: Soluções tecnológicas baseadas em blockchain no contexto de serventias extrajudiciais no Brasil

Nível de adoção	Nome	Taxonomia de serventias extrajudiciais no Brasil						
		Tabelionato de notas	Tabelionato e registro de contratos marítimos	Tabelionato de protesto de títulos	Registro de imóveis	Registro de títulos e documentos e civis das pessoas jurídicas	Registro civil das pessoas naturais e de interdições e tutelas	Registro de distribuição
0	Sem integração	x	x	x	x	x	x	x
1	Gravação em blockchain	x	x	x	x	x	x	x
2	Fluxo de trabalho (Workflow) inteligente	x	x	x	x	x	x	x
3	Contratos inteligentes	x	x		x		x	
4	Registros em blockchain	x	x		x	x	x	
5	Direitos desagregados	x			x			
6	Direitos fracionários	x	x		x			
7	Transações <i>peer to peer</i>							x
8	Interoperabilidade							

Como pode ser observado no quadro 2.5, as oportunidades para implementação de soluções baseadas na tecnologia blockchain estão abertas para todos as espécies de serventias nos níveis 1 e 2, ou seja, gravação em blockchain e workflow inteligente. No terceiro nível (contratos inteligentes), soluções baseadas em blockchain podem beneficiar os Tabelionatos de Notas, os Tabelionatos e Registro de Contratos Marítimos, os Registros de Imóveis e Registros Civis das Pessoas Naturais e de Interdições e Tutelas. Já para os níveis mais altos de adoção, as oportunidades associam-se a um alto grau de incerteza diferentemente do que pode ser observado nos casos reportados da Suécia, República da Geórgia e Brasil (níveis 1 a 4 de adoção).

2.3.

Análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain com opções reais

Apresenta-se a base conceitual sobre análise de investimentos com opções reais, visando fundamentar a escolha dessa abordagem metodológica para a análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain no contexto de serventias extrajudiciais no Brasil. Apesar da Teoria das Opções Reais (TOR) aplicada a projetos em condições de incerteza e flexibilidade já ter sido bastante

estudada, a literatura científica a respeito de sua aplicação na implementação da tecnologia blockchain em diferentes contextos socioprodutivos é ainda escassa.

Os poucos estudos empíricos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain são aqui abordados, evidenciando-se assim uma lacuna a partir da qual foram enunciadas as questões norteadoras enunciadas na seção introdutória desta dissertação e que deverão ser respondidas ao longo de seu desenvolvimento. Ao final, discute-se a aplicabilidade da TOR na análise de investimentos em tecnologia blockchain no contexto de serventias extrajudiciais.

2.3.1.

Análise de investimentos com opções reais: base conceitual

A metodologia mais comum para avaliar o custo-benefício de um investimento é a avaliação pelo Fluxo de Caixa Livre Descontado (FCD), que calcula o Valor Presente Líquido (VPL), descontando-se os fluxos gerados por um projeto ao seu custo de capital. No entanto, essa abordagem apresenta limitações, pois não considera partes significativas do valor de um projeto que permitem aos gestores adiar, expandir ou cancelar projetos em resposta às condições de incerteza do mercado.

Uma alternativa ao método FCD, aplicada a projetos em condições de incerteza e flexibilidade, é a utilização de opções reais para precificar o valor do projeto. Essa abordagem inclui as incertezas do ambiente e a flexibilidade gerencial no modelo, fornecendo ao gestor indicações sobre a decisão ótima e o valor do projeto. Conceitualmente, a decisão de investir em uma oportunidade de negócio ou na implementação de uma nova tecnologia é equivalente ao exercício de uma opção financeira do tipo *call* (opção de compra).

O valor presente do fluxo de caixa operacional do projeto corresponde ao preço de mercado do ativo subjacente. O período no qual o gestor pode adiar a decisão de investir sem perder a oportunidade corresponde ao prazo de expiração da opção. A incerteza sobre o valor futuro dos fluxos de caixa do projeto corresponde ao desvio padrão dos retornos do projeto. O valor do investimento no tempo é dado pelo fluxo descontado pela taxa livre de risco e correspondente ao preço do exercício da opção. Assim, o valor do projeto sem flexibilidades, quando calculado pela abordagem das opções reais, é o mesmo obtido pela metodologia do FCD.

O prêmio da opção, ou seja, o valor da flexibilidade, é calculado pela diferença entre o VPL estimado do projeto pelo FCD e o VPL estimado

aplicando-se a Teoria das Opções Reais (TOR). Quanto maior a incerteza do ambiente, maior o valor da opção, uma vez que a flexibilidade confere ganhos em situações de aumento da volatilidade dos fluxos e minimiza potenciais situações de perda. (Dixit e Pindyck; 1994; Trigeorgis, 1996; 1999).

Em síntese, o valor de um projeto de investimento com opções é dado pela avaliação do VPL dos fluxos de caixa esperados pela metodologia tradicional do FCD, somados à flexibilidade gerencial que cria valor para o projeto (Trigeorgis, 1999), como mostra a equação 2.1:

$$\text{VPL expandido (estratégico)} = \text{VPL estático (passivo)} + \text{Valor das opções (flexibilidade gerencial)} \quad (2.1)$$

A flexibilidade gerencial é o ponto forte da TOR, pois permite ao gestor rever a estratégia inicial e alterar o plano de investimentos, na perspectiva de minimizar as perdas e maximizar os retornos esperados. Segundo Trigeorgis (1996), as opções reais podem ser classificadas pelo tipo de flexibilidade que oferecem em: (i) opções de abandono; (ii) expansão; (iii) contração; (iv) espera; ou (v) interrupção, como descritas a seguir:

- Opção de abandono: é considerada uma opção de venda americana, pois o gestor pode exercer o direito de liquidar seus ativos a qualquer momento. Em alguns casos, descontinuar o projeto e vender os ativos no mercado secundário é uma estratégia mais promissora do que os fluxos de caixa futuros que o projeto pode gerar;
- Opção de expansão: Caracterizada como opção de compra americana, pois considera a possibilidade de expansão do projeto em momentos favoráveis. A expansão é feita a partir de novos investimentos, devendo o preço de exercício desta opção ser igual ao valor presente do total dos investimentos adicionais;
- Opção de contração: Análoga à opção de venda americana, é utilizada quando o desempenho esperado de um projeto não é alcançado. Neste caso, o projeto não é totalmente abandonado, mas sua escala de operação é reduzida. Portanto, o preço de exercício dessa opção deve ser igual ao valor presente das despesas futuras economizadas;
- Opção de espera: Equivalente a uma opção de compra americana, porém aguardam-se mais informações de mercado para tornar o projeto mais valioso;
- Opção de interrupção: É modelada como uma opção de venda americana, na qual é possível parar o projeto antes que ele atinja sua

fase operacional. Esse tipo de opção é comum em grandes projetos, como P&D e financiamento de capital de risco, nos quais o investimento é feito em várias etapas.

Para a precificação do valor de um projeto por opções reais, os modelos usados são: (i) modelos de tempo contínuo, derivados do modelo Black-Scholes-Merton (BSM) (Black e Scholes, 1973; Merton, 1976); (ii) modelos de simulação; e (iii) modelo binomial (Cox, Ross e Rubinstein, 1979).

Os modelos de simulação, como Monte Carlo, são flexíveis e podem lidar com uma variedade de cenários complexos, tornando-os ideais para projetos com múltiplas fontes de incerteza e flexibilidade. No entanto, eles podem ser computacionalmente intensivos e requerer um grande número de simulações para obter resultados precisos. Já o modelo binomial, como proposto por Cox, Ross e Rubinstein, é mais simples e mais fácil de entender, quando comparado aos modelos de tempo contínuo e de simulação. O modelo binomial discretiza o modelo contínuo Black-Scholes-Merton (BSM), baseando-se no pressuposto que os investidores são indiferentes ao risco e que descontos em fluxos de caixa futuros são estimados a uma taxa livre de risco.

O modelo binomial será adotado na fase de modelagem da presente pesquisa, construindo-se uma estrutura de árvore para representar os possíveis movimentos de preços do ativo subjacente (serventia extrajudicial) ao longo do tempo. Funciona dividindo-se o tempo em uma série de intervalos discretos, assumindo-se que o ativo subjacente pode subir ou descer por uma certa porcentagem em cada intervalo. Calcula-se o valor da opção em cada nó da árvore, descontando-se o retorno esperado nesse nó de volta ao presente (Cox, Ross e Rubinstein, 1979; Copeland e Antikarov, 2001; Law et al., 2004; Brandão et al., 2005; e Dias, 2014).

No capítulo 3, retoma-se a descrição do modelo binomial, na perspectiva de se propor um modelo teórico para análise de investimento com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais no Brasil.

2.3.2.

Estudos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em outros setores

A tecnologia blockchain pode alterar processos e transações de negócios nos mais diversos setores da economia. O quadro 2.6, a seguir, sintetiza os estudos sobre a análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em contextos diferentes dos das serventias extrajudiciais.

Quadro 2.6: Estudos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco	Aspectos metodológicos
Bhimani et al.(2020)	Comparar e analisar as decisões de adoção da tecnologia blockchain em economias desenvolvidas e em desenvolvimento, considerando aspectos como infraestrutura, ambiente regulatório, prontidão tecnológica, condições econômicas e fatores culturais.	Conceitual Empírica	Avaliação do fluxo monetário e registros de terras em economias desenvolvidas e em desenvolvimento, em relação à propensão para implantar soluções tecnológicas baseadas em blockchain Aplicação de estrutura analítica baseada na TOR para explorar o ponto de decisão em que a tecnologia blockchain deveria ser adotada em relação ao estágio de desenvolvimento econômico.	Identificadas as variáveis-chave relacionadas à adoção da tecnologia blockchain e as medidas utilizadas para avaliar essas variáveis no contexto de economias desenvolvidas e em desenvolvimento.
Sánchez Pérez et al. (2020)	Examinar o potencial de aplicação da abordagem de opções de aprendizado (<i>learning option</i>) para investimentos em tecnologia blockchain nas indústrias automotiva e aeroespacial.	Metodológica	Avaliação do valor estratégico dos investimentos em tecnologia blockchain nas indústrias automotiva e aeroespacial.	Desenvolvida uma expressão matemática que permite calcular o valor do projeto, incorporando a opção de aprendizado ao longo de um número especificado de períodos.
Zhao e Min (2020)	Analisar as implicações econômicas da implementação de um Sistema de Gerenciamento de Informações de Cadeia de Suprimentos (SCIMS), baseado em blockchain, no contexto de produtos agrícolas perecíveis e aplicando-se a Teoria das Opções Reais (TOR)	Metodológica	Aplicação da tecnologia blockchain em cadeias de suprimentos de produtos agrícolas perecíveis sob incerteza da demanda Construção de cenários e valoração da rastreabilidade.	Formulada a hipótese de que a demanda dos clientes varejistas por um único produto agrícola perecível segue um processo de Movimento Geométrico Browniano (MGB). Construídos modelos matemáticos e gerados exemplos numéricos em diversos cenários. Análise de sensibilidade para demonstrar como os parâmetros-chave afetam o limiar ótimo de demanda e o tempo esperado de mudança.

Quadro 2.6: Estudos sobre análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain (cont.)

Ref.	Objetivo do estudo	Natureza	Foco	Aspectos metodológicos
Vazov et al. (2022)	Explorar as características e princípios de desenvolvimento das tecnologias blockchain, bem como analisar as opções reais como componentes-chave da economia digital.	Conceitual	Aborda as características da tecnologia blockchain, sua evolução e seu impacto na economia digital. Além disso, discute como as opções reais desempenham um papel significativo nos processos de tomada de decisão dentro do contexto da economia digital.	Análise comparativa de diferentes tecnologias blockchain e estratégias de opções reais para destacar seus pontos fortes, pontos fracos e implicações potenciais para a economia digital.
Marques, Gomes e Brandão (2023)	Analisar três modelos autônomos de emissão e venda na blockchain de tokens baseados em certificados de energia renovável (RECs), sob condições de incerteza para um gerador de energia renovável. Os geradores de energia renovável poderão emitir e negociar RECs por meio de organizações autônomas descentralizadas (DAOs) com contratos inteligentes.	Conceitual Metodológica	Aplicação da tecnologia blockchain no mercado de energia renovável, especificamente na emissão e negociação de Certificados de Energia Renovável (RECs), por meio de organizações autônomas descentralizadas (DAOs) com contratos inteligentes.	Aplicação da análise de opções reais para avaliar oportunidades de investimento sob incerteza e flexibilidade. Aplicação numérica para verificar a validade dos modelos e indicar qual o melhor modelo para o gerador de energia renovável investir.

Conforme argumentado por Bhimani et al. (2020), tornam-se necessárias mais pesquisas sobre os fatores que inibem ou promovem a adoção da tecnologia blockchain em diferentes contextos socioprodutivos de países desenvolvidos, em comparação com aplicações em países em desenvolvimento. Bhimani et al. (2020) avaliaram o fluxo monetário e registros de terras em relação à propensão para implantar soluções tecnológicas baseadas em blockchain. Para tal, aplicaram uma estrutura analítica baseada em princípios de opções reais para explorar o ponto de decisão em que a tecnologia blockchain deveria ser adotada em relação aos benefícios econômicos esperados.

Sánchez Pérez et al. (2020) examinaram o potencial de aplicação da abordagem de opções de aprendizado (*learning options*) para investimentos em tecnologia blockchain nas indústrias automotiva e aeroespacial. Desenvolveram uma expressão matemática para calcular o valor do projeto, incorporando a opção de aprendizado ao longo de um número especificado de períodos. São duas as principais contribuições deste trabalho: (i) disponibilidade de uma ferramenta adequada para avaliar o valor estratégico de um investimento em tecnologia blockchain sob uma perspectiva conservadora; e (ii) possibilidade de agir em tempo hábil sem reduzir a lucratividade, ao considerar a implementação de soluções baseadas em blockchain.

Zhao e Min (2020) analisaram as implicações econômicas da implementação de um Sistema de Gerenciamento de Informações de Cadeia de Suprimentos (SCIMS) baseado na tecnologia blockchain no contexto da produção e fornecimento de produtos agrícolas perecíveis. O estudo visa avaliar o limiar ótimo de demanda e o tempo esperado de mudança para um SCIMS baseado em blockchain sob demanda incerta dos clientes e vários cenários de subsídios governamentais. Os autores utilizaram a abordagem de opções reais na fase de formulação e análise do modelo do estudo e apresentaram exemplos numéricos para demonstrar o impacto dos principais parâmetros no limiar ótimo de demanda e no tempo esperado de mudança para um SCIMS baseado em blockchain. O estudo concentra-se no desenvolvimento e análise de modelos para fornecer insights para tomadores de decisão e formuladores de políticas sobre a adoção da tecnologia blockchain nas cadeias de suprimentos de produtos agrícolas perecíveis.

Vazov et al. (2022) analisaram os pontos fortes do emprego da tecnologia blockchain, como redução de custos, aumento da segurança e transparência das transações que afetam vários setores da economia, revelando a essência das

principais provisões de táticas e estratégias ao resolver o problema de precificação de opções reais. Além disso, esses autores apresentaram uma nova classificação dos contratos de opções, permitindo determinar a sua aplicação e desenvolvimento.

Mais recentemente, Marques, Gomes e Brandão (2023) analisaram três modelos autônomos de emissão e venda na blockchain de tokens baseados em certificados de energia renovável (RECs), sob condições de incerteza para um gerador de energia renovável. O estudo analisou o processo de tomada de decisão das empresas de geração de energia renovável ao investir em organizações autônomas descentralizadas (DAOs) com regras especificadas para a emissão e negociação de RECs. Utilizou o modelo de árvore binomial discreta proposto por Cox et al. (1979), como parte da análise de opções reais para avaliar oportunidades de investimento baseado em blockchain. Como abordado na subseção 2.3.1, o modelo de árvore binomial é amplamente utilizado na precificação de opções para modelar a evolução dos preços dos ativos ao longo do tempo em um framework binomial. Ao aplicar o modelo de árvore binomial, este estudo foi capaz de capturar a incerteza e a flexibilidade presentes no modelo de investimento, permitindo uma valoração mais precisa do valor presente líquido do gerador de energia renovável.

2.4.

Considerações finais sobre o capítulo

Neste capítulo, buscou-se apresentar o referencial teórico da pesquisa com base nos resultados da revisão bibliográfica de estudos prévios e documentos de referência sobre seu tema central, na perspectiva de fundamentar a proposição de um modelo teórico para análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, segundo uma abordagem de opções reais.

Como mencionado anteriormente, a implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais poderá trazer muitos benefícios, mas também gerar novos desafios para os oficiais responsáveis pelos cartórios, devido a incertezas inerentes à adoção de tecnologias disruptivas, como: (i) não haver ainda uma regulamentação sobre o tema no ordenamento jurídico brasileiro; (ii) existir desconfiança sobre a segurança cibernética e a privacidade ao se inserir dados sensíveis dos usuários em redes blockchain; e (iii) necessitar possivelmente de investimento de capital inicial substancial para sua implementação em serventias extrajudiciais (Salles, 2019; Kümpel e Borgarelli, 2017; Lopes, 2021).

Face aos desafios mencionados, considera-se que os métodos tradicionais de análise de investimentos são insuficientes para garantir aos oficiais responsáveis pelos cartórios informações relevantes e satisfatórias na tomada de decisão sobre projetos de investimento na implementação da tecnologia blockchain em suas serventias. A Teoria das Opções Reais mostra-se, portanto, a mais adequada para projetos dessa natureza (Law et al., 2004; Brandão et al., 2005; Pinto, 2009; Dias, 2014).

Com relação à revisão dos estudos apresentados sinteticamente no quadro 2.3, foi possível identificar o que está sendo desenvolvido sobre aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais em diversos países, inclusive o Brasil. Alguns poucos estudos que adotaram a abordagem metodológica de análise de investimento em blockchain com base na TOR foram resumidos no quadro 2.6 e discutidos na subseção 2.3.2. A partir dos resultados desta revisão bibliográfica, identificaram-se objetivamente as lacunas da literatura a serem abordadas nesta pesquisa. Nenhum estudo prévio sobre aplicação de blockchain em serventias extrajudiciais abordou a problemática da análise de investimentos nesta tecnologia, bem como nenhum dos estudos revisados no quadro 2.6 focalizaram aplicações da TOR em serventias extrajudiciais. Os resultados das buscas nas bases Scopus e WoS apresentados no Apêndice A evidenciaram essas lacunas.

Acredita-se, portanto, na aplicabilidade de um modelo teórico para análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais no Brasil, como será proposto ao longo desta pesquisa. Uma vez demonstrada sua aplicabilidade em uma serventia extrajudicial localizada no Estado do Paraná, os resultados desta pesquisa buscarão contribuir para o avanço do conhecimento sobre o emprego da Teoria das Opções Reais na análise de investimento na tecnologia blockchain no contexto foco desta pesquisa, visto que os estudos prévios aqui revistos referem-se ao emprego dessa abordagem metodológica em outros contextos (Bhimani et al., 2020; Sánchez Pérez et al., 2020; Zhao e Min, 2020; Vazov et al., 2022; e Marques, Gomes e Brandão, 2023).

3

Modelo teórico para análise de investimento com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais

Em resposta às questões norteadoras da presente pesquisa, propõe-se neste capítulo um modelo teórico para análise de investimento com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais no Brasil. A aplicação da Teoria das Opções Reais (TOR) nesse contexto poderá conferir maior eficácia aos processos decisórios associados ao investimento sob incerteza (receita) de uma tecnologia disruptiva (blockchain), cuja análise considera as flexibilidades operacionais e gerenciais ao longo da vida útil do projeto de investimento.

Com o exercício das opções de expansão, os oficiais titulares das serventias extrajudiciais poderão avaliar em tempo discreto o custo-benefício de expandir o investimento em diferentes momentos. Assim, o modelo teórico aqui proposto, além de contribuir para uma decisão ótima diante do risco econômico-financeiro advindo do investimento de capital, evitará as consequências negativas da instabilidade, que é característica da implementação de tecnologias disruptivas, bem como da falta de regulamentação do tema no ordenamento jurídico brasileiro.

A implementação da tecnologia blockchain nas serventias extrajudiciais tende a reduzir erros na operacionalização dos atos notariais e registrais, aumentando a confiança entre as partes envolvidas, a qualidade dos dados, a integridade do processo e a transparência.

Por fim, na perspectiva da sociedade, a aderência em larga escala da tecnologia blockchain nas serventias extrajudiciais trará benefícios gerais, como a observância da função social de diminuição e resolução de conflitos jurídicos, além da concretização do acesso à justiça de forma mais eficiente no Brasil.

Inicialmente, apresenta-se uma visão geral do modelo, para em seguida descrever em detalhe suas fases e os resultados esperados em cada uma delas.

3.1.

Visão geral do modelo

A partir do referencial teórico apresentado no capítulo 2 e buscando responder as questões norteadoras formuladas no capítulo introdutório, desenvolveu-se o modelo teórico proposto neste capítulo.

Para seu desenvolvimento, optou-se por utilizar a modelagem da incerteza (receita) pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB), cujos resultados serão usados para projetar o valor do ativo subjacente (serventia extrajudicial), indicando a magnitude das variações aleatórias no seu preço, e o retorno esperado, representando a tendência média de seu crescimento ao longo do tempo.

Na sequência, escolheu-se para a precificação das opções reais o modelo binomial com a construção da respectiva árvore. Para a valoração das opções de expansão, justifica-se o uso da árvore binomial, uma vez que esse método permite simular diferentes cenários de crescimento do preço do ativo subjacente ao longo do tempo e calcular o valor presente dos fluxos de caixa esperados em cada um deles. Ainda nesta etapa, compara-se o valor presente líquido (VPL) do investimento em tecnologia blockchain com o VPL de não investir.

Por último, realiza-se a análise de sensibilidade e flexibilidade com intuito de avaliar como variações dos parâmetros críticos afetam o valor das opções de expansão neste contexto. As opções de efetuar investimentos subsequentes parece particularmente adequada em projetos de investimento que adotem tecnologias disruptivas, como blockchain, dada a dificuldade em inventariar e quantificar os seus benefícios e consequentemente os fluxos de caixa gerados.

3.2.

Visão detalhada do modelo

Nesta seção, descrevem-se as etapas que integram o modelo teórico, a saber:

- Etapa 1: Definição do projeto de investimento em blockchain;
- Etapa 2: Modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB);
- Etapa 3: Determinação dos parâmetros do modelo binomial e construção da respectiva árvore;

- Etapa 4: Valoração das opções reais de expansão, com base no modelo binomial;
- Etapa 5: Análise de sensibilidade e flexibilidade.

3.2.1.

Etapa 1: Definição do projeto de investimento

A definição de um projeto de investimento visando implementar uma nova tecnologia em uma serventia extrajudicial é um processo complexo que envolve diversos passos. O primeiro é a definição dos objetivos e benefícios do projeto. Dentre esses, destacam-se:

- (i) melhorar a eficiência operacional da serventia extrajudicial;
- (ii) ampliar a transparência para os usuários dos serviços, ao permitir-lhes acesso e rastreamento na cadeia de operações executadas;
- (iii) melhorar a segurança da informação e a qualidade dos dados, por estarem disponíveis de forma completa, consistente e precisa;
- (iv) promover a integridade dos processos internos, na medida em que os protocolos serão executados em conformidade com a regulamentação vigente;
- (v) implementar a digitalização dos documentos em código;
- (vi) e aumentar a confiança entre as partes envolvidas, com redução significativa dos riscos nas operações.

O segundo passo se refere à análise de viabilidade preliminar, que consiste em avaliar se os benefícios esperados com a implementação da nova tecnologia superam seus custos. Além disso, uma análise de risco e retorno ajuda a identificar e mitigar os riscos e incerteza associados a este projeto e, por outro lado, a avaliação da capacidade da serventia extrajudicial de absorver a nova tecnologia torna-se crucial para garantir que a implementação seja bem-sucedida.

Para esta análise, considerando-se a incerteza associada à receita advindas dos serviços notariais prestados e ao desempenho dessa tecnologia, devem ser levantados diversos tipos de dados, conforme descrito no quadro 3.1, a seguir.

A definição deste projeto de investimento inclui ainda a elaboração do cronograma físico-orçamentário do projeto, identificando as principais etapas, marcos, prazos e custos associados (aquisição da tecnologia, implementação, treinamento e operacionais). No caso de um projeto de investimento em

tecnologia blockchain em uma serventia extrajudicial, o ativo subjacente é o próprio negócio da serventia extrajudicial. A tecnologia blockchain será um componente ou ativo complementar ao negócio principal da serventia extrajudicial e seu impacto financeiro e operacional será refletido no desempenho geral da serventia.

Quadro 3.1: Dados a serem levantados na definição do projeto

Tipo	Descrição
Dados de mercado	Informações quantitativas e qualitativas relacionadas às condições e tendências atuais e futuras do mercado, em que uma serventia extrajudicial opera. Esses dados incluem informações sobre a demanda e oferta de serviços, preços, concorrência, regulamentações governamentais, tendências dos usuários do serviço e outros fatores externos que possam impactar suas operações.
Dados financeiros	Informações quantitativas de transações, desempenho e posição financeira de uma serventia extrajudicial, tais como receitas, despesas, ativos e passivos, que permitem avaliar sua saúde financeira, tomar decisões de investimento, elaborar orçamentos, realizar análises de viabilidade e estruturar estratégias financeiras para atingir objetivos organizacionais.
Dados tecnológicos	Informações relativas à tecnologia utilizada por uma serventia extrajudicial, como software, redes e sistemas de informação, para a avaliação da eficácia e eficiência dos sistemas tecnológicos existentes, identificação de oportunidades de melhoria, tomada de decisões estratégicas em relação a investimentos em novas tecnologias e garantia da conformidade com normas e regulamentação aplicáveis.
Dados de concorrência	Informações sobre o mercado competitivo de uma serventia extrajudicial, que incluem dados de concorrentes diretos e indiretos, participação de mercado, serviços oferecidos, forças e fraquezas, com o intuito de entender seu posicionamento no mercado-alvo, identificar oportunidades e ameaças, e formular estratégias competitivas.
Dados de risco e incerteza	Informações referentes a incertezas do futuro que podem impactar um determinado projeto, inclusive a identificação e avaliação de riscos associados a eventos negativos específicos (p. ex., perdas financeiras, danos à reputação e interrupções operacionais) e incertezas de condições do mercado (p. ex., regulamentações futuras e mudanças tecnológicas). A análise de risco e incerteza auxilia nas tomadas de decisão informada, na gestão proativa de eventos adversos e na formulação de estratégias de mitigação de riscos.
Dados operacionais	Informações quantitativas e qualitativas relativas às atividades diárias de uma serventia extrajudicial, como processos internos, fluxos de trabalho, desempenho de sistemas e equipamentos, produtividade da equipe e eficiência operacional, coletados a partir de fontes internas, que permitem a identificação de áreas de melhoria, otimização de processos, aumento de eficiência e processos decisórios conscientes.

Cabe destacar, que as serventias extrajudiciais possuem valor econômico e são consideradas ativos financeiros, em equiparação às sociedades empresárias. Todavia, detêm a característica da impossibilidade de sua venda a terceiros

interessados, posto que o serviço notarial e registral é um serviço público essencial, exercido em caráter privado pelo oficial titular mediante delegação do Poder Público, tão somente após aprovação em concurso de provas e títulos (Brasil, 1988). Considerando a característica de inalienabilidade e a consequente impossibilidade de sua precificação no mercado, não constituem ativos subjacentes sujeitos a risco com preços conhecidos, a obstar a correlação desses preços com aqueles do projeto com flexibilidade. Nesse sentido, deve ser utilizada a abordagem da negação do ativo negociado (MAD), em que se considera o valor presente dos fluxos de caixa do projeto sem flexibilidade, como estimativa não tendenciosa de seu valor de mercado (Copeland e Antikarov, 2002).

3.2.2.

Etapas 2: Modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB)

Nesta etapa, utiliza-se a modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB) para projetar os resultados líquidos anuais de uma dada serventia extrajudicial ao longo do tempo, visando calcular a média e o desvio padrão dos resultados históricos no período considerado e estimar a taxa de desconto e de crescimento da demanda pelos serviços notariais desta serventia. Os resultados da modelagem da incerteza (receita) pelo MGB deverão ser usados para projetar o valor do ativo subjacente, indicando a magnitude das variações aleatórias no seu preço e o retorno esperado do ativo, representando a tendência média de seu crescimento ao longo do tempo.

O MGB é a distribuição logarítmica do movimento browniano, gerando apenas valores positivos e provocando um deslocamento na curva gaussiana pelo qual o movimento é caracterizado. Ele é definido pela equação diferencial estocástica abaixo:

$$dS = \mu S dt + \sigma S dz \quad (3.1)$$

onde:

dS é a variação infinitesimal no preço do ativo subjacente;

μ é o retorno esperado do ativo subjacente, representando a tendência média de crescimento do preço do ativo ao longo do tempo;

σ é a volatilidade do ativo, indicando a magnitude das variações aleatórias no preço do ativo;

dt é o intervalo de tempo infinitesimal considerado para a variação no preço do ativo subjacente;

dz é um incremento no processo estocástico, que segue uma distribuição normal com média 0 e desvio padrão $\sqrt{\Delta t}$, e representa o componente aleatório no movimento do preço do ativo subjacente.

Para aplicar o MGB ao projeto de investimento em tecnologia blockchain em uma dada serventia, é necessário estimar os parâmetros (μ) e (σ). O retorno esperado do preço do ativo subjacente (μ) pode ser estimado com base em dados históricos ou projeções de mercado. A volatilidade (σ) dos resultados líquidos pode ser estimada também a partir de dados históricos.

Uma vez estimados os parâmetros, é possível simular o comportamento da variação no preço do ativo subjacente ao longo do tempo usando o MGB. Com base nessa projeção, calculam-se as métricas financeiras como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR).

O VPL é calculado subtraindo o investimento inicial do valor presente de todos os fluxos de caixa futuros gerados pelo investimento. Ele representa o valor atual líquido dos fluxos de caixa futuros, considerando o custo de capital da serventia extrajudicial. A TIR, por sua vez, é a taxa de desconto que torna o VPL do investimento igual a zero. Ela representa a taxa de retorno esperada do investimento ao longo do tempo. Ao se modelar a incerteza (receita) pelo MGB, é possível projetar o preço do ativo subjacente (serventia extrajudicial) com a adoção da tecnologia blockchain e avaliar a sensibilidade do investimento em diferentes cenários de mercado, considerando-se variações nos parâmetros críticos, como volatilidade e retorno esperado do preço do ativo subjacente.

Para modelar o preço do ativo subjacente no período considerado, deve-se discretizar a equação 3.1, visando obter a variação dos resultados em cada intervalo de tempo. A discretização geralmente é feita usando a equação de Euler (3.2):

$$S_{t+\Delta t} = S_t + \mu S_t \Delta t + \sigma S_t \Delta t Z \quad (3.2)$$

onde:

$S_{t+\Delta t}$ é o preço estimado do ativo no próximo intervalo de tempo;

S_t é o preço do ativo no momento atual;

σ e μ são os mesmos parâmetros da equação 3.1;

Δt é intervalo de tempo discreto considerado para a modelagem do preço do ativo subjacente;

Z é um número aleatório com distribuição normal padrão.

Essa equação discretizada permite calcular o preço do ativo subjacente (serventia em foco) em cada intervalo de tempo futuro, com base preço do ativo no intervalo de tempo atual, no retorno esperado e na volatilidade do preço do ativo subjacente.

Pode-se aplicar a equação 3.2 ao preço do ativo subjacente e ao fluxo de caixa anual esperado da serventia extrajudicial, levando-se em consideração o investimento inicial e os custos operacionais associados à adoção da tecnologia blockchain na serventia extrajudicial.

O fluxo de caixa anual é calculado como a diferença entre a receita anual esperada da serventia extrajudicial com a tecnologia blockchain e os custos operacionais anuais, incluindo a depreciação da tecnologia.

Ao aplicar a equação discretizada ao preço do ativo subjacente e ao fluxo de caixa anual em cada período de tempo, é possível modelar o preço do ativo subjacente ao longo do tempo com a adoção da tecnologia blockchain.

Em síntese, a modelagem da incerteza (receita) pelo MGB permite avaliar a viabilidade financeira do investimento, considerando-se o impacto da tecnologia blockchain no crescimento do preço do ativo subjacente (serventia extrajudicial) ao longo do tempo e os custos associados à sua adoção. Além disso, a modelagem permite também analisar a sensibilidade do investimento em diferentes cenários de mercado, considerando variações em parâmetros, como a volatilidade do ativo subjacente e o retorno esperado de seu preço.

3.2.3.

Etapa 3: Determinação dos parâmetros do modelo e construção da árvore binomial

A árvore binomial é um modelo de precificação de opções introduzido pela primeira vez por Cox, Ross e Rubinstein em 1979. É um modelo simples e intuitivo que fornece uma estrutura para opções de preços e compreensão de seu comportamento, assumindo-se que o preço do ativo subjacente pode subir ou

descer por uma certa porcentagem em um período específico (Cox, Ross e Rubinstein, 1979).

O modelo de árvore binomial é baseado no princípio da avaliação neutra em risco, que pressupõe que os investidores sejam indiferentes ao risco e que descontos em fluxos de caixa futuros sejam estimados a uma taxa livre de risco. Usa uma estrutura de árvore para representar os possíveis movimentos de preços do ativo subjacente ao longo do tempo e funciona dividindo-se o tempo em uma série de intervalos discretos e assumindo-se que o ativo subjacente pode subir ou descer por uma certa porcentagem em cada intervalo. Calcula-se o valor da opção em cada nó da árvore, descontando-se o retorno esperado nesse nó de volta ao presente. Para a construção da árvore binomial, devem-se determinar os parâmetros do modelo, como definidos no quadro 3.2.

Quadro 3.2: Parâmetros do modelo binomial

Parâmetro	Definição
Prazo da opção em anos (y)	O prazo da opção em anos refere-se ao período durante o qual se deseja analisar o investimento no ativo subjacente (serventia extrajudicial).
Número de estágios da árvore binomial (N)	Deve-se dividir esse período em um número adequado de estágios, dependendo da disponibilidade e da granularidade dos dados.
Taxa livre de risco anual (capitalização contínua) (rf)	Para estimar a taxa nominal livre de risco no Brasil, pode-se usar a taxa de retorno de títulos públicos de longo prazo como uma aproximação da taxa livre de risco. Essa taxa será usada como a taxa de desconto nos cálculos.
Taxa de custo médio ponderado de capital (WACC)	Trata-se da taxa nominal mínima de retorno exigida por investidores em função do risco do projeto de investimento e dos valores monetários obtidos de fontes interna e/ou externa.
Prêmio de risco	Trata-se da taxa de juros cobrada além da taxa livre de risco ao se investir em ativos mais voláteis que os da renda fixa.
Volatilidade anual do preço do ativo subjacente (σ)	Mede a dispersão das possíveis taxas de retorno do ativo subjacente ao longo de um ano, assumindo dois possíveis movimentos de preço (para cima e para baixo) a cada período de tempo.
Taxa de crescimento (drift) (g)	Taxa pela qual se espera que o preço do ativo subjacente cresça ao longo do tempo. Ela é um parâmetro importante em modelos de precificação de opções que consideram a aleatoriedade nos movimentos da demanda, neste caso dos serviços notariais.
Alíquota do imposto de renda (IR)	A alíquota do imposto de renda é a porcentagem de imposto paga sobre o lucro tributável. Em análises de opções reais, ela é relevante para calcular os fluxos de caixa líquidos após impostos.
Valor presente líquido tradicional (VPL)	É o valor presente dos fluxos de caixa de um projeto, subtraindo-se o investimento inicial. Ele é usado para avaliar a viabilidade financeira de um projeto sem considerar opções de flexibilidade ou expansão.
Valor presente líquido com flexibilidade (VPL _f)	Valor presente dos fluxos de caixa de um projeto, incluindo opções de flexibilidade ou expansão, subtraindo-se o investimento inicial. Ele leva em consideração a capacidade de adiar, expandir ou abandonar um projeto ao longo do tempo.

Custo de expansão (x)	Valor do custo total de um projeto, incluindo todos o investimento necessários para sua implementação.
Cotação do dólar (\$)	Trata-se da relação de valor da moeda nacional frente ao da moeda estrangeira, a indicar quantos reais são necessários para equivaler a um dólar.
Taxa de diminuição do custo de investimento (c)	Porcentual de depreciação do valor de investimento.
Taxa de crescimento do movimento ascendente (u)	Fator pelo qual o preço do ativo subjacente aumenta em um modelo de árvore binomial. Ela está relacionada à volatilidade do ativo e ao intervalo de tempo entre os estágios da árvore binomial.
Taxa de crescimento do movimento descendente (d)	Fator pelo qual o preço do ativo subjacente diminui em um modelo de árvore binomial. Ela está relacionada à volatilidade do ativo subjacente e ao intervalo de tempo entre os estágios da árvore binomial.
Probabilidade do movimento ascendente (p)	Probabilidade de que o preço do ativo subjacente aumente em um modelo de árvore binomial. Ela é usada para calcular o valor esperado dos fluxos de caixa futuros descontados em cada nó da árvore.
Probabilidade do movimento descendente (q)	Probabilidade de que o preço do ativo subjacente diminua em um modelo de árvore binomial. Ela é usada para calcular o valor esperado dos fluxos de caixa futuros descontados em cada nó da árvore.
Taxa de fluxo de caixa (b)	Porcentual do valor dos resultados líquidos no ano em relação ao VPL com perpetuidade. Diante da serventia extrajudicial ser perpétua, por prestar serviço público essencial, independente de sua titularidade, optou-se por calcular a taxa de fluxo de caixa com perpetuidade.
Taxa de fluxo de caixa complementar	Porcentual complementar da taxa de fluxo de caixa.
Taxa média de fluxo de caixa	Porcentual obtido pela média das taxas de fluxo de caixa dos anos da série histórica.
Taxa média de fluxo de caixa complementar	Porcentual complementar da taxa média de fluxo de caixa.
Múltiplo de expansão (M)	Relação entre o valor presente líquido de um projeto com a opção de expansão e o valor presente líquido do mesmo projeto sem a opção de expansão. Ele reflete o impacto da expansão na valorização do projeto.
Valor presente da opção (VPO)	Valor atual da opção de investimento no ativo subjacente, calculado com base nas probabilidades de movimento do preço do ativo para cima e para baixo, descontado pelo fator de risco (livre de risco).
Valor incremental da OR	É a relação entre o valor presente da opção e o valor presente líquido do projeto sem flexibilidade.

As equações do modelo binomial são:

$$\Delta t = \frac{y}{N} \quad (3.3)$$

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad (3.4)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} = 1/u \quad (3.5)$$

$$p = \frac{(e^{(r-b)\Delta t} - d)}{(u - d)} \quad (3.6)$$

$$q = \frac{1}{p} \quad (3.7)$$

onde:

y = prazo da opção em anos;

N = quantidade de estágios da árvore;

r = taxa livre de risco anual (capitalização contínua);

e = algarismo neperiano = 2,71828...;

σ = volatilidade anual do preço do ativo subjacente;

b = taxa de fluxo de caixa;

p = probabilidade do movimento ascendente;

q = probabilidade do movimento descendente;

u = taxa de crescimento do movimento ascendente;

d = taxa de crescimento do movimento descendente.

O modelo de precificação binomial assume que o preço do ativo subjacente varia de forma discreta segundo movimentos ascendente (u) e descendente (d). A partir de um determinado ponto no tempo, o preço do ativo subjacente pode evoluir assumindo somente dois valores diferentes. Se for considerado todo o período de análise, tem-se uma árvore de eventos.

Neste modelo, a volatilidade (σ) é aplicada na elaboração de uma árvore binomial de eventos de N estágios, contemplando uma análise anual da evolução do valor presente líquido (VPL) do investimento em tecnologia blockchain na serventia extrajudicial em foco. Esta árvore é conhecida como árvore binomial multiplicativa, pois os possíveis valores futuros em cada estágio são distribuídos segundo a distribuição binomial e são proporcionais ao estado inicial.

Para construir a árvore, inicialmente o valor presente V_0 deve ser introduzido no estágio 0. Os demais elementos da primeira linha serão calculados, multiplicando-se o elemento anterior por u . Cada elemento restante é obtido multiplicando-se o elemento da coluna anterior e linha anterior por d .

A figura 3.1 mostra os possíveis valores de S ao longo de cinco intervalos de tempo, iniciando-se pelo valor presente obtido pela avaliação tradicional.

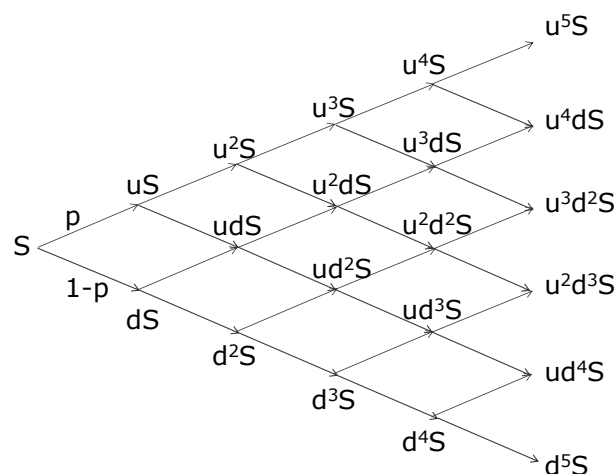


Figura 3.1: Árvore binomial com cinco intervalos de tempo

3.2.4.

Etapla 4: Valoração das opções reais de expansão, com base no modelo binomial

Para esta etapa, esclarece-se que a flexibilidade gerencial do projeto permite ao gestor rever sua estratégia inicial e alterar o plano de investimentos. Para tanto, as opções reais disponíveis são aquelas classificadas por Trigeorgis (1996), conforme descrito na subseção 2.3.1, das quais a opção de expansão será a mais adequada para este projeto. Isso porque se pretende investir na tecnologia blockchain escalonadamente em seus níveis de adoção, na forma do quadro 2.5, e, ao se modelar a opção de expansão, pretende-se com a tecnologia disruptiva aumentar as receitas do projeto sob análise.

Os valores das opções de expansão podem ser calculados com base no modelo de precificação binomial e respectiva árvore, iniciando-se com o cálculo do valor presente líquido (VPL) da serventia extrajudicial, que será o ponto central da árvore. Em seguida, calculam-se valores das opções de expansão nos estágios futuros da árvore, com base na volatilidade anual do preço do ativo subjacente (σ) e utilizando-se as taxas de crescimento dos movimentos ascendente (u) e descendente (d).

Para cada estágio (t) da árvore binomial, deve-se calcular o valor futuro do investimento, levando em consideração as probabilidades de subida (u) e descida

(d) e o valor presente do investimento. Para tal, empregam-se as equações do modelo binomial (3.3 a 3.7).

Empregando-se a equação binomial (3.8) a partir dos valores calculados, os gestores poderão tomar a decisão sobre se e quando investir na nova tecnologia, considerando os *trade-offs* de expandir o investimento.

$$VP_{pt} = \frac{\left[\left(VP_{p+t+1} + VP_{p+t+1} \times \frac{\delta t+1}{(1-\delta t+1)} \times p + \left(\frac{VP_{p-t+1} + VP_{p-t+1} \times \delta t+1}{(1-\delta t+1)} \right) \times (1-p) \right) \right]}{(1+rf)} \quad (3.8)$$

onde:

VP_{pt} = Valor presente no ponto terminal no estágio t ;

rf = taxa livre de risco anual (capitalização contínua);

p = probabilidade do movimento ascendente;

$1-p$ = probabilidade do movimento descendente;

u = taxa de crescimento do movimento ascendente;

d = taxa de crescimento do movimento descendente;

δt = é o intervalo de tempo entre os estágios t da árvore binomial.

3.2.5.

Etapas 5: Análise de sensibilidade e flexibilidade

No contexto de um projeto de investimento para implementar a tecnologia blockchain em uma determinada serventia extrajudicial, a etapa da análise de sensibilidade e flexibilidade envolve dois passos essenciais. Primeiramente, é necessário analisar como mudanças nos parâmetros do modelo binomial, como volatilidade anual do preço do ativo subjacente (σ) e taxas de crescimento (u e d), afetam o valor presente líquido (VPL) do investimento pretendido. Isso ajuda a identificar quais parâmetros têm o maior impacto nos resultados do projeto e a entender melhor os riscos envolvidos.

Em seguida, é fundamental considerar opções de flexibilidade, que possam surgir ao longo do tempo, como expandir o investimento após o investimento inicial. Para cada opção, deve-se calcular o valor presente da opção (VPO), que representa o valor atual da opção de investimento no ativo subjacente, calculado com base nas probabilidades de movimento do preço do ativo para cima e para baixo, descontado pelo fator de risco (livre de risco). Essa análise de flexibilidade permite uma tomada de decisão mais fundamentada, ao considerar não apenas o

valor do investimento em si, mas também a flexibilidade de adaptar a estratégia de investimento conforme as condições do mercado e do projeto evoluam.

A sequência lógico-temporal pode contemplar nova opção de expansão, a ser considerada após o investimento inicial, avaliando-se se vale a pena expandir ainda mais o investimento, com base em novas oportunidades de mercado, mudanças nas condições econômicas ou tecnológicas e outros fatores relevantes.

A partir dos resultados da análise de sensibilidade, que indica como diferentes parâmetros afetarão o valor da opção de investimento, e a análise de flexibilidade, que avalia a opção de expandir o investimento em diferentes estágios. Com base nessas análises, é possível indicar se o investimento em tecnologia blockchain é viável e estratégico, levando em consideração os riscos, incerteza (receita) e oportunidades identificados ao longo do processo de análise. A recomendação deve ser fundamentada em dados e análises sólidas, visando à maximização do retorno sobre o investimento e a minimização dos riscos envolvidos.

4

Aplicação do modelo teórico em uma serventia extrajudicial do Estado do Paraná

Apresentam-se e discutem-se os resultados de um estudo empírico conduzido em um Ofício de Registro de Imóveis localizado no Estado do Paraná. Seu objetivo foi aplicar o modelo teórico proposto no capítulo anterior para a análise de investimento na implementação da tecnologia blockchain nesta serventia extrajudicial. Para tanto, foram considerados diferentes níveis de adoção da referida tecnologia e tipos de opções reais e, ao final, chegou-se a um conjunto de cenários de decisão, que irão auxiliar o oficial titular responsável pela serventia extrajudicial na tomada de decisão, quanto ao exercício das opções reais existentes.

4.1.

Proposição do estudo empírico e definição dos objetivos e das questões norteadoras

A proposta deste estudo é demonstrar a aplicabilidade do modelo teórico proposto no capítulo anterior em um dos duzentos e vinte e quatro Ofícios de Registro de Imóveis no Estado do Paraná, mediante a avaliação das opções de expansão para implementação da tecnologia blockchain, considerando seu contexto organizacional e as operações da referida serventia.

Para preservar a confidencialidade desta serventia extrajudicial, o seu nome será mantido em sigilo, sendo referida de forma genérica como Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa.

Foram definidas as seguintes questões norteadoras:

- Quais são as operações-chave do Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa e como elas podem ser impactadas pela adoção da tecnologia blockchain?
- Quais são as variáveis relevantes para a análise de investimentos em tecnologia blockchain nesta serventia extrajudicial, baseando-se na

Teoria das Opções Reais? E quais níveis de adoção da tecnologia blockchain deverão ser utilizados?

- Como o modelo binomial pode ser aplicado para avaliar as opções de investimento em tecnologia blockchain no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa?
- Quais são os valores das opções de expansão gerados nesta análise?
- Após a aplicação do modelo proposto, será possível identificar os momentos oportunos de investimento financeiro para implementação da tecnologia na referida serventia extrajudicial?

4.2.

Caracterização da unidade de análise e seu contexto organizacional

Nesta seção, caracterizam-se a unidade de análise do estudo empírico e seu contexto organizacional, para, em seguida, apresentar os resultados de cada uma das etapas do estudo, que teve como foco a aplicação do modelo teórico no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa.

4.2.1.

Unidade de análise

Em alinhamento à proposição do estudo empírico e às questões norteadoras definidas na seção anterior, definiu-se como unidade de análise a avaliação das opções de investimento em tecnologia blockchain, segundo a abordagem de opções reais, no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa.

4.2.2.

Contexto organizacional

No Brasil, o primeiro regime adotado, relativamente ao direito de propriedade, foi o das Capitanias Hereditárias, em que a Coroa portuguesa concedia títulos, denominados cartas de sesmarias, a pessoas no intuito de incentivar a exploração do território nacional em nome próprio ou de terceiros arrendatários, sob pena de confisco e posterior concessão de novo título a outrem. Esse sistema perdurou até a independência brasileira, em 1822 (Kümpel, 2020a). Enquanto não promulgada a Lei de Terras (Lei nº 601/1850), houve um

hiato legislativo, durante o qual a ocupação do solo e a transmissão da posse se davam por esbulho ou turbação sem título ou publicidade (Kümpel, 2020a).

Com a vigência da Lei de Terras e seu Regulamento nº 1.318/1854, entrava em vigor o sistema do Registro do Vigário. Neste, a Igreja Católica exerceu a função de registrador imobiliário com a manutenção dos documentos de conteúdo jurídico no acervo da paróquia da situação do imóvel. As principais funções desse sistema seriam o recenseamento da população e a realização da legitimação da posse a transformar paulatinamente os latifúndios sesmeiros em minifúndios de posses legitimadas. Contudo, esse sistema prosseguiu desordenadamente, em razão de insuficiência de recursos técnicos e de irregularidades processuais (Kümpel, 2020a).

Em seguida, foram criados os Registros Gerais pela Lei nº 1.237/1864, na qual mantiveram os efeitos meramente declaratórios do registro no sistema de transmissão de propriedade por meio da transcrição. Com o Código Civil de 1916, alteraram-se a denominação para Registro de Imóveis e os efeitos do ato registral de declaratórios para constitutivos de propriedade, bem como passaram a adotar princípios registrares basilares como prioridade, legalidade, especialidade, publicidade e presunção (Kümpel, 2020a).

Apenas a partir da Lei nº 6.015/73, ainda em vigor, o Direito Registral Imobiliário passou a adotar o sistema de matrícula, ao invés de transcrição, a impor a individualização do imóvel com suas características e confrontações perfeitamente identificáveis. Aberta a matrícula individual, instrumentalizada por ficha solta, os atos posteriores de transmissões de propriedade e de alterações objetivas e/ou subjetivas relacionadas ao imóvel se dão por registro e averbação, respectivamente (Brasil, 1973).

Os Registros de Imóveis do Brasil estão experimentando mais uma significativa transformação a partir do advento das Leis nºs 11.977/2009 e 13.465/2017, que instituíram respectivamente o Sistema Eletrônico de Registros Públicos (SERP) e Sistema de Registro Eletrônico de Imóveis (SREI) no país (Brasil, 2009b e 2017).

Desse marco legislativo até os dias atuais, os órgãos reguladores, tais como o Tribunal de Justiça Estadual e o Conselho Nacional de Justiça, vêm implementando sistemáticas mudanças, por meio de atos normativos, para a integralização, digitalização e informatização das serventias extrajudiciais. Nesse

viés, o Conselho Nacional de Justiça (CNJ) publicou o Provimento nº 100/2020, que possibilitou a integração oficial da tecnologia blockchain ao sistema de cartórios no Brasil. O texto regulamentou a aguardada realização dos atos notariais online e instituiu a plataforma e-Notariado, criada e gerida pelo Conselho Federal do Colégio Notarial do Brasil (CNB/CF), para implementar a prática dos atos notariais eletrônicos no País (CNJ, 2020).

Em consonância à finalidade das serventias extrajudiciais de garantir a publicidade, autenticidade, segurança e eficácia dos atos jurídicos (Kümpel e Ferrari, 2017; 2020a; 2020b), o Instituto Datafolha realizou pesquisa em 2022, na qual os cartórios brasileiros lideram em termos de confiabilidade, relevância e excelência nos serviços prestados, superando outros 14 órgãos públicos e privados. Ademais, foram percebidas melhorias nos cartórios brasileiros nos últimos 10 anos, relacionadas à informatização do setor e à prestação dos serviços eletrônicos (Anoreg, 2023).

Nesse contexto, estão inseridos os duzentos e vinte e quatro Ofícios de Registro de Imóveis do Estado do Paraná (TJPR, 2024b), dos quais um foi selecionado para a aplicação do modelo conceitual na análise de investimento da implementação da tecnologia blockchain, em conformidade com a tendência da informatização e prestação de serviços eletrônicos.

Para fins de seleção da serventia extrajudicial para aplicação do modelo teórico, foram utilizados critérios, tais como: (i) densidade demográfica; (ii) tempo de titularidade do oficial titular; (iii) número de atos praticados; (iv) cultura inovadora da serventia extrajudicial; e (v) resultados das operações da serventia extrajudicial.

Com relação ao primeiro critério, são considerados diversos parâmetros para caracterizar um grande centro urbano no Brasil, sendo a densidade demográfica um dos principais. Isso porque, ao se observar a relação entre o número de habitantes e a área geográfica da cidade, percebe-se que nos grandes centros urbanos este parâmetro é alto, com concentração de grande número de pessoas em áreas relativamente pequenas.

A infraestrutura desenvolvida também é um parâmetro a ser considerado, visto que grandes centros urbanos devem possuir sistemas de transporte público eficientes, redes de energia e comunicação avançadas, serviços de saúde e educação de qualidade, além de uma ampla variedade de opções culturais e de

lazer. Essa complexidade administrativa se reflete na estrutura organizacional do ente público, com múltiplos níveis de governo responsáveis pela gestão e prestação de serviços públicos.

Por sua vez, o tempo de titularidade do responsável pela serventia extrajudicial é um critério importante a ser considerado. A experiência prolongada em cargos públicos muitas vezes está associada a uma menor propensão à inovação. Isso pode ser atribuído a fatores relacionados à dinâmica organizacional e às características individuais do oficial titular e seus funcionários.

Um dos motivos para essa menor propensão à inovação é a tendência à inércia organizacional. Funcionários com mais tempo de serviço público tendem a estar mais familiarizados e confortáveis com as estruturas e os procedimentos estabelecidos, o que pode gerar resistência à mudança e à adoção de práticas inovadoras e novas tecnologias.

Além disso, a estabilidade e a segurança proporcionadas pelo cargo público podem reduzir a motivação para buscar novas abordagens na prestação dos serviços e soluções tecnológicas. Funcionários que se sentem seguros em seus empregos podem estar menos dispostos a correr riscos e a experimentar novas ideias, preferindo manter-se dentro das práticas já estabelecidas.

Outro aspecto a considerar é a cultura organizacional do serviço público, que muitas vezes enfatiza a permanência de procedimentos já estabelecidos em detrimento da inovação. Funcionários que são recompensados por seguir tais procedimentos tendem a evitar comportamentos que possam ser percebidos como disruptivos ou arriscados.

Quanto ao terceiro critério, apesar de não ser indicativo por si só de capacidade inovativa, o número de atos praticados por uma serventia extrajudicial é um parâmetro relevante para se avaliar a sua capacidade inovativa. Essa métrica pode fornecer informações sobre aspectos da operação e do desempenho da serventia extrajudicial, como, por exemplo, sua eficiência operacional, capacidade de adaptação, uso de tecnologia, diversificação de serviços e qualidade dos serviços prestados.

O aumento no número de atos praticados pode tanto indicar a implementação de práticas inovadoras para otimizar processos internos,

tornando a serventia extrajudicial mais eficiente, quanto refletir a capacidade do ofício de se adaptar às demandas do mercado e às mudanças regulatórias.

A existência de cultura inovadora na serventia extrajudicial é fundamental para se identificar a busca criativa por novas soluções e tecnologias. Um dos aspectos-chave é a mentalidade aberta à mudança, que valoriza a flexibilidade e estimula a busca por novas ideias e soluções tecnológicas. Além disso, a cultura inovadora prioriza o cliente, buscando constantemente compreender suas necessidades e adaptar os serviços oferecidos para atender às suas expectativas de maneira eficaz e inovadora.

Ademais, o estímulo à criatividade e à colaboração entre os membros da equipe compõem a cultura inovadora, criando um ambiente propício à geração de soluções inovadoras. Esses estímulos são reforçados quando a empresa investe em pesquisa e desenvolvimento, com alocação de recursos significativos na busca de novas tecnologias, metodologias e práticas que possam melhorar seus serviços e agregar valor aos clientes. A aprendizagem contínua e a tolerância ao fracasso devem ser entendidas como componentes essenciais dessa cultura inovadora, visto que o processo de inovação envolve riscos e aprendizagem em seu percurso.

Classificar um prestador de serviço como tendo uma forte cultura inovadora requer uma análise abrangente de aspectos da empresa e de suas práticas organizacionais. Assim, deve-se considerar o histórico de inovação, evidenciado pelo lançamento consistente de novos produtos, serviços ou processos; o investimento significativo em pesquisa e desenvolvimento (P&D), demonstrando um comprometimento com a inovação; a rápida adoção de tecnologias emergentes, indicando uma postura proativa em relação à inovação tecnológica; e um ambiente de trabalho que estimule a criatividade, a experimentação e o compartilhamento de ideias entre os funcionários. A busca ativa por parcerias e colaborações estratégicas, bem como o reconhecimento e a recompensa às contribuições dos colaboradores para a inovação, também são indicadores de uma forte cultura inovadora.

Por último, o resultado das operações é um indicador crucial para avaliar a adequação e o potencial de sucesso da implementação de uma tecnologia inovadora em uma serventia extrajudicial. Ao se analisar os resultados

financeiros, averigua-se se ela possui recursos adequados para investir na tecnologia e se conseguirá sustentá-la no longo prazo.

Com base nesses critérios, apresentam-se no quadro 4.1 os parâmetros de elegibilidade das serventias extrajudiciais localizadas no Estado do Paraná:

Quadro 4.1: Critérios de escolha e parâmetros de elegibilidade de serventias extrajudiciais para a implementação da tecnologia blockchain

Critérios de escolha	Parâmetros de elegibilidade	Fontes
Densidade demográfica	Limite inferior: 166,44; Limite superior: 4.078,53 (ano base: 2022).	IBGE (2024)
Tempo de titularidade do oficial titular	A partir do ano de 2009.	CNJ (2024)
Número de atos praticados nos últimos cinco anos	Limite inferior: 28.524; Limite superior: 1.489.044.	CNJ (2024)
Cultura inovadora da serventia extrajudicial	Investimento em P&D; histórico de inovação; busca criativa por novas soluções e tecnologias.	Büschgens, Bausch e Balkin (2013)
Resultados das operações da serventia extrajudicial	A partir de R\$3.000.000,00 ao ano.	TJPR (2024)

Dentre as serventias extrajudiciais elegíveis, foi selecionado o Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa. Contudo, como mencionado na seção 4.1, para preservar a confidencialidade desta serventia extrajudicial, o seu nome será mantido em sigilo, sendo referida apenas por essa forma genérica.

4.3.

Aplicação do modelo teórico em uma serventia extrajudicial do Estado do Paraná

A aplicação do modelo teórico focalizou a análise de investimentos na implementação da tecnologia blockchain no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa, seguindo-se as etapas descritas na seção 3.2, respectivamente nas subseções 3.2.1 a 3.2.5, como resumido a seguir: (i) definição do projeto de investimento da serventia extrajudicial; (ii) modelagem da incerteza (receita) pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB); (iii) determinação dos parâmetros do modelo binomial e construção da respectiva árvore; (iv) valoração das opções de expansão, com base no modelo binomial; e (v) análise de sensibilidade e flexibilidade das opções.

Antes de se iniciar a apresentação propriamente dita dos resultados, é importante descrever como foi realizada a coleta, formatação e análise dos dados levantados durante o desenvolvimento deste estudo empírico.

4.3.1. Coleta, formatação e análise dos dados

A coleta, formatação e análise dos dados referentes a cada uma das etapas do estudo empírico foram conduzidas como indicado no quadro 4.2.

Quadro 4.2: Quadro-síntese da coleta, formatação e análise dos dados

Etapas	Métodos e técnicas adotadas	Fontes
1. Definição do projeto de investimento em blockchain	Levantamento bibliográfico e análise documental.	Lista de referências consultadas neste levantamento.
2. Modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB)	Levantamento dos dados da serventia extrajudicial escolhida e modelagem pelo MGB (subseção 3.2.2)	Dados primários coletados do Portal da Transparência (TJPR, 2024). Cálculos baseados na descrição em 3.2.2.
3. Determinação dos parâmetros do modelo binomial e construção da respectiva árvore	Modelo binomial de Cox, Ross e Rubinstein (1979). Descrição no capítulo 3 – subseções 3.2.3 e 3.2.4	A partir dos parâmetros calculados na etapa 2, projeção do cálculo das métricas financeiras em cada intervalo de tempo futuro.
4. Valoração das opções reais de expansão, com base no modelo binomial	Modelo binomial de Cox, Ross e Rubinstein (1979) Descrição no capítulo 3 – subseções 3.2.3 e 3.2.4	Cálculos baseados na descrição em 3.2.3 e 3.2.3.
5. Análise de sensibilidade e flexibilidade	Descrição no capítulo 3 – subseção 3.2.5	Resultados da etapa 4.

Como abordado na subseção 2.2.1, as serventias extrajudiciais prestam um serviço público essencial, exercido em caráter privado pelo oficial titular mediante delegação do Poder Público. Em razão disso, é obrigatória a prestação de informações, de interesse geral ou particular, relativamente às receitas e despesas, pelos responsáveis das serventias extrajudiciais dentro de prazos legais (Brasil, 1988).

A Lei nº 12.527/2011 regula e garante esse acesso a informações, definidas como aqueles dados, processados ou não, aptos a serem utilizados para a produção e transmissão de conhecimento (Brasil, 2011). Para cumprimento da obrigação legal, essas informações são disponibilizadas nos sítios oficiais da

rede mundial de computador, denominados Portal da Transparência, criados pela Lei Complementar nº 131/2009 (Brasil, 2009a).

Para este estudo empírico, foram coletados dados primários no Portal da Transparência do Foro Extrajudicial da Corregedoria da Justiça do Estado do Paraná, referentes às receitas e despesas mensais do Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa dos últimos cinco anos (TJPR, 2024).

A partir desses dados primários, apurou-se o resultado das operações do Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa de cada mês pelo período de 2019 a 2023, os quais se mantiveram sempre superavitários. Em seguida, somaram-se os valores acima para se obter o resultado das operações de cada ano dentro do período estabelecido.

Após, subtraiu-se desses resultados a alíquota do imposto de renda (25%), a fim de se calcular o resultado líquido das operações do Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa. Essa alíquota é justificada, na medida em que o imposto de renda possui cinco alíquotas a ser aplicada cada qual em sua respectiva base de cálculo, descontada a faixa de valor anterior na posterior. Tendo as primeiras faixas comparativamente valor diminuto de base de cálculo, bem como não tendo a última faixa um limite superior, entendeu-se que uma alíquota única de 25% não só tornariam os cálculos mais simples, a possibilitar maior enfoque ao modelo deste trabalho, como também seria suficientemente próxima à realidade da sistemática tributária para a grandeza de valores do resultado líquido apurado.

Utilizando-se a razão entre o ano posterior e o anterior, obtiveram-se os logaritmos naturais e, a partir da sua média, calcularam-se a taxa de crescimento e o desvio padrão da série temporal.

Assim, foi possível prever o comportamento estocástico do ativo real pelo período de cinco anos, modelando-se a incerteza (receita) pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB) e determinando-se os parâmetros do modelo binomial para a construção da respectiva árvore com o intuito de valorar a opção de expansão na implementação da tecnologia blockchain no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa.

4.3.2.

Resultados da Etapa 1: Definição do projeto de investimento da serventia extrajudicial

A partir dos passos descritos na subseção 3.2.1, definiu-se que o objetivo desse projeto é implementar a tecnologia blockchain no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa. Por ser uma nova tecnologia, presumiu-se que a serventia escolhida se encontra atualmente no nível 0 de adoção, em que não há integração e uso da tecnologia blockchain e, portanto, depende por completo de seu sistema operacional e base de dados centralizada.

Considerando o quadro 2.4, no qual se identificaram os níveis de adoção da tecnologia blockchain e as espécies de serventias extrajudiciais no Brasil, propõe-se que o Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa atinja o nível 1 de adoção ao passar a gravar em uma blockchain permissionada os atos registrais de forma integrada ao seu sistema operacional, com a criação de código hash para cada registro, averbação e emissão de certidão praticados.

Relativamente ao segundo passo, a análise de viabilidade preliminar foi realizada por meio da avaliação da capacidade das serventias extrajudiciais existentes no Estado do Paraná em absorver a nova tecnologia. Para esta análise, considerando-se a incerteza associada à receita advindas dos serviços extrajudiciais prestados e ao desempenho dessa tecnologia, foram utilizados dados de mercado, dados financeiros e dados de risco e incertezas, descritos no quadro 3.1.

Quanto aos dados de mercado, identificou-se na subseção 4.2.2 que o mercado de atuação das serventias extrajudiciais brasileiras tem a tendência atual e futura de informatização e prestação de serviços eletrônicos com adoção de tecnologias para melhorar e agilizar o serviço notarial e registral.

Ademais, conforme abordado na subseção 2.2.1, o preço a ser cobrado pelo serviço notarial e registral é tabelado pelo Tribunal de Justiça Estadual, por meio de lei em sentido estrito, razão pela qual eventuais variações de preço se devem à antiguidade da serventia extrajudicial, critério previsto na tabela estadual de emolumentos, e à interpretação jurídica realizada pelo oficial titular. Essas variações interpretativas tendem a ser uniformizadas por enunciados editados em encontros de associação de classe, bem como após procedimento administrativo na corregedoria estadual ou nacional com expedição de diretriz para determinado

tipo de ato notarial e registral. Assim, o preço por si só não foi um dado a ser considerado na análise de viabilidade preliminar do Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa, bem como na modelagem do projeto de investimento da tecnologia blockchain.

Nesse mesmo sentido, não foi considerado como dado a ser analisado a concorrência entre serventias extrajudiciais da espécie Registro de Imóveis. Isso porque o Registro de Imóveis é responsável por manter atualizada a matrícula de imóvel com registros e averbações de atos constitutivos, translativos, declaratórios ou extintivos de direitos reais tão somente de sua circunscrição geográfica, conforme abordado na subseção 2.2.1, a gerar exclusividade sobre determinada área de atuação.

Por sua vez, a demanda dos serviços extrajudiciais é impactada por fatores internos, como a confiabilidade do serviço, a expectativa de sua concretização e a frustração pelas exigências técnicas impostas, e externos, tais como a regulamentação governamental, as crises financeiras, as características predominantes da circunscrição geográfica e as tendências dos usuários do serviço. Os fatores internos e externos aqui relatados são considerados como dados de risco e incertezas. Essa variação repercute diretamente na quantidade de atos praticados e no resultado financeiro das operações da serventia extrajudicial, ambos dados financeiros, tendo sido previsto o seu comportamento ao longo do tempo a partir da modelagem da incerteza (receita) pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB), conforme abordado na subseção 3.2.2.

Assim, a capacidade financeira e organizacional foi preliminarmente avaliada no momento da escolha pelo Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa, utilizando-se os critérios de:

- (i) densidade demográfica;
- (ii) tempo de titularidade do oficial titular;
- (iii) número de atos praticados;
- (iv) cultura inovadora da serventia extrajudicial; e
- (v) resultados das operações da serventia extrajudicial, conforme abordado na subseção 4.2.2.

Elaborou-se um cronograma físico-orçamentário, com identificação das seguintes etapas:

- (i) modelagem da incerteza (receita) pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB);
- (ii) determinação dos parâmetros do modelo e construção da árvore binomial;
- (iii) valoração da opção real de expansão; e
- (iv) análise de sensibilidade e flexibilidade.

Ressalta-se que as serventias extrajudiciais têm por característica a impossibilidade de sua negociação econômica, apesar de ser um ativo com valor. Essa característica advém de o serviço notarial e registral ser um serviço público essencial, exercido em caráter privado pelo oficial titular mediante delegação do Poder Público, após aprovação em concurso de provas e títulos, como abordado na subseção 2.2.1. A fim de se poder modelar a incerteza (receita) pelo MGB, determinar os parâmetros do modelo binomial e construir a árvore binomial, nas etapas (i) e (ii) do projeto, utilizou-se a abordagem da Negação do Ativo Negociado (MAD). Isto é, diante da impossibilidade prática de se encontrar um ativo gêmeo com preço de conhecimento público perfeitamente correlacionado ao ativo do projeto com flexibilidade, emprega-se o valor presente dos fluxos de caixa do projeto sem flexibilidade para sua valoração (Copeland e Antikarov, 2002), conforme será visto nas subseções 4.3.3 e 4.3.4.

Em seguida, determinou-se que a implementação da tecnologia blockchain no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa deveria ocorrer no período de até 5 anos, tendo como orçamento o resultado das operações dessa serventia extrajudicial ao longo desse período e como custo de investimento associado à implementação o valor de US\$1.000.000,00 com taxa hipotética de conversão para a moeda nacional de R\$5,2, a totalizar R\$5.200.000,00. Esse custo de investimento sofrerá análise de sensibilidade na subseção 4.3.6. Identificou-se que a implementação do projeto com flexibilidade na serventia extrajudicial escolhida tem por intuito a melhora de sua eficiência operacional, a possibilitar a redução dos custos e dos riscos operacionais inerentes.

4.3.3.

Resultados da Etapa 2: Modelagem da incerteza pelo Movimento Geométrico Browniano (MGB)

Como visto na subseção 3.2.2, a modelagem por Movimento Geométrico Browniano (MGB) foi o método selecionado para prever o comportamento do ativo financeiro pelo período de cinco anos.

Dos dados primários coletados do Portal da Transparência (TJPR, 2024), foram apurados os resultados das operações do Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa. Após a subtração da alíquota do imposto de renda (25%), justificada na subseção 4.3.1, calculou-se o resultado líquido das operações desta serventia extrajudicial.

Assim, foi possível estruturar o seu fluxo de caixa, relativamente aos anos de 2019 a 2023, e, em seguida, calcularam-se a taxa de crescimento da demanda (18,51%) e o desvio padrão da série temporal (73,73%), a partir da média de seus logaritmos naturais, pelos serviços notariais desta serventia extrajudicial, como visto na subseção 4.3.1.

Contudo, os valores obtidos não representaram a tendência média de crescimento do preço do ativo ao longo do tempo. Houve distorção nos percentuais da taxa de crescimento da demanda e do desvio padrão em função da pandemia do Covid-19, que afetou diretamente o serviço público prestado com queda de 53,9% em 2020 e aumento de 121,1% em 2021. Assim, para dirimir essas distorções causadas pela pandemia, optou-se por utilizar a metade do percentual calculado para representar o desvio padrão (36,87%) e definiu-se o percentual de 2% como taxa de crescimento, sendo este mais compatível com os padrões do mercado brasileiro visto ser também a taxa de crescimento médio do Produto Interno Bruto - PIB.

Por sua vez, foram estimadas como taxa livre de risco e custo médio ponderado de capital os percentuais de 6% e 15%, eis que, respectivamente, se aproxima àquela taxa utilizada como retorno de títulos públicos de longo prazo e representa neste contexto um percentual razoável do custo por fontes interna e externa de capital para o projeto de implementação da nova tecnologia na serventia extrajudicial selecionada.

Utilizando-se os parâmetros acima indicados, calculou-se o seu fluxo de caixa com perpetuidade (R\$33.657.236,00), já descontado o custo médio

ponderado de capital. Esse alto valor é justificado, na medida em que, em média, um candidato é aprovado em concurso público de provas e títulos entre 30 e 40 anos de idade. Ademais, após assumir a titularidade da serventia extrajudicial, o oficial titular tende a optar por não se aposentar, ainda que preencha os requisitos legais para tanto, uma vez que a aposentadoria facultativa é hipótese de extinção da delegação do poder público e consequente perda da titularidade da serventia extrajudicial assumida (Brasil, 1994).

Além disso, entendeu-se necessário o cálculo do fluxo de caixa com perpetuidade, tendo em vista que, independente do exercício da titularidade por candidato aprovado em concurso público ou da vacância da serventia extrajudicial, esta deve ser considerada de existência perpétua, em razão da característica de o serviço notarial e registral ser um serviço público essencial e, portanto, de não poder sofrer interrupção, ressalvadas as exceções legais.

Assim, considerando essas particularidades, o valor de fluxo de caixa com perpetuidade encontrado é considerado razoável ao se compará-lo ao último ano da série histórica (R\$4.933.094,83). Com a soma do fluxo de caixa do ano de 2023 ao fluxo de caixa com perpetuidade, obteve-se o VPL (R\$38.590.330,00) da série histórica, também considerado como o valor do ativo gêmeo, como abordado na subseção 4.3.2.

Todavia, por ser a opção de expansão considerada uma opção americana, que pode ser exercida a qualquer tempo na projeção da árvore binomial, também foi calculado o valor do fluxo de caixa com perpetuidade do último até o primeiro ano.

Em seguida, apurou-se a taxa de pagamento do fluxo de caixa dos anos de 2019 a 2023, obtendo-se a sua média (9,84%) e a taxa complementar média do fluxo de caixa (90,16%), para que esta última seja utilizada na projeção das árvores binomiais, como será visto adiante na subseção 4.3.4.

A taxa de pagamento do fluxo de caixa é comumente denominada como taxa de pagamento de dividendos. Contudo, considerando que este trabalho se utiliza de linguajar técnico de administração financeira e também de direito e considerando que no direito empresarial a expressão pagamento de dividendos possui acepção diversa e incompatível com o objeto deste estudo, optou-se por utilizar a denominação taxa de pagamento do fluxo de caixa ao invés da habitual nomenclatura, a fim de não causar confusão técnico-jurídica.

4.3.4.

Resultados da Etapa 3: Determinação dos parâmetros do modelo binomial e construção da respectiva árvore

Os resultados da modelagem da incerteza (receita) pelo MGB foram importantes para indicar a magnitude das variações aleatórias do ativo subjacente. Com base nos parâmetros calculados na subseção 4.3.3, fez-se a projeção do cálculo das métricas financeiras em cada intervalo de tempo futuro, utilizando-se do modelo binomial com construção da respectiva árvore, cujos valores serão expressos em milhares de reais.

Inicialmente, calcularam-se as taxas de crescimento do movimento ascendente (1,4458) e descendente (0,6917), utilizando-se, respectivamente, as equações 3.4 e 3.5 do modelo binomial. Com base nesses valores, obtiveram-se as probabilidades dos movimentos ascendente (0,4884) e descendente (0,5116) por meio das equações 3.6 e 3.7 do modelo binomial.

Para a construção da árvore binomial, foram determinados os parâmetros do modelo, como definidos no quadro 4.3.

Quadro 4.3: Parâmetros do modelo binomial definidos para o estudo empírico

Parâmetro	Definição	Dados
Horizonte de planejamento e número de períodos	O horizonte de planejamento refere-se ao período durante o qual se deseja analisar o investimento. Deve-se dividir esse horizonte em um número adequado de períodos, por exemplo, anualmente, semestralmente ou mensalmente, dependendo da disponibilidade e da granularidade dos dados.	Cinco anos. Períodos anuais na árvore binomial. (entrada)
Taxa livre de risco (r_f)	Para estimar a taxa nominal livre de risco no Brasil, pode-se usar a taxa de retorno de títulos públicos de longo prazo como uma aproximação da taxa livre de risco. Essa taxa será usada como a taxa de desconto nos cálculos.	6% (entrada) (dos títulos públicos)
Taxa de custo médio ponderado de capital (WACC)	Trata-se da taxa nominal mínima de retorno exigida por investidores em função do risco do projeto de investimento e dos valores monetários obtidos de fontes interna e/ou externa.	15% (estimado e justificado)
Prêmio de risco	Trata-se da taxa de juros cobrada além da taxa livre de risco ao se investir em ativos mais voláteis que os da renda fixa.	9% (calculado com análise de sensibilidade)
Volatilidade (σ)	Estima-se a volatilidade dos resultados líquidos anuais da serventia extrajudicial. Isso pode ser feito calculando-se o desvio padrão dos retornos dos resultados líquidos ao longo do tempo. A volatilidade é uma medida da incerteza ou variabilidade dos retornos.	73,73% (calculado e justificado) 36,87% (utilizado, em razão do alto percentual calculado justificado pela pandemia)

Taxa de crescimento (drift) (g)	Taxa pela qual se espera que o preço do ativo subjacente (serventia extrajudicial) cresça ao longo do tempo. Ela é um parâmetro importante em modelos de precificação de opções que consideram a aleatoriedade nos movimentos da demanda, neste caso dos serviços notariais.	18,51% (calculado e justificado) 2% (utilizado, em razão do alto percentual calculado justificado pela pandemia)
Alíquota do imposto de renda (IR)	A alíquota do imposto de renda é a porcentagem de imposto paga sobre o lucro tributável. Em análises de opções reais, ela é relevante para calcular os fluxos de caixa líquidos após impostos.	25% (entrada e justificado)
Valor presente líquido tradicional (VPL)	É o valor presente dos fluxos de caixa de um projeto, subtraindo o investimento inicial. Ele é usado para avaliar a viabilidade financeira de um projeto sem considerar opções de flexibilidade ou expansão.	R\$38.590.000,00 (calculado)
Valor presente líquido com flexibilidade (VPL _f)	Valor presente dos fluxos de caixa de um projeto, incluindo opções de flexibilidade ou expansão, subtraindo o investimento inicial. Ele leva em consideração a capacidade de adiar, expandir ou abandonar um projeto ao longo do tempo.	R\$51.326.000,00 (calculado)
Custo de expansão (x)	Valor do custo total de um projeto, incluindo todos os investimentos necessários para sua implementação.	US\$1.000.000,00 (entrada, hipotético com análise de sensibilidade)
Cotação do dólar (\$)	Trata-se da relação de valor da moeda nacional frente ao da moeda estrangeira, a indicar quantos reais são necessários para equivaler a um dólar.	R\$5,2 (entrada, hipotético)
Taxa de diminuição do custo de investimento (c)	Porcentual de depreciação do valor de investimento.	-5% a.a. (entrada, hipotético)
Taxa de crescimento do movimento ascendente (u)	Fator pelo qual o preço do ativo subjacente aumenta em um modelo de árvore binomial. Ela está relacionada à volatilidade do ativo e ao intervalo de tempo entre os estágios da árvore.	1,4458 (calculado)
Taxa de crescimento do movimento descendente (d)	Fator pelo qual o preço do ativo subjacente diminui em um modelo de árvore binomial. Ela está relacionada à volatilidade do ativo e ao intervalo de tempo entre os estágios da árvore.	0,6917 (calculado)
Probabilidade do movimento ascendente (p)	Probabilidade de que o preço do ativo subjacente aumente em um modelo de árvore binomial. Ela é usada para calcular o valor esperado dos fluxos de caixa futuros descontados em cada nó da árvore.	0,4884 (calculado)
Probabilidade do movimento descendente (q)	Probabilidade de que o preço do ativo subjacente diminua em um modelo de árvore binomial. Ela é usada para calcular o valor esperado dos fluxos de caixa futuros descontados em cada nó da árvore.	0,5116 (calculado)
Taxa de fluxo de caixa (b)	Porcentual do valor dos resultados líquidos no ano em relação ao VPL com perpetuidade.	Varia anualmente (calculado)
Taxa de fluxo de caixa complementar	Porcentual complementar da taxa de fluxo de caixa.	Varia anualmente (calculado)
Taxa média de fluxo de caixa	Porcentual obtido pela média das taxas de fluxo de caixa dos anos da série histórica.	9,84% (calculado)

Taxa média de fluxo de caixa complementar	Porcentual complementar da taxa média de fluxo de caixa.	90,16% (calculado)
Múltiplo de expansão (M)	Relação entre o valor presente líquido de um projeto com a opção de expansão e o valor presente líquido do mesmo projeto sem a opção de expansão. Ele reflete o impacto da expansão na valorização do projeto.	50% (entrada) (hipotético com análise de sensibilidade)
Valor presente da opção (VPO)	Valor atual da opção de investimento no ativo subjacente, calculado com base nas probabilidades de movimento do preço do ativo para cima e para baixo, descontado pelo fator de risco (livre de risco).	R\$12.735.000,00 (calculado com análise de sensibilidade)
Valor incremental da OR	É a relação entre o valor presente da opção e o valor presente líquido do projeto sem flexibilidade.	33,00% (calculado)

Com aplicação desses parâmetros, representou-se em estrutura de árvore de eventos os movimentos ascendentes e descendentes do ativo subjacente para cada nó ao longo do período de cinco anos futuros, a fim de se contemplar um valor anual da evolução do VPL.

Para construção da árvore binomial, introduziu-se o VPL do projeto sem flexibilidade (R\$38.590) como o valor presente V_0 no estágio 0. Em seguida, multiplicou-se o elemento anterior pelas taxas u e d , cujos resultados foram também multiplicados pela taxa média de fluxo de caixa complementar. Esses passos foram repetidos em cada nó até completar o período de cinco anos, a fim de se formar a árvore de eventos do projeto sem o valor da flexibilidade, demonstrada na figura 4.1.

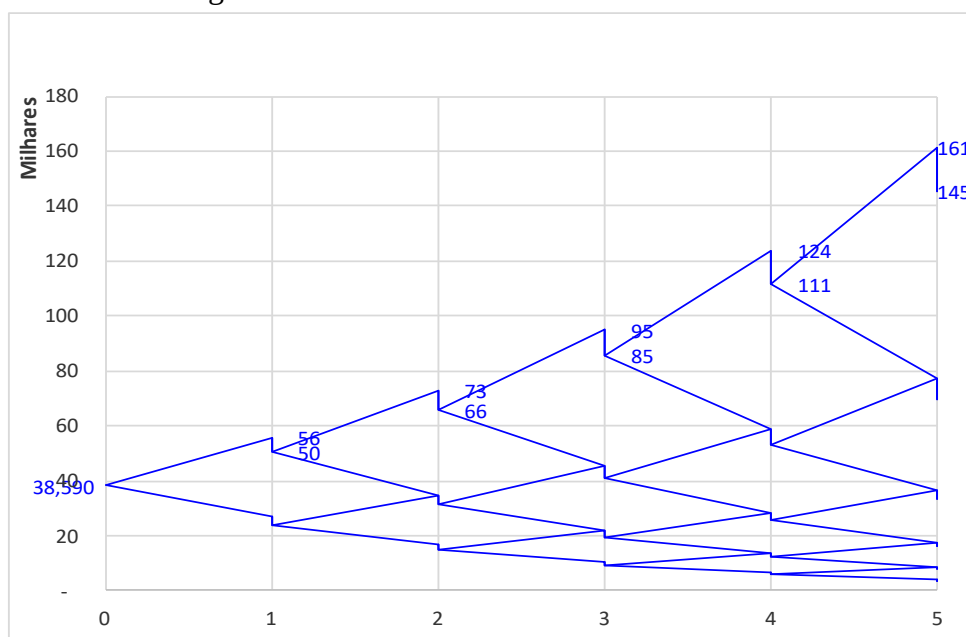


Figura 4.1: Árvore binomial do projeto de investimento sem opções

4.3.5.

Resultados da Etapa 4: Valoração das opções de expansão, com base no modelo binomial

Por sua vez, o valor das opções de expansão foi calculado com base no modelo de precificação binomial e respectiva árvore. A partir dos resultados obtidos na árvore binomial do projeto de investimento sem opções (figura 4.1), utilizou-se a equação 3.8 do modelo binomial para se obter os valores de cada nó da árvore do ano cinco ao zero, sendo este último o VPL do projeto de investimento com flexibilidade (R\$51.326).

Assim, construiu-se a árvore binomial do projeto de investimento com opções de expansão, conforme figura 4.2.

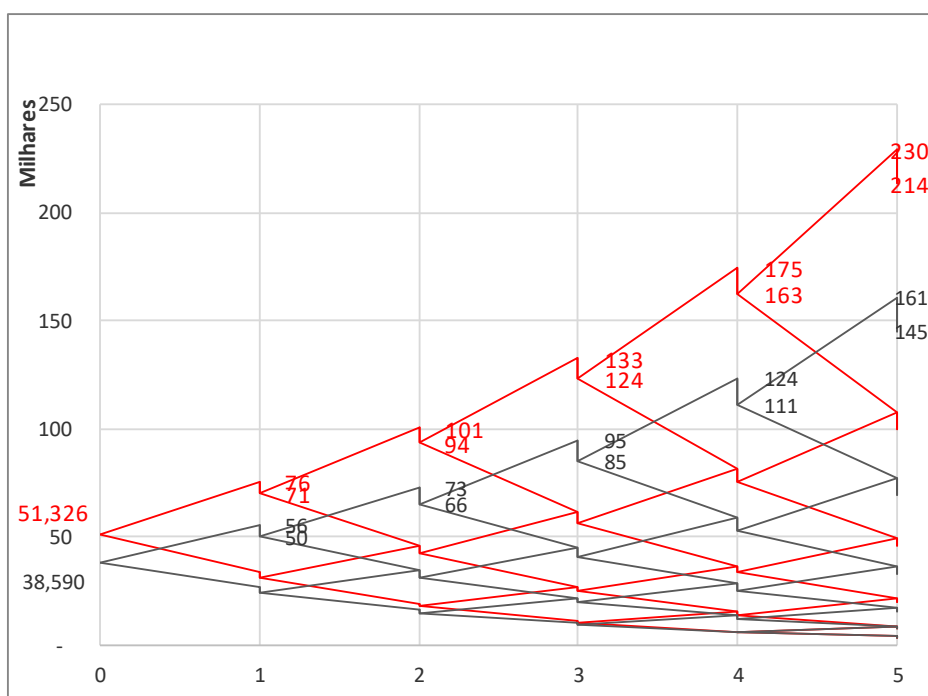


Figura 4.2: Árvore binomial do projeto de investimento com opções de expansão

Nesse momento, já foi possível observar graficamente a diferença valorativa do projeto de implementação da tecnologia blockchain no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa sem e com a abordagem de opções reais, ressaltada nas cores preto e vermelho na figura 4.2.

Também com base na figura 4.2, identificaram-se os nós ascendentes e descendentes, cuja maximização do ativo subjacente do VPL com opção de expansão superou aquele sem a opção real, a indicar os cenários propícios para a opção de expansão pelo oficial titular.

Utilizando-se os VPLs dos projetos de investimento sem e com flexibilidade, calculou-se o valor presente da opção (VPO) pela subtração deste por aquele, a totalizar R\$12.735. Assim, avaliou-se o valor incremental do VPO (33%) em relação ao VPL sem flexibilidade.

4.3.6.

Resultados da Etapa 5: Análise de sensibilidade e flexibilidade das opções de expansão

No contexto de implementação da tecnologia blockchain no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa, foram realizadas três análises de sensibilidade sobre parâmetros utilizados no projeto de investimento com flexibilidade, tendo em vista que alguns deles precisaram ser definidos de forma justificada a despeito de eventuais cálculos formulados.

Relativamente aos parâmetros de múltiplo de expansão e custo de expansão, realizou-se a análise de sensibilidade, conforme figura 4.3.

12.735	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8
500	4.628	8.107	11.586	15.065	18.544	22.024	25.503
600	4.202	7.641	11.120	14.599	18.078	21.558	25.037
700	3.829	7.175	10.654	14.133	17.612	21.092	24.571
800	3.459	6.709	10.188	13.667	17.146	20.625	24.105
900	3.151	6.302	9.722	13.201	16.680	20.159	23.639
1000	2.860	5.930	9.256	12.735	16.214	19.693	23.173
1.100	2.568	5.558	8.790	12.269	15.748	19.227	22.706
1200	2.322	5.189	8.403	11.803	15.282	18.761	22.240
1.300	2.137	4.873	8.031	11.337	14.816	18.295	21.774
1400	1.951	4.581	7.659	10.876	14.350	17.829	21.308

Figura 4.3: Análise de sensibilidade: múltiplo de expansão x custo de expansão

Inicialmente, definiu-se como custo de investimento para expandir o valor de \$1.000.000,00, que convertido à moeda nacional pela taxa de R\$5,2, equivaleria a R\$5.200.000,00. Diante da inexistência de preços disponíveis à consulta pública, esse valor foi arbitrado justificadamente em razão da capacidade financeira do Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa, mas principalmente por se tratar de implementação de tecnologia disruptiva em setor do mercado não explorado, que por si só já ocasiona o aumento dos valores cobrados.

Já o múltiplo de expansão foi definido na grandeza de 1,5, por ser razoável supor que o preço do ativo subjacente crescerá em 50% caso fosse implementada a tecnologia disruptiva para a melhoria da eficiência operacional na serventia

extrajudicial escolhida, a possibilitar a redução dos custos e dos riscos operacionais inerentes.

Pela análise de sensibilidade realizada, observou-se que o valor dos parâmetros arbitrados e sua correlação são válidos, visto que quanto maior o múltiplo de expansão (1,7), maior é o VPO (R\$19.693). Ao revés, quanto mais caro for o custo de investimento (\$1.300), menor é o valor da flexibilidade do projeto de investimento (R\$11.337).

Relativamente aos parâmetros de desvio padrão e taxa de crescimento, realizou-se a análise de sensibilidade, conforme figura 4.4.

12.735	30%	35%	37%	45%	50%	55%	60%
0%	10.250	10.250	10.250	10.250	10.320	10.456	10.594
0,50%	10.806	10.806	10.806	10.806	10.854	10.991	11.130
1%	11.403	11.403	11.403	11.403	11.426	11.565	11.705
1,50%	12.044	12.044	12.044	12.044	12.044	12.182	12.324
2%	12.735	12.735	12.735	12.735	12.735	12.848	12.991
2,50%	13.482	13.482	13.482	13.482	13.482	13.568	13.713
3%	14.293	14.293	14.293	14.293	14.293	14.350	14.497
3,50%	15.174	15.174	15.174	15.174	15.174	15.201	15.350
4%	16.137	16.137	16.137	16.137	16.137	16.137	16.282
4,50%	17.192	17.192	17.192	17.192	17.192	17.192	17.304
5%	18.353	18.353	18.353	18.353	18.353	18.353	18.430

Figura 4.4: Análise de sensibilidade: desvio padrão x taxa de crescimento

Relativamente aos anos de 2019 a 2023, estruturado o fluxo de caixa, foram calculados a taxa de crescimento da demanda (18,51%) e o desvio padrão da série temporal (73,73%). Contudo, independente de análise de sensibilidade, foi identificada distorção nesses percentuais, explicada pela pandemia do Covid-19. Em razão disso, foram arbitrados justificadamente esses parâmetros em 2% e 36,87%, respectivamente, como abordado na subseção 4.3.3.

A partir dos resultados da análise de sensibilidade realizada, identificou-se que o aumento do desvio padrão da série passaria a afetar positivamente o VPO (R\$12.848) somente a partir de 55%, ao invés de 36,87% arbitrado. Por sua vez, ao se aplicar uma taxa de crescimento maior (2,5%), o VPO sempre seria afetado positivamente (R\$13.482). Assim, este parâmetro mostrou-se mais relevante para a modificação negativa ou positiva do VPO em comparação com o desvio padrão.

Relativamente aos parâmetros da taxa do custo médio ponderado de capital e da taxa livre de risco, procedeu-se à análise de sensibilidade, conforme figura 4.5.

12.735	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%
3%	18.232	16.009	14.161	12.599	11.264	10.109	9.100
3,50%	18.255	16.033	14.184	12.623	11.287	10.132	9.124
4%	18.278	16.055	14.207	12.646	11.310	10.155	9.146
4,50%	18.300	16.078	14.230	12.668	11.333	10.178	9.169
5%	18.323	16.101	14.252	12.691	11.355	10.200	9.192
5,50%	18.345	16.123	14.274	12.713	11.378	10.222	9.214
6%	18.367	16.145	14.296	12.735	11.400	10.245	9.236

Figura 4.5: Análise de sensibilidade: custo médio ponderado x taxa livre de risco

Como abordado na subseção 4.3.3, foram estimadas como taxa livre de risco e custo médio ponderado de capital os percentuais de 6% e 15%, por ser o primeiro valor equivalente à taxa utilizada como retorno de títulos públicos de longo prazo. Já o segundo valor representaria um percentual razoável do custo das fontes interna e externa de capital para a implementação do projeto no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa.

Em observância dos resultados obtidos, a análise de sensibilidade demonstrou que a taxa livre de risco tinha pouca influência no VPO. Assim, a diferença percebida no VPO para os diversos valores dessa primeira taxa pode ser considerada irrelevante. Já a taxa de custo médio ponderado impacta fortemente no VPO, eis que há correlação inversa entre aquele e este. Assim, quanto maior a taxa de custo médio ponderado, menor será o VPO e vice-versa.

Essas análises de sensibilidade foram essenciais para dar robustez aos parâmetros definidos ao trazer a possibilidade de sua mudança e sua correlação positiva ou negativa sobre o modelo aplicado. Isso porque a recomendação pelo investimento na tecnologia blockchain na serventia extrajudicial selecionada deve ser baseada em dados e análises sólidas, a fim de se ter a maximização do retorno do ativo subjacente com a minimização dos riscos envolvidos.

4.4. Discussão dos resultados

O modelo teórico proposto para a análise de investimento na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, mediante a avaliação das opções de expansão, foi aplicado no Ofício de Registro de Imóveis da Comarca de Alfa, a partir de critérios de escolha e parâmetros de elegibilidade, conforme quadro 4.1. Para esse estudo empírico, foram definidos objetivos e questões norteadoras, além da coleta de dados para sua formatação e análise (quadro 4.2).

No decorrer do estudo empírico, foram calculados e definidos justificadamente os parâmetros a serem utilizados para a modelagem da incerteza (receita) pelo MGB e da construção da árvore binomial, conforme o quadro 4.3. Com a aplicação desses parâmetros, construíram-se duas árvores binomiais, uma sem opção (figura 4.1) e outra com opção de expansão (figura 4.2), o que permitiu a visualização da diferença dos VPLs (R\$38.590 e R\$51.326) desses projetos de investimento. A construção das árvores binomiais possibilitou o cálculo do valor presente da opção (R\$12.735) e seu valor incremental (33%).

Ademais, naquela com opção de expansão, foi possível calcular os valores do VPL em cada nó ascendente e descendente. Assim, nos cenários uS , dS , u^2S , udS , u^3S , u^2dS , ud^2S , u^4S , u^3dS , u^2d^2S , ud^3S , u^5S , u^4dS , u^3d^2S e u^2d^3S a opção de expansão poderia favoravelmente ser exercida pelo oficial titular com o intuito de atingir o nível 1 de adoção da tecnologia blockchain permissionada em sua serventia extrajudicial, bem como permitir a integração do seu sistema operacional, com a criação de código hash para cada registro, averbação e emissão de certidão praticados.

Em que pese os resultados positivos alcançados na aplicação do modelo teórico proposto, duas limitações podem ser apontadas neste estudo, a saber: (i) a série temporal não teve grande extensão de dados, limitando-se a cinco anos de dados primários, por inexistência de dados mais antigos; e (ii) a serventia extrajudicial selecionada é considerada de grande porte, com resultados operacionais superavitários e capazes de sustentar este projeto ambicioso de implementação de tecnologia disruptiva. Todavia, essa não é a realidade da maioria das serventias extrajudiciais, mesmo sendo da espécie Registro de Imóveis.

Para dirimir a primeira limitação, realizaram-se três análises de sensibilidade sobre os parâmetros utilizados, a dar robustez aos achados, conforme figuras 4.3, 4.4 e 4.5. Quanto à segunda limitação, o percentual de depreciação natural do valor do investimento, também denominado de taxa de diminuição do custo de investimento (5% a.a.), possibilitará com o transcurso do tempo a acessibilidade heterogênea da tecnologia hoje disruptiva.

Com relação à contribuição deste estudo para o avanço do conhecimento sobre análise de investimentos em projetos de implementação de blockchain em serventias extrajudiciais, considera-se que o modelo teórico proposto e os resultados de sua aplicação em serventia extrajudicial localizada no Estado do Paraná preencheram as lacunas na literatura identificadas no decorrer da revisão

bibliográfica e da elaboração do referencial teórico (capítulo 2). Como pode ser constatado no quadro 2.6, somente alguns poucos estudos adotaram a abordagem metodológica de TOR em projetos de implementação de blockchain (Bhimani et al., 2020; Sánchez Pérez et al., 2020; Zhao e Min, 2020; Vazov et al., 2022; e Marques, Gomes e Brandão, 2023), mas nenhum deles focalizou aplicações da TOR em serventias extrajudiciais. Além disso, os trabalhos prévios sobre aplicação de blockchain em serventias extrajudiciais revisados na subseção 2.3.1 abordaram aplicações da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais sob diferentes perspectivas, mas nenhum deles investigou a problemática da análise de investimentos em projetos de implementação desta tecnologia.

5 Conclusões

A presente pesquisa buscou contribuir para o avanço do conhecimento sobre análise de investimentos em projetos de implementação de blockchain em serventias extrajudiciais. Nessa perspectiva, foi desenvolvido um modelo teórico para análise de investimento com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais, segundo o ordenamento jurídico brasileiro. Os resultados obtidos ao longo da pesquisa aqui relatada permitiram que o objetivo final da dissertação fosse alcançado.

Foi possível confirmar a aplicabilidade do modelo teórico proposto no capítulo 3, mediante o desenvolvimento de um estudo empírico conduzido em um Ofício de Registro de Imóveis localizado no Estado do Paraná, considerando-se diferentes níveis de adoção da tecnologia blockchain e tipos de opções reais e, ao final, chegou-se a um conjunto de cenários de decisão, que irão auxiliar o oficial titular responsável pela serventia extrajudicial na tomada de decisão, quanto ao exercício das opções reais existentes.

Com base no estudo empírico realizado em um Ofício de Registro de Imóveis no Estado do Paraná, algumas conclusões podem ser extraídas quanto a:

- Aplicação do modelo teórico proposto: o estudo empírico permitiu uma análise estruturada do investimento na tecnologia blockchain, considerando os diferentes níveis de adoção e os impactos potenciais na serventia extrajudicial. O modelo forneceu cenários de decisão que auxiliarão o oficial titular na avaliação da viabilidade e dos benefícios da implementação da tecnologia blockchain em sua serventia;
- Análise de viabilidade preliminar: esta análise considerou a capacidade da serventia extrajudicial em adotar a tecnologia blockchain, levando em conta fatores internos e externos que poderiam influenciar o sucesso do projeto. Foram considerados dados de mercado, financeiros e de risco para avaliar a adequação e o potencial impacto da implementação da tecnologia blockchain na serventia;
- Modelagem da incerteza (receita) pelo MGB e construção da árvore binomial: esta modelagem permitiu simular cenários de variação e

comportamento ao longo do tempo, considerando a incerteza (receita) inerente ao projeto. A construção da árvore binomial possibilitou calcular o valor presente da opção de expansão, fornecendo insights sobre a viabilidade financeira e estratégica do investimento;

- **Análise de sensibilidade e flexibilidade:** esta análise contribuiu para avaliar a robustez dos resultados e compreender como variações em determinados fatores poderiam impactar os cenários de investimento. A flexibilidade das opções permitiu ao oficial titular considerar diferentes cenários e ajustar estratégias conforme as mudanças no ambiente de negócios.
- **Contribuição para a literatura e futuras pesquisas:** O estudo preencheu lacunas na literatura ao adotar a Teoria das Opções Reais (TOR) em projetos de implementação de blockchain em serventias extrajudiciais, fornecendo uma abordagem metodológica inovadora. Os resultados obtidos podem servir de base para futuras pesquisas sobre análise de investimentos em tecnologia blockchain em contextos semelhantes, contribuindo para o avanço do conhecimento nessa área.

Para futuros estudos, como desdobramento natural da presente pesquisa e aprofundamento dos seus resultados, propõe-se:

- Aprofundar o estudo realizado, a fim de se modelar o projeto levando-se em consideração de forma específica a incerteza técnica associada a tecnologia blockchain e consequentemente capturando-se os ganhos alcançados;
- Estudos de caso em outras serventias extrajudiciais para avaliar a aplicabilidade do modelo teórico proposto em contextos variados e ampliar a generalização dos resultados;
- Investigar mais a fundo os impactos da implementação da tecnologia blockchain nas operações e nos processos das serventias extrajudiciais, considerando aspectos como eficiência, transparência e segurança;
- Explorar estratégias de mitigação de riscos associados à implementação da tecnologia blockchain, considerando aspectos de segurança cibernética, conformidade regulatória e governança de dados;
- Realizar estudos comparativos com outras tecnologias ou abordagens de transformação digital utilizadas em serventias extrajudiciais para identificar as melhores práticas e os benefícios específicos da tecnologia blockchain;

- Investigar os custos e benefícios no longo prazo da adoção da tecnologia blockchain nas serventias extrajudiciais, considerando não apenas os aspectos financeiros imediatos, mas também os impactos estratégicos e operacionais ao longo do tempo;
- Explorar a aceitação e a adoção da tecnologia blockchain pelos oficiais titulares desses serviços no Brasil, os usuários dos serviços notariais e das serventias extrajudiciais, identificando fatores que influenciam a adoção e formas de promover a aceitação e difusão dessa tecnologia no contexto brasileiro.

Espera-se que, na perspectiva dos oficiais titulares desses serviços no Brasil, a adoção do modelo proposto nesta dissertação poderá conferir maior eficácia aos processos decisórios associados a investimentos sob incerteza, cuja análise considere as flexibilidades operacionais e gerenciais ao longo da vida útil do projeto de investimento.

Em outras palavras, o exercício a qualquer momento da opção de expansão, trará maior segurança financeira aos oficiais titulares, que poderão avaliar em tempo discreto o custo-benefício de adiar o investimento da implementação da tecnologia em suas serventias. Logo, o emprego do modelo proposto considerará as consequências negativas advindas da instabilidade característica das tecnologias disruptivas e da falta de regulamentação do tema no ordenamento jurídico brasileiro. Por sua vez, a observância do valor crítico antes do exercício da opção de expansão diminuirá o risco financeiro advindo da necessidade de substancial investimento de capital para a implementação da tecnologia nos serviços notariais e de registro.

Na perspectiva dos usuários, uma vez implementada a tecnologia blockchain nas serventias extrajudiciais, prevê-se a diminuição de erros na operacionalização dos atos notariais e registrais com aumento da confiança entre as partes envolvidas, da alta qualidade dos dados, da integridade do processo e da ampliação da transparência.

Por último, na perspectiva da sociedade, com a aderência em larga escala da tecnologia blockchain neste contexto, os benefícios a serem percebidos são mais gerais, justificados pela observância da função social de diminuição e resolução de conflitos jurídicos e de concretização do acesso à justiça cada vez mais eficiente por parte das serventias extrajudiciais no Brasil.

Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO DOS NOTÁRIOS E REGISTRADORES DO BRASIL. **ANOREG. Cartório em números**. Brasília: Anoreg/BR, 2023.

ATLAM, H. F.; WILLS, G.B. Technical aspects of blockchain and IoT. **Advances in Computers**, v. 115, p.1-39, 2019.

BARBIERI, M.; GASSEN, D. Blockchain – can this new technology really revolutionize the land registry system? In: ANNUAL WORLD BANK CONFERENCE ON LAND AND POVERTY, 2017, Washington DC. **Proceedings...** Washington DC: The World Bank, 2017. P. 1-13.

BENLLOCH, J. C. L. Encriptación de datos y avances en la digitalización notarial. **Icade. Revista de la Facultad de Derecho**, v. 101, p.1-15, 2018.

BENNETT, R.; MILLER, T.; PICKERING, M.; KARA, A.-K. **Hybrid approaches for smart contracts in land administration**: lessons from three blockchain proofs-of-concept. *Land* 2021, 10, article ID 220.

BHIMANI, A.; HAUSKEN, K.; ARIF, S. Blockchain technology adoption decisions: Developed vs. developing economies. In: BALACHANDRAN, K.R. (Ed.) *Information for efficient decision making: big data, blockchain and relevance*. Singapore: World Scientific Publishing Company, 2020. P. 91 – 113.

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

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.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, 1988. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BRASIL. **Lei Complementar n.º 131, de 27 de maio de 2009**. Acrescenta dispositivos à Lei Complementar n.º 101, de 4 de maio de 2000, que estabelece normas de finanças públicas voltadas para a responsabilidade na gestão fiscal e dá outras providências, a fim de determinar a disponibilização, em tempo real, de informações pormenorizadas sobre a execução orçamentária e financeira da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 mai. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp131.htm>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BRASIL. **Lei n.º 11977, de 7 de julho de 2009.** Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas; altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941, as Leis nos 4.380, de 21 de agosto de 1964, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 8.036, de 11 de maio de 1990, e 10.257, de 10 de julho de 2001, e a Medida Provisória no 2.197-43, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jul. 2009. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2009/lei/l11977.htm>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BRASIL. **Lei n.º 13465, de 11 de julho de 2017.** Dispõe sobre a regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária no âmbito da Amazônia Legal; institui mecanismos para aprimorar a eficiência dos procedimentos de alienação de imóveis da União; altera as Leis n.ºs 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, 13.001, de 20 de junho de 2014, 11.952, de 25 de junho de 2009, 13.340, de 28 de setembro de 2016, 8.666, de 21 de junho de 1993, 6.015, de 31 de dezembro de 1973, 12.512, de 14 de outubro de 2011, 10.406, de 10 de janeiro de 2002 (Código Civil), 13.105, de 16 de março de 2015 (Código de Processo Civil), 11.977, de 7 de julho de 2009, 9.514, de 20 de novembro de 1997, 11.124, de 16 de junho de 2005, 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 10.257, de 10 de julho de 2001, 12.651, de 25 de maio de 2012, 13.240, de 30 de dezembro de 2015, 9.636, de 15 de maio de 1998, 8.036, de 11 de maio de 1990, 13.139, de 26 de junho de 2015, 11.483, de 31 de maio de 2007, e a 12.712, de 30 de agosto de 2012, a Medida Provisória nº 2.220, de 4 de setembro de 2001, e os Decretos-Leis nº 2.398, de 21 de dezembro de 1987, 1.876, de 15 de julho de 1981, 9.760, de 5 de setembro de 1946, e 3.365, de 21 de junho de 1941; revoga dispositivos da Lei Complementar nº 76, de 6 de julho de 1993, e da Lei nº 13.347, de 10 de outubro de 2016; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 set. 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/l13465.htm>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BRASIL. **Lei n.º 6015, de 31 de dezembro de 1973.** Dispõe sobre os registros públicos, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 31 dez. 1973. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6015compilada.htm>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BRASIL. Lei n.º 8935, de 18 de novembro de 1994. **Regulamenta o art. 236 da Constituição Federal**, dispondo sobre serviços notariais e de registro. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 nov. 1994. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8935.htm>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BRASIL. **Lei n.º 12527, de 18 de novembro de 2011.** Regula o acesso a informações previsto no inciso XXXIII do art. 5º, no inciso II do § 3º do art. 37 e no § 2º do art. 216 da Constituição Federal; altera a Lei nº 8.112, de 11 de dezembro de 1990; revoga a Lei nº 11.111, de 5 de maio de 2005, e dispositivos da Lei nº 8.159, de 8 de janeiro de 1991; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 nov. 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2011/lei/l12527.htm>. Acesso em: 07 abr. 2024.

BÜSCHGENS, T.; BAUSCH, A.; BALKIN, D. B. Organizational culture and innovation: A meta-analytic review. **Journal of Product Innovation Management**, v.30, p.763-781, 2013.

CHOWDHURY, M.J.M; COLMAN, A.; KABIR, M.A.; HAN, J.; SARDA, P. Blockchain as a notarization service for data sharing with personal data store. In: 17th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRUST, SECURITY AND PRIVACY IN COMPUTING AND COMMUNICATION, 2018, New York. **Proceedings ...** New York: IEEE, 2018. P. 1330-1335.

CNN Brasil. **TCU e BNDES lançam projeto de rede com tecnologia blockchain para serviços públicos.** 2022. Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/business/tcu-e-bndes-lancam-projeto-de-rede-com-tecnologia-blockchain-para-servicos-publicos/>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. CNJ. **Justiça Aberta.** Disponível em: <http://www.cnj.jus.br/corregedoria/justica_aberta/>. Acesso em: 07 abr. 2024.

CONSELHO NACIONAL DE JUSTIÇA. CNJ. **Provimento nº 100/2020.** Dispõe sobre a prática de atos notariais eletrônicos utilizando o sistema e-Notariado, cria a Matrícula Notarial Eletrônica-MNE e dá outras providências. Brasília: DJE Edição nº 100/2020, de 26/05/2020, p. 2.

COPELAND, T.; ANTIKAROV, V. **Opções reais.** São Paulo: Editora Campus, 2002.

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.

DE ROSSI, L. M.; SALVIOTTI, G.; ABBATEMARCO, N.; GAUR, A. Beyond a blockchain paradox: how intermediaries can leverage a disintermediation technology. In: 53RD HAWAII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEM SCIENCES, 2020, Maui, Hawaii. **Proceedings...** Maui, Hawaii: ScholarSpace, 2020. P. 5328-5337.

DIAS, M. A. G. **Análise de investimentos com opções reais.** Teoria e prática com aplicações em petróleo e outros setores. Conceitos básicos. Volume 1 (1a. ed.). Rio de Janeiro: Interciência, 2014.

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

DRESCHER, D. **Blockchain basics:** a non-technical introduction in 25 steps. 1st ed. New York: Apress Publ. 2017.

FLORES, D.; LACOMBE, C.; LEMIEUX, V. **Registro de transações imobiliárias em blockchain no Brasil (RCPLAC 01) - Estudo de Caso 1,** 2018. Disponível em: <www.researchgate.net>. Acesso em: 07 abr. 2024.

FREITAS, A. S.; BRANDÃO, L. E. T. Avaliação de projetos de e-learning através da metodologia de opções reais. **Revista Eletrônica de Administração – READ**, v.15, n.3, p. 679-701, 2009.

GARCIA-TERUEL, R.M.; SIMÓN-MORENO, H. The digital tokenization of property rights. A comparative perspective. **Computer Law & Security Review**, v. 41, article ID 10554, 2021.

GOMEZ-FERRER, S. N. Blockchain y registro de la propiedad. In: VALDIVIA, I. S. R. (Ed.). **Blockchain: Impacto em los sistemas financeiro, notarial, registral y judicial**. Pamplona: Editora Aranzadi, 2020.

GRAGLIA, J. M.; MELLON, C. Blockchain and property in 2018: At the end of the beginning. **Innovations: Technology, Governance, Globalization**, v. 12, n.1-2, p.90–116, 2018.

GROVER, P.; KAR, A.K.; JANSSEN, M. Diffusion of blockchain technology: Insights from academic literature and social media analytics. **Journal of Enterprise Information Management**, v.32, n.5, p. 735 – 757, 2019.

FILL, H-G.; HÄRER, F. Usage scenarios for blockchain technologies in the domain of civil law notaries. In: HÖTZENDORFER, W.; TSCHOHL, C.; KUMMER, F. (Eds.). **International Trends in Legal Informatics, Festschrift for Erich Schweighofer**. Bern: Editions Weblaw, 2020. P. 1-22.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO/TS 23635:2022. Blockchain and distributed ledger technologies. Guidelines for governance**. Geneva: ISO, 2022.

ISSLER, P. V. L.; ISSLER, P. V. L. Discussões sobre o uso da tecnologia blockchain aliada ao registro público brasileiro. In: 4º CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITO E CONTEMPORANEIDADE, 2017, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM - Universidade Federal de Santa Maria, 2017. P. 1-14.

KARUMBA, S.; JURDAK, R.; KANHERE, S. S.; SETHUVENKATRAMAN, S. BAILIF: A Blockchain Agnostic Interoperability Framework. In: Conference: 2023 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC). **Proceedings...** 2023. DOI: 10.1109/ICBC56567.2023.10174967.

KRIPPENDORFF, K. **Content analysis: An introduction to its methodology**. Newbury Park: Sage Publ., 2018.

KSHETRI, N. Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. **Telecommunications Policy**, v. 41, p. 1027–1038, 2017.

KÜMPEL, V. F.; BORGARELLI, B. A. **Blockchain e a atividade notarial e registral**. 2017. Disponível em: <www.migalhas.com.br>. Acesso em: 07 abr. 2024.

KÜMPEL, V. F.; FERRARI, C. M. **Tratado notarial e registral: Ofício de registro de imóveis**. V.5. Tomo I. São Paulo: YK Editora, 2020a.

KÜMPEL, V. F.; FERRARI, C. M. **Tratado notarial e registral**: Ofício de registro de imóveis. V.5. Tomo II. São Paulo: YK Editora, 2020b.

KÜMPEL, V. F.; FERRARI, C. M. **Tratado notarial e registral**: Tabelionato de notas. V.3. São Paulo: YK Editora, 2017.

LACITY, M. Addressing key challenges to making enterprise blockchain applications a reality, **MIS Quarterly Executive**. v.17, p. 201–222, 2018.

LAW, S. M.; MACKAY, A. E.; NOLAN, J. F. Applying a real-options methodology. **Public Works Management & Policy**, v.9, n.2, p. 145–153, 2004.

LEITE Jr., D. W. M. **Um novo modelo normativo para os serviços notariais e de registro**: Eficiência, concorrência e novas tecnologias. Rio de Janeiro, 2019, 121p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Direito do Rio de Janeiro. Fundação Getulio Vargas.

LEMIEUX, V. L. Trusting records: is blockchain technology the answer?. **Records Management Journal**, v.26, n.2, p. 110-139, 2016.

LEMIEUX, V. L. Evaluating the use of blockchain in land transactions: An archival science perspective. **European Property Law Journal**, v.6, p.392-440, 2017a.

LEMIEUX, V. L. A typology of blockchain recordkeeping solutions and some reflections on their implications for the future of archival preservation. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA, 2017, Boston, MA. **Proceedings...** Boston, MA: IEEE, 2017b. P.1-8.

LEMIEUX, V.L. Blockchain and distributed ledgers as trusted record keeping systems. In: FUTURE TECHNOLOGIES CONFERENCE, 2017, Vancouver. **Proceedings...** Vancouver: The Science and Information (SAI) Organization, 2017c. P.1-11.

LOPES, R. C. **A ferramenta tecnológica da blockchain na atividade notarial**: Novos contornos para a segurança e confiança dos tabelionatos. Porto Alegre, 2021, 128p. Dissertação (Mestrado em Direito) – Programa de Pós-graduação em Direito. Universidade do Vale dos Sinos.

MCMURREN, J.; YOUNG, A.; VERHULST, S. **Addressing transaction costs through blockchain and identity in Swedish land transfers**. Stockholm: GovLab, 2018.

MENEZES, L. D. **Blockchain e cartórios**: Uma solução viável? São Paulo, 2020, 61p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-graduação em Sistemas de Informação. Universidade de São Paulo.

MENEZES, L.D.; ARAÚJO, L.V.; NISHIJIMA, M. Blockchain and smart contract architecture for notaries services under civil law: a Brazilian experience. **International Journal of Information Security**, v.22, p.869–880, 2023.

MERTON, R. C. Option pricing when underlying stock returns are discontinuous. **Journal of Financial Economics**, v.3, (n.1-2), p.125-144, 1976.

MINARDI, A. M. A. F. **Teoria das opções aplicada a projetos de investimento**. São Paulo: Atlas, 2004.

MOUGAYAR, W. **The business blockchain**: promise, practice, and application of the next internet technology, Hoboken, NJ: Wiley, 2016.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008. Disponível em: < <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf> >. Acesso em: 07 abr. 2024.

NATIONAL AGENCY OF PUBLIC REGISTRY. NAPR. **Institutional page of the National Agency of Public Registry – Georgia**. 2022. Disponível em: <<https://napr.gov.ge/>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

OECD. **Global blockchain at the frontier: Impacts and issues in crossborder cooperation and global governance**. OECD Business and Finance Policy Papers. Paris: OECD, 2022.

OOI, V.; PENG, S.K.; SOH, J. Blockchain land transfers: Technology, promises, and perils. **Computer Law & Security Review**, v.45, article ID 105672, 2022.

PÁEZ, R.; PÉREZ, M.; RAMÍREZ, G.; MONTES, J.; BOUVAREL, L. An architecture for biometric electronic identification document system based on blockchain. **Future Internet**, v. 12, n.10, p.1-19, 2020.

PÉREZ, A. M. S.; FERNÁNDEZ, J. T.; RAMBAUD. S.C. Assessing blockchain investments through the learning option: An application to the automotive and aerospace industry. **Mathematics**, v.8, n.12, article ID 2213, 2020.

PINDYCK, R. Irreversibility, uncertainty, and investment. **Journal of Economic Literature**, v.29, n.9, p.1110-1148, 1991.

PINTO, A. A.; SILVA, J. Revisiting blockchain use in notary services: An European perspective. In: PRIETO, J.; PINTO, A.A.; DAS, A.; FERRETTI, S. (Eds). **Blockchain and applications**. New York: Springer Publ., 2020. P. 101–110.

PINTO, C. L. B. **Modelagem de opções reais com processos de reversão à média em tempo discreto**: uma aplicação na indústria brasileira de etanol. Rio de Janeiro, 2009, 164p. Tese (Doutorado em Administração)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

RAWAT, D.B.; CHAUDHARY, V.; DOKU, R. Blockchain technology: Emerging applications and use cases for secure and trustworthy smart systems. **Journal of Cybersecurity and Privacy**, v.1, p.4-18, 2021.

ROSA, S.A.R.S. **Blockchain e registro de imóveis: Uma investigação das virtudes e limitações da tecnologia ao progresso do Direito Registral Imobiliário**. 2021, 263p. Tese (Doutorado em Direito)– Universidade de São Paulo.

SAAD, M.; SPAULDING, J.; NJILLA, L.; KAMHOUA, C.; NYANG, D.-H.; MOHAISEN, A. Overview of attack surfaces in blockchain. In: SHETTY, S.S.;

C. A. KAMHOUA, C.A.; NJILLA, L.L (Eds.), **Blockchain for distributed system security**. Hoboken, NJ: Wiley-IEEE Press, 2019. P. 51–66.

SALLES, M. H. N. **A reinvenção do papel do cartório de imóveis na era da tecnologia blockchain**: uma investigação exploratória. Rio de Janeiro, 2019, 100p. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração Pública) – Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas da Fundação Getúlio Vargas.

SCHEID, E.J.; KIECHL, P.; FRANCO, M.; RODRIGUES, B.; KILLER, C.; STILLER, B. **Security and standardization of a notary-based blockchain interoperability API**. In: THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON BLOCKCHAIN COMPUTING AND APPLICATIONS (BCCA), 2021, Tartu. **Proceedings...** Tartu: IEEE, 2021, P.42-48.

SEEBACHER, S.; SCHÜRITZ, R. **Blockchain technology as an enabler of service systems: A structured literature review**. In: 8TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON EXPLORING SERVICE SCIENCE, IESS 1.7, 2017, Rome. **Proceedings...** Rome: IEEE, 2017. P. 1-14.

SHANG, Q.; PRICE, A. A blockchain-based land titling project in the Republic of Georgia: Rebuilding public trust and lessons for future pilot projects. **innovations: Technology, Governance, Globalization**, v. 12, n. 3-4, p. 72-78, 2019.

SOUSA, P.S.; NOGUEIRA, N.P.; SANTOS, R.C.; MAIA, P.H.; SOUZA, J. T. Building a prototype based on microservices and blockchain technologies for notary's office: An academic experience report. In: 2020 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOFTWARE ARCHITECTURE COMPANION (ICSA-C), 2020, Salvador. **Proceedings...** Salvador: IEEE, 2020, P.122-129.

SULLIVAN, C; BURGER, E. E-residency and blockchain. **Computer Law & Security Review**, v.33, p. 470–481, 2017.

SWAN, M. **Blockchain: blueprint for a new economy**. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2015.

SWAN, M.; POTTS, J.; TAKAGI, S.; WITTE, F.; TASCA, P. (Eds.) **Blockchain economics**: implications of distributed ledgers, markets, communications networks, and algorithmic reality. London: World Scientific Publishing Europe Ltd, 2019.

TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. **Blockchain revolution**. New York: Penguin, 2016.

TREIBLMAIER, H. Toward more rigorous blockchain research: recommendations for writing blockchain case studies. **Frontiers in Blockchain**, v.2, n.3, p. 1-15, 2019.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DO PARANÁ. TJPR. **Código de Organização e Divisão Judiciárias do Estado do Paraná**. Anexo IV – Composição do Foro Judicial e Foro Extrajudicial por Comarca. Disponível em: < https://www.tjpr.jus.br/codj?p_p_id=com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_dM9E1MlxPS44&p_p_lifecycle=0&p_p_state

=normal&p_p_mode=view&a_page_anchor=100877025>. Acesso em: 07 abr. 2024.

TRIBUNAL DE JUSTIÇA DO ESTADO DO PARANÁ. TJPR. **Informações das Unidades Extrajudiciais**. Corregedoria Geral da Justiça – Foro Extrajudicial - do Estado do Paraná. Disponível em: <<https://extrajudicial.tjpr.jus.br/informacoes-das-unidades-extrajudiciais/-/prestacaocontasunidade/unidade992>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

TRIGEORGIS, L. Real options: A primer. In: ALLEMAN, J.; NOAM, E. (Eds.) Real options in telecommunications: the new investment theory and its implications for telecommunications economics. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1999.

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

UBITQUITY LCC. **Client case studies**. 2020. Disponível em: <<https://ubitquity.medium.com/ubitquity-client-case-studies-f02822b52b51>>. Acesso em: 07 abr. 2024.

ULLOA, R.; GALLEGOS, P. **Design of a blockchain architecture and use of smart contracts to improve processes in notary office**. In: BOTTO-TOBAR, M., MONTES LEÓN, S., TORRES-CARRIÓN, P., ZAMBRANO VIZUETE, M., DURAKOVIC, B. (Eds) Applied Technologies. ICAT 2021. Communications in Computer and Information Science, v. 1535, 2022.

VAZOV, R.; SHVACHYCH, G.; MOROZ, B.; KABAK, L.; KOZENKOVA, V.; KARPOVA, T.; BUSYGIN, V. Development features and principles of blockchain technologies and real options as the main components of the digital economy. In: SHAKYA, S.; NTALIANIS, K.; KAMEL, K.A. (Eds.) **Mobile Computing and Sustainable Informatics**. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, v.126. Singapore: Springer, 2022. P. 57-74.

VERGARA, S. C. **Métodos de pesquisa em administração**, 6ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2015.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**, 16ª ed. São Paulo: Editora Atlas, 2016.

WITTEK, K.; KRAKAU, D.; WITTEK, N.; LAWTON, J.; POHLMANN, N. Integrating Bloxberg's Proof of Existence Service with MATLAB. Frontiers in Blockchain, v.3, article 546264, 2020.

Apêndice A. Estratégias de busca nas bases Scopus e Web of Science

Neste apêndice, apresentam-se as estratégias de busca nas bases de dados Scopus e Web of Science realizadas em 07 de abril de 2024. Destaca-se a originalidade do tema da dissertação, que pode ser evidenciada pela inexistência de estudos que abordam a análise de investimentos com opções reais na implementação da tecnologia blockchain em serventias extrajudiciais.

Tabela A1. Estratégia de busca na base Scopus

Ref.	String	Documentos
#1	TITLE-ABS-KEY (blockchain OR “distributed ledger technolog*”)	60799
#2	TITLE-ABS-KEY (“real option*”)	7041
#3	TITLE-ABS-KEY (“notary office*” OR “notary service*”)	116
#4	#1 AND #2	11
#5	#1 AND #3	21
#6	#4 AND #3	0

Nota: Estratégia de busca e análise em 07 de abril de 2024.

Tabela A2. Estratégia de busca na base Web of Science

Ref.	String	Documentos
#1	TS = blockchain OR “distributed ledger technolog*”	33804
#2	TS = “real option*”	5805
#3	TS = “notary office*” OR “notary service*”	53
#4	#1 AND #2	6
#5	#1 AND #3	10
#6	#4 AND #3	0

Nota: Estratégia de busca e análise em 07 de abril de 2024.