



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

**MESTRADO**  
ECONOMIA E GESTÃO DE CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
DISSERTAÇÃO

A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN CUMPRIRÁ COM AS SUAS  
PROMESSAS: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DA  
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E DO CICLO DE VIDA  
TECNOLÓGICO

VICTOR CONSTANTIN CLEM

OUTUBRO 2022



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

**MESTRADO EM**  
**ECONOMIA E GESTÃO DE CIÊNCIA,**  
**TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**TRABALHO FINAL DE MESTRADO**  
**DISSERTAÇÃO**

**A TECNOLOGIA BLOCKCHAIN CUMPRIRÁ COM AS SUAS  
PROMESSAS: UMA ABORDAGEM ATRAVÉS DA  
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA E DO CICLO DE VIDA  
TECNOLÓGICO**

**VICTOR CONSTANTIN CLEM**

**ORIENTAÇÃO:**

**PROFESSOR DOUTOR MANUEL FERNANDO CILIA DE MIRA  
GODINHO**

**OUTUBRO 2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que estiveram envolvidas diretamente ou indiretamente para que este Trabalho de Final de Mestrado se tornasse possível. Em particular, um agradecimento especial ao meu orientador, Professor Manuel Mira Godinho, por toda a disponibilidade, sugestões, materiais fornecidos e apoio, que foram fulcrais para o desenvolvimento deste trabalho. À minha namorada, Maria Gomes, pelo apoio durante a realização do mesmo. A todos os professores do mestrado de Economia e Gestão de Ciência, Tecnologia e Inovação, pelos ensinamentos que partilharam ao longo do mestrado. Por fim, a todos os meus amigos e família.

A todos, os meus profundos agradecimentos!

## RESUMO

A tecnologia *Blockchain* é considerada uma das tecnologias com maior potencial disruptivo. Porém, passados 14 anos desde a criação da criptomoeda *Bitcoin* que utiliza *blockchain*, ainda estamos longe de um uso generalizado desta tecnologia. Com este trabalho pretende-se avaliar o estado da tecnologia através de uma análise bibliométrica e desse modo obter um descritivo do seu ciclo de vida tecnológico. Tal permitiu observar o estágio atual da tecnologia e obter uma previsão do seu comportamento para os próximos anos. Foram extraídos 22.253 artigos da base de dados *WoS*. Obtiveram-se os seguintes resultados: (i) uma enorme predominância na publicação, instituições e autores com origem na China; (ii) a evolução da tecnologia desde a sua primeira aplicação, seguido da sua expansão para aplicações financeiras – *Blockchain 1.0*, a transição para a *Blockchain 2.0*, e finalmente a consolidação da *Blockchain 2.0* e exploração de ligações com a indústria 4.0 – *Blockchain 3.0*; (iii) o declínio da investigação relacionada com as criptomoedas, a ascensão da tecnologia *Blockchain* como tema base e a exploração da ligação com temas como a segurança e a *IoT*; (iv) a tecnologia *Blockchain* terá um período de crescimento até sensivelmente 2025, contudo não se verificando a emergência de um design dominante. Esta metodologia poderá ser aplicada a outras tecnologias com o intuito de melhor informar decisores empresariais e políticos.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Blockchain*; *Bitcoin*; Análise Bibliométrica; Ciclo de Vida Tecnológico; Tecnologias Emergentes.

## **ABSTRACT**

Blockchain has been perceived as a technology with enormous disruptive potential. However, despite Bitcoin, a blockchain-based cryptocurrency, having been launched already 14 years ago, the use of blockchain is still far from pervasive. With this study we intend to evaluate blockchain technology through a bibliometric analysis to map its technological life cycle. Such mapping has allowed to assess the current status of this technology and infer about its possible evolution over the near future. For this purpose, 22.253 articles were extracted from the WoS database. The following results were obtained: (i) publications, institutions, and authors from China are highly dominant; (ii) the data allows for the tracking of the evolution of this technology, since its first application, followed by its expansion into financial applications, namely from Blockchain 1.0, through transition to Blockchain 2.0, up to consolidation of Blockchain 2.0 in connection with industry 4.0, up to the most recent Blockchain 3.0; (iii) we found a decline in the research activity connected with cryptocurrencies, with the rise of blockchain technology as a base theme, and the exploration of its links with topics such as security and IoT; (iv) Blockchain technology will keep its growth path until approximately 2025, although the emergence of a dominant design still not being evident. The methodology that was implemented in this study can be applied to other technologies. Further it displays potential to better inform business and political decision-makers.

**KEYWORDS:** Blockchain; Bitcoin; Bibliometric Analysis; Technology Life Cycles; Emerging Technologies.

# ÍNDICE

<b>1. Introdução</b>	1
<b>2. Revisão da Literatura</b>	3
2.1. <i>Conceito Blockchain</i>	3
2.2. <i>Caraterísticas e desvantagens da Blockchain</i>	4
2.3. <i>Blockchain e o seu potencial disruptivo</i>	5
2.4. <i>Panorama atual da tecnologia</i>	5
2.5. <i>Technology Life Cycles</i>	8
2.6. <i>Bibliometria</i>	10
<b>3. Metodologia</b>	10
3.1. <i>Recolha de dados</i>	11
3.2. <i>Análise e visualização dos dados</i>	12
3.3. <i>Modelação da curva de crescimento</i>	13
3.4. <i>Interpretação dos dados</i>	14
<b>4. Análise dos resultados</b>	14
4.1. <i>Análise de performance</i>	14
4.1.1. <i>Análise Descritiva</i>	15
4.1.2. <i>Evolução da Produção Científica</i>	15
4.1.3. <i>Jornais</i>	16
4.1.4. <i>Áreas Científicas</i>	17
4.1.5. <i>Autores</i>	18
4.1.6. <i>Geografia</i>	19
4.1.7. <i>Instituições</i>	19
4.1.8. <i>Citações</i>	20
4.1.9. <i>Keywords</i>	24
4.2. <i>Science Mapping</i>	25
4.2.1. <i>Estrutura Concetual</i>	25
4.2.2. <i>Estrutura Inteletual</i>	29
4.2.3. <i>Estrutura Social</i>	30
4.3. <i>Curva de Crescimento</i>	33
<b>5. Conclusões</b>	36
<b>Bibliografia</b>	39
<b>Anexos</b>	46

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Metodologia aplicada.....	11
Figura 2 - Reference Publication Year Spectroscopy.....	21
Figura 3 - Keywords dos autores.....	24
Figura 4 - Keywords Plus.....	25
Figura 5 - Rede de co-ocorrências keywords.....	26
Figura 6 - Mapa temático.....	27
Figura 7 - Evolução temática.....	28
Figura 8 - Rede de co-citação.....	29
Figura 9 - Rede de co-autoria entre autores.....	31
Figura 10 - Rede de co-autoria entre países.....	32
Figura 11 - Ciclo de vida tecnológico.....	33
Figura 12 - Gráfico Fisher-Pry (à esquerda) e gráfico Bell (à direita).....	34

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I - Características da tecnologia Blockchain.....	4
Tabela II - Áreas de aplicação da tecnologia Blockchain.....	5
Tabela III - Estádios do ciclo de vida tecnológico.....	8
Tabela IV - Evolução da produção científica.....	15
Tabela V - Publicação em jornais.....	16
Tabela VI - Áreas científicas.....	17
Tabela VII - Lei de Lotka.....	18
Tabela VIII - Publicações por país.....	19
Tabela IX - Publicações por instituição.....	20
Tabela X - Referências mais citadas.....	20
Tabela XI - Documentos mais citados.....	22
Tabela XII - Países com mais citações.....	23

## LISTA DE ABREVIATURAS, ACRÓNIMOS E SIGLAS

**AI** – *Artificial Intelligence*

**CBDC** – *Central Bank Digital Currencies*

**GPT** – *General Purpose Technology*

**ID** – *Investigação e Desenvolvimento*

**IoT** – *Internet of Things*

**MCP** – *Multiple Countries Publication*

**NFT's** – *Non-Fungible Tokens*

**PoS** – *Proof of Stake*

**PoW** – *Proof of Work*

**QS** – *Quacquarelli Symons World University Rankings*

**SCP** – *Single Country Publication*

**SJR** – *Scimago Journal Rank*

**WOS** – *Web of Science*



# 1. Introdução

A *Blockchain* é uma tecnologia digital descentralizada onde as transações são registadas numa cadeia de blocos e que ganhou enorme popularidade devido à criptomoeda, *Bitcoin*. As criptomoedas são umas das imensas aplicações da *Blockchain*, sendo o maior potencial desta tecnologia identificado na área das organizações, modelos de negócio e na indústria. O possível impacto disruptivo da tecnologia *Blockchain* é muitas vezes comparada ao da introdução da Internet. A Internet possibilitou a partilha de informação a nível global, enquanto a *Blockchain* facilita a partilha digital de valor (Goudarzi and Martin, 2018).

Muito do reconhecimento da tecnologia advém do seu potencial para induzir transformação e inovação nos modelos e estruturas de negócios existentes. Consequentemente, a aplicação da *Blockchain* cativou o interesse dos gestores nesta tecnologia emergente.

As tecnologias emergentes definem-se como tecnologias que não apresentam uma elevada taxa de difusão, mas que é expectável que afete a maioria das organizações num futuro próximo (Veletsianos, 2016). Apresentam cinco características fundamentais: novidade, rápido crescimento, coerência, proeminência e incerteza (Rotolo, Hicks and Martin, 2015). Adotar uma tecnologia emergente assim que esta apresente uma vantagem competitiva, apresenta-se como um dos maiores desafios para os gestores de empresas. A análise da evolução de uma tecnologia é uma fonte de informação para as decisões estratégicas, com especial relevo na gestão de produto (Holahan, Sullivan and Markham, 2014), estratégia (Grimaldi *et al.*, 2014) e gestão da inovação (Nieto, 2003).

Esta dissertação pretende através de métodos bibliométricos, análise de performance e *Science Mapping*, e da modelação de uma curva de crescimento, elaborar um modelo de identificação de tecnologias disruptivas, neste caso a *Blockchain*, a fim de guiar decisões estratégicas quanto à despesa de ID e aumento de competitividade. Esta dissertação é guiada pelas seguintes perguntas de investigação:

*Pergunta de Investigação 1:* Como integrar a análise bibliométrica e o conceito de ciclo de vida tecnológico num novo método de avaliação de uma determinada tecnologia?

*Pergunta de Investigação 2:* Será possível estimar ou identificar o estágio de evolução de uma tecnologia emergente, neste caso a *Blockchain*, de forma a providenciar recomendações mais informadas a decisores empresariais e políticos?

A dissertação encontra-se estruturada da seguinte forma: o primeiro capítulo apresenta uma revisão da literatura sobre a tecnologia *Blockchain*, o método bibliométrico, os ciclos de vida tecnológicos e a modelagem da curva de crescimento. Segue-se o capítulo onde é descrita a metodologia empregue. O terceiro capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos. No último capítulo, são apontadas as conclusões deste trabalho tal como futuras recomendações.

## 2. Revisão da Literatura

### 2.1. Conceito Blockchain

Consideramos uma *Blockchain* como uma cadeia constituída por diversos blocos que contêm informações. Originalmente descrita em 1991 por um grupo de investigadores, destinava-se a validar documentos digitais, impedindo que os mesmos fossem alterados posteriormente, tornando-os à prova de falsificação. Porém, permaneceu sem grande utilização até 2009, altura em que Satoshi Nakamoto criou a moeda digital criptográfica, *Bitcoin* (Pournader *et al.*, 2020).

Cada bloco da cadeia de *Blockchain* é composto por dados, uma *hash* do bloco anterior e uma *hash* do próprio bloco. A *hash* consiste num código aritmético, semelhante à impressão digital, com a função de identificar o bloco e todo o seu conteúdo garantindo a sua autenticidade na rede de *Blockchain*. Qualquer alteração à informação dentro do bloco fará com que a *hash* mude. Se a impressão digital de um bloco mudar, ele deixa de ser o mesmo bloco, tornando os blocos seguintes inválidos. No entanto, o uso de *hashes* não é suficiente para prevenir adulterações dos dados. Os computadores atuais são muito rápidos e podem calcular centenas de milhares de *hashes* por segundo, podendo adulterar a informação dum bloco e recalculá-la todos os *hashes* dos blocos seguintes (White, 2017; Mendling *et al.*, 2018).

Para mitigar este risco, a cadeia de blocos usa um mecanismo chamado *proof-of-work*. Este mecanismo exige que sejam resolvidos complexos problemas matemáticos retardando a criação de novos blocos. Com introdução deste mecanismo, o tempo de criação de um bloco aumenta para os dez minutos. Contudo este mecanismo é muito dispendioso quanto à energia consumida, pois a rapidez depende do *hardware* e esta é proporcional ao consumo de energia.

Em alternativa, existe o mecanismo *proof-of-stake*. Em vez de resolver um determinado problema matemático, basta deter um determinado número de *tokens* para validar os blocos. Esta alternativa baseia-se em *software* diminuindo os gastos energéticos (Gervais *et al.*, 2016). As cadeias de blocos possuem ainda uma segurança adicional, que resulta do facto de estarem distribuídas. A consistência é garantida pela verificação consensual de todos os participantes da rede.

É relevante possuímos a noção que as cadeias de blocos estão em constante evolução. Um dos desenvolvimentos mais recentes foi a criação dos *smart contracts*.

Estes são códigos em linguagem de programação, imutáveis, publicamente acessíveis e executados automaticamente que permitem verificar *ex-ante* o resultado de uma transação (Obermeier and Henkel, 2020).

Desde a sua criação, a tecnologia *Blockchain* surgiu sempre associada com as criptomoedas, denominando-se esta fase como *Blockchain 1.0*. A introdução dos *smart contracts* permitiu o desenvolvimento de novas aplicações nas mais diversas áreas, surgindo a segunda fase, *Blockchain 2.0* a economia digital. Presentemente situamo-nos na fase *Blockchain 3.0*, que se caracteriza por um aumento do interesse de vários negócios e indústrias e a revolução da *WEB 3.0* devido às características de descentralização, imutabilidade e transparência (Kamišalić *et al.*, 2019).

## 2.2. Características e desvantagens da Blockchain

A tecnologia *Blockchain* difere das demais, pois conjuga as seguintes características:

Tabela I - Características da tecnologia Blockchain

Caraterística	Descrição
Imaterial	Sistema eletrónico baseado em criptografia sem representação física ou valor intrínseco
Descentralizado	Não necessita de um agente regulador, é um sistema <i>peer-to-peer</i> .
<i>Open Source</i>	Basta possuir ligação à Internet para ter acesso ao <i>software</i>
Global	Não existem barreiras geográficas ao seu uso
Rápido	As transações ocorrem mais rapidamente que as alternativas tradicionais
Custo	Custo das transferências bastante reduzido
Irreversível	Uma vez registado na cadeia não é possível revertê-las
Imutável	Quando registadas na cadeia não podem ser modificadas
Resiliente	A cadeia é resistente a ataques cibernéticos graças aos mecanismos <i>PoW</i> e <i>PoS</i>
Pseudoanónimo	Não identifica os seus utilizadores, mas todas as transações são registadas num endereço ( <i>hash</i> ) único

Fonte: (Cunha, Sebastião and Godinho, 2021).

Em relação às desvantagens da tecnologia esta apresenta: um atraso na velocidade de processamento com o aumento dos utilizadores; um elevado consumo de energia; o elevado custo de implementação da tecnologia e a falta de mão-de-obra qualificada; a impossibilidade de retrocesso nas transações visto estas serem imutáveis; e o facto de se situar numa fase muito prematura, impossibilitando a sua standardização (Golosova and Romanovs, 2018).

### ***2.3. Blockchain e o seu potencial disruptivo***

A tecnologia *Blockchain* surge como um motor que promove a diversificação e proliferação da capacidade inventiva nos diversos campos tecnológicos. As *general purpose technology*, são tecnologias que têm capacidade de afetar a economia no seu todo. Possuem potencial de mutação nas sociedades devido aos impactos gerados nas estruturas sociais e económicas previamente existentes. Assim, a novidade e originalidade da tecnologia *Blockchain* enquadra-se com as características de difusão e espaço de crescimento das *GPT*. A *Blockchain* é retratada como uma estrutura que estabelece conexões com diversos ramos tecnológicos (Marku *et al.*, 2020). Na tabela seguinte encontram-se alguns exemplos.

*Tabela II - Áreas de aplicação da tecnologia Blockchain*

<b>Áreas</b>	<b>Publicação</b>
Arte	(Abbate <i>et al.</i> , 2022)
Cadeia Logística	(Tijan <i>et al.</i> , 2019)
E-Commerce	(Treiblmaier and Sillaber, 2021)
Saúde	(McGhin <i>et al.</i> , 2019)
Seguros	(Kar and Navin, 2021)
Propriedade Intelectual	(Gürkaynak <i>et al.</i> , 2018)
Finanças e sistemas bancários	(Cocco, Pinna and Marchesi, 2017)
Sistema eleitoral	(Baudier <i>et al.</i> , 2021)
Setor energético	(Ahl <i>et al.</i> , 2019)
Progresso de Países em Desenvolvimento	(Kshetri, 2021)

Fonte: Elaborado pelo autor.

### ***2.4. Panorama atual da tecnologia***

Através da Web 3.0 seria possível a criação de uma plataforma digital de novas aplicações descentralizadas onde as transações seriam mediadas por criptomoedas.

Todavia, passados quatorze anos desde a implementação da Bitcoin, é difícil identificar usos generalizados da tecnologia (Waters, 2022).

A análise de literatura especializada e técnica permite monitorizar e averiguar a maturação e desenvolvimento da tecnologia *Blockchain*. Assim pretende-se identificar os avanços mais recentes da tecnologia. De seguida, são apresentados alguns dos mais relevantes:

- *Non-Fungible Tokens* (NFT's) – são considerados ativos da tecnologia *Blockchain* que representam ficheiros digitais como imagens, vídeos ou itens num jogo online. Tiveram uma enorme adoção, entrando inclusive nas casas de leilão como a *Sotheby's* e a *Christie's*. Porém, apresentam um grande declínio nos valores de vendas, menos 60% no terceiro quarto do ano 2022, comparativamente ao segundo. Este declínio, é em parte explicado pelo declínio das criptomoedas (Howcroft, 2022).
- Criptomoedas – As criptomoedas foram a primeira grande aplicação da tecnologia. Tiveram um enorme interesse devido à elevada volatilidade associada a este tipo de investimentos. Para alguns, as criptomoedas são uma forma de empoderamento que libertam os cidadãos das instituições centralizadas, bancos e governos. Para outros, os céticos, representam uma versão glamorizada e digital de uma nova bolha económica (Krugman, 2022). Contudo, convém notar que as criptomoedas distinguem-se dos ativos de investimento tradicionais. Estas apresentam um capital inicial, o que lhes fornece liquidez e exploração do preço desde o início da sua implementação. Este atributo único, explica em parte a sua enorme volatilidade (Malekan, 2022). Para além da volatilidade, as criptomoedas são alvos de bastantes ataques cibernéticos. Estes exercem uma enorme pressão no mundo das criptomoedas e restringem a possível inovação (Yaffe-Bellany, 2022). Assim, as criptomoedas devem ser integradas de forma responsável na economia global. Os reguladores e stakeholders deverão alinhar-se e balancear os benefícios desta tecnologia de forma a prevenir e reduzir os impactos negativos (White, Waliczeek and Mandeng, 2022).
- *Central Bank Digital Currencies* (CBDC) – São versões digitais de moedas emitidas por bancos centrais, idênticas às criptomoedas, só que apresentam uma

entidade reguladora. Promovem a inclusão financeira, pois os utilizadores não necessitam de possuir contas bancárias; uma maior eficiência nos pagamentos; menores custos nas transações e uma maior transparência nas transferências o que permite a introdução de melhores políticas monetárias. Porém, existem alguns desafios à sua adoção. Um dos desafios deve-se ao facto de haver ou não procura sobre estes. Apesar das vantagens anteriormente identificadas, estas não são suficientemente aliciantes para fomentar uma adoção em massa. Outro desafio, advém destas moedas serem apoiadas por bancos centrais, o que em tempos de crise pode levar ao levantamento de dinheiro dos bancos tradicionais (Stanley, 2022).

- Sustentabilidade – Uma das maiores críticas e barreiras à adoção das criptomoedas é o seu elevado gasto energético na mineração, gastando 12 *GigaWatts* de eletricidade por dia (*Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index*, 2022). Todavia, existem medidas que tentam minimizar esse impacto negativo. Exemplos como o *Kryptovault*, na Noruega, utilizam 99% da energia proveniente de energias renováveis e utilizam calor proveniente de *hardwares* de mineração para secarem madeira (Boffey, 2022); ou a transição total da criptomoeda *Ethereum* para um mecanismo de consenso *PoS* em vez de *PoW*, tornando-se independente do elevado gasto energético por parte de *hardwares*, passando a depender de utilizadores para manutenção da rede (Milmo, 2022).
- Cadeias de Abastecimento - A tecnologia *Blockchain* apresenta um enorme potencial para revolucionar as cadeias de abastecimento globais. Permite uma redução no tempo de processamento da descarga nos portos, tornando esse processamento digital (Telling, 2022), ou através da análise dos dados inseridos na rede possibilitando monitorizar e identificar atrasos no abastecimento e prever os custos e tempo de rotas futuras (Vitasek *et al.*, 2022).

Com esta análise verifica-se que a tecnologia ainda tem um conjunto limitado de aplicações. Certamente conseguiu convencer imensas pessoas a pensar em como utilizá-lo, mas ainda não surgiu uma aplicação da tecnologia, “*killer app*”, que impulsionasse imediatamente a adoção em massa. Parte deste problema pode dever-se ao fascínio dos engenheiros informáticos com os desafios a nível técnico da tecnologia *Blockchain*,

desprezando o contexto mais amplo e adoção da mesma (Naughton, 2022). Assim, torna-se relevante avaliar o estado de maturação da tecnologia a fim de perceber se há ainda espaço de crescimento para o surgimento da “killer app”.

## ***2.5. Technology Life Cycles***

Através da análise do ciclo de vida tecnológico é possível descrever o percurso evolutivo de uma tecnologia, sendo esse percurso influenciado por pressões do mercado ou descobertas científicas (Huang *et al.*, 2021). A teoria do ciclo de vida tecnológico inicialmente proposta por Tushman e Anderson, (1986) apresenta quatro fases: descontinuidade tecnológica, crescimento, *design* dominante e por último, mudança incremental. Uma mudança de ciclo tecnológico ocorre quando um longo período de mudanças incrementais é seguido por uma descontinuidade tecnológica revolucionária. Nesta fase encontram-se inovações raras e imprevisíveis com um enorme potencial disruptivo que aumentam o conhecimento tecnológico existente e baseiam-se fundamentalmente em inovações de processo ou produto. Na fase de crescimento predomina a incerteza, devido ao surgimento de inovações que tentam substituir as antigas e à exploração das potencialidades das novas tecnologias (Anderson and Tushman, 1990).

Nas metodologias sobre a evolução de uma tecnologia, estas podem basear-se num único ou em múltiplos indicadores. A abordagem mais simples, provém da observação da performance tecnológica ao longo do tempo, adoção da tecnologia ou do investimento cumulativo em ID apresentando uma relação em forma de S. A curva S (Abernathy and Utterback, 1978) reflete uma trajetória com estádios apresentando diferentes características. Na tabela seguinte encontra-se resumidos os quatro estádios e as suas características.

*Tabela III - Estádios do ciclo de vida tecnológico*

	<b>Fase Emergente</b>	<b>Fase Crescimento</b>	<b>Fase Maturação</b>	<b>Fase Declínio</b>
<b>Tamanho</b>	Pouco crescimento, reduzido número de atores	Rápido crescimento, elevada taxa de novas entradas, forte competição	Crescimento diminui, alguns atores detêm monopólio	Crescimento nulo, elevado conflito e elevada taxa de saída de atores



<b>Estrutura institucional e networks</b>	Pouca estruturação e elevada incerteza	Aparecimento de mercados, instituições e redes colaborativas	Reduzida incerteza, redes de mercado e valor bem estruturadas	Destabilização estrutural, dúvidas quanto às normas e designs
<b>Performance tecnológica</b>	Parâmetros da performance não estão descritos, enorme variância tecnológica	Aumento de performance com parâmetros descritos, potencial emergência de design dominante	Ramificação da tecnologia para novos contextos de aplicação	Parâmetros de performance questionados

Fonte: Markard (2020).

O estágio de crescimento poderá ser modelado a partir de curvas de crescimento, obtendo estimativas das futuras perspetivas da tecnologia. As curvas de crescimento representam o aumento de performance ao longo do tempo, sendo inspiradas no crescimento de seres vivos. Consiste numa previsão baseada num conjunto de dados passados que contém informação que permite extrapolar para o futuro (Martino, 2003). Conseguem descrever de uma forma precisa o ritmo que uma tecnologia é introduzida no mercado ou substitui uma já existente (Fisher and Pry, 1971). A curva de crescimento de Fisher apresenta um crescimento inicial lento, seguido de um rápido crescimento e uma diminuição do declive final da curva muito tardio. É também reconhecido, como a curva de substituição pois representa o grau de substituição de uma tecnologia. A curva de Gompertz é outra curva que modela o crescimento. Apresenta um crescimento mais abrupto mas uma diminuição do declive final da curva mais cedo do que a curva de Fisher, conquistando a designação de “modelo da mortalidade” (Daim *et al.*, 2006).

A curva para modelar a performance escolhida, tal como, os parâmetros estimados e a estabilidade do modelo são relevantes, pois são responsáveis pelo comportamento e pontos de inflexão da curva de crescimento. Um modelo bem-sucedido permite-nos identificar uma tecnologia emergente, perceber o seu desenvolvimento e prever o período de cada estágio do ciclo tecnológico, tornando-se significativo e valioso para os decisores tanto a nível empresarial como político (Gao *et al.*, 2013). O declínio de uma determinada tecnologia aumenta com a difusão da alternativa a essa tecnologia partilhando o mesmo mercado e as mesmas funcionalidades. De notar que usualmente demora entre cinco a quinze anos para ocorrer a substituição completa entre tecnologias (Foster, 1986).

## 2.6. Bibliometria

A bibliometria é uma técnica utilizada na quantificação, análise e visualização de diversos campos científicos. Através desta, torna-se possível analisar bases de dados contendo informação em forma de texto. Possibilita perceber quais e que conteúdo os investigadores pesquisam, providenciando informação sobre a evolução, expansão e o ritmo de progresso do desenvolvimento tecnológico (Järvenpää, Mäkinen and Seppänen, 2011). A análise bibliométrica apresenta perspetivas resultantes de quatro dimensões (Ismail, Farrands and Wooding, 2009):

1. Medição da atividade – medição de *output* através da quantidade de artigos publicados num determinado período;
2. Medição da transferência de conhecimento – a medição das citações reflete a comunicação de conhecimento;
3. Medição das conexões – avaliação das conexões entre indivíduos, instituições e o tema de pesquisa, evidenciando os maiores focos de investigação;
4. Análise de citações – representação da qualidade e impacto da investigação científica na área.

## 3. Metodologia

Este capítulo encontra-se dividido em duas metodologias distintas. A primeira consiste na análise bibliométrica e a segunda no ajustamento de uma curva de crescimento.

A metodologia bibliométrica empregue, baseada em (Zupic Cater, 2015) apresenta quatro estágios:

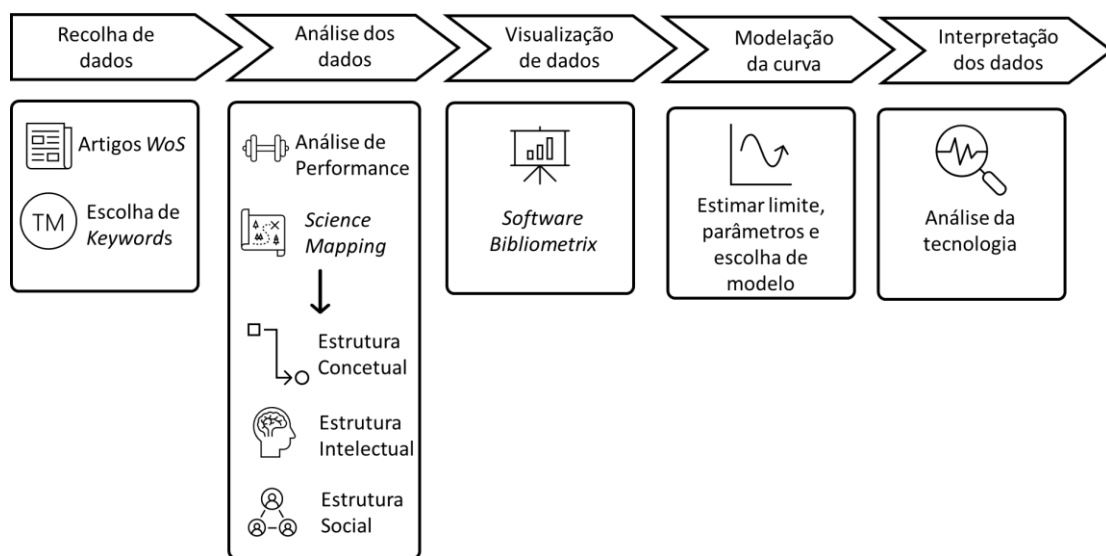
1. Recolha de dados – Nesta fase identifica-se a base de dados pretendida, definem-se os parâmetros da pesquisa e exportam-se os dados;
2. Análise dos dados – Tratamento dos dados e escolha do *software* estatístico ou bibliométrico;
3. Visualização dos dados – Decide-se o método de visualização e o *software* de visualização mais adequado;

#### 4. Interpretação – Interpretação e descrição dos resultados.

Com esta metodologia pretende-se analisar a performance da tecnologia ao longo do tempo e proceder-se ao seu mapeamento.

Na segunda metodologia utilizamos um dos modelos de previsão propostos por Porter *et a.* (2011), análise de tendências, modelando uma curva de crescimento com o intuito de perceber a evolução futura da tecnologia.

Na figura seguinte encontra-se um resumo das metodologias aplicadas.



*Figura 1 - Metodologia aplicada*

Fonte: Elaborado pelo autor.

### **3.1.Recolha de dados**

Para a recolha de dados foi utilizada a plataforma *Web of Science (WOS)* da *Clarivate*. A escolha desta base reflete-se no seu elevado número de artigos; na qualidade dos jornais, estando todos estes indexados no *International Scientific Indexing* e com *impact factors* no *Journal Citation Report*; e os dados estarem formatados para este tipo de análise (Trujillo and Long, 2018) .

A seleção das *keywords* de pesquisa foi baseada numa breve revisão dos 25 artigos com mais citações utilizando a *keyword* “*blockchain*”. Após análise desses artigos verificou-se que se justifica a introdução das seguintes *keywords* “*distributed ledger technology*”, “*ethereum*” e “*bitcoin*”. De seguida prosseguiu-se à criação de cruzamentos

das *keywords* anteriores e à sua pesquisa por tópico na *WOS*. A pesquisa por tópico engloba o título, resumo, *keywords* do autor e o *Keywords Plus<sup>TM</sup>*. A pesquisa foi efetuada no dia 01-09-2022 resultando em 22 253 publicações sendo posteriormente exportada para o *Excel*.

No tratamento dos dados excluíram-se as publicações que não tivessem sido publicadas em inglês. Excluíram-se também tudo o que não fossem artigos científicos e artigos resultantes de conferências. Os artigos resultantes de conferências, apesar do seu menor escrutínio na revisão por pares, foram incluídos devido ao seu elevado número neste tema e por estes serem representativos do estado da arte e das mais recentes inovações (González-Albo and Bordons, 2011). Verificou-se a presença de duplicados através da ordenação alfabética por título e pelo *Unique WOS ID*, identificação única de cada publicação na base de dados *WOS*.

### ***3.2. Análise e visualização dos dados***

Para a análise e tratamento dos dados foi escolhido o *software Biblioshiny* pertencente ao pacote *Bibliometrix* em linguagem R devido à sua facilidade e flexibilidade de uso, sendo capaz realizar estatísticas descritivas, medidas bibliométricas, análise de redes e visualização gráfica (Aria and Cuccurullo, 2017).

Na análise bibliométrica existem duas categorias, análise de performance e *science mapping* (Noyons, Moed and Van Raan, 1999). Na análise de performance, utilizam-se estatísticas descritivas para avaliação da produção e impacto de autores, instituições, países e jornais. É também utilizado o *Reference Publication Year Spectroscopy*, evidenciando a distribuição anual das referências citadas. *Science mapping* tem como principal objetivo a descoberta da estrutura e os aspetos dinâmicos da investigação científica. Permite a investigação e análise do conhecimento científico de um ponto de visto estatístico. Para alcançar esse objetivo realiza-se uma análise de rede, usando métodos matemáticos e estatísticos na elaboração de mapas. Estes mapas são redes complexas onde duas ou mais unidades estão interconectadas. Cada unidade é um elemento bibliográfico sendo representada por um nó e pelas suas ligações. São assim criadas redes de co-citação, co-ocorrência e co-autoria (Mora, Deakin and Reid, 2019).

As redes dividem-se em três perspetivas distintas (Cobo *et al.*, 2011):

1. Estrutura Concetual – as tendências e temas mais procurados. A rede de co-ocorrência fornece informação sobre a proximidade dos dados. A partir dessa rede é possível criar um mapa temático. O mapa temático permite analisar os *clusters* temáticos através da centralidade e densidade enquadrando-os numa área: temas motores, temas base, temas emergentes ou em declínio e temas nicho. Define-se centralidade como a frequência de cada nó, medindo a importância dentro da rede. A densidade mede o número de ligações existentes face às possíveis. Uma baixa densidade representa um tema que se encontra numa fase inicial/final, visível através do reduzido número de ligações entre documentos. Escolhendo períodos temporais específicos, obtêm-se vários mapas temáticos, podendo verificar-se a sua evolução ao longo do tempo.
2. Estrutura Intelectual – a influência de um determinado autor sobre a comunidade científica. Permite detetar mudanças de paradigma, identificar o pensamento predominante e medir a proximidade cognitiva. Cada nó representa uma co-citação. A co-citação acontece quando dois documentos são citados por um terceiro. Através desta, podemos criar um gráfico onde são representadas as publicações/autores/países mais relevantes.
3. Estrutura Social – interação e colaboração entre atores, instituições e países através de redes de co-autoria. Quanto maior o número de publicações de um número de investigadores, maior a sua força de ligação.

### ***3.3. Modelação da curva de crescimento***

Para modelar a curva de crescimento baseámo-nos na metodologia de Porter *et al.* (2011). As capacidades tecnológicas podem ser representadas através de uma curva em forma de S. A variável dependente, o número cumulativo de publicações, regista os valores de cada ano. A escolha do número de publicações como variável dependente, deve-se a estes serem um indicador de *output* científico. De modo a ser possível modelar esta curva, será necessário supor o valor do limite da variável dependente. Neste caso, o limite poderá representar o período onde a tecnologia será totalmente substituída por outra emergente, atingindo o limite máximo de publicações. De notar que este limite deverá ser

viável. Comparar resultados de diferentes modelos é uma forma sensata de conduzir uma análise sensitiva do intervalo de valores do limite.

Definido o limite, procede-se à estimação dos restantes parâmetros através do método de *Monte Carlo*. Este método, origina inúmeras distribuições de um sistema probabilístico através da repetição e tabulação dos resultados. Em seguida encontra-se a equação de uma curva de Gompertz e os seus parâmetros:

Equação da Curva de Gompertz: 
$$y = a * e^{(b * e^{(c * t)})}$$

Onde:

- $Y$  representa o número de publicações extrapoladas;
- $a$  representa o limite da variável dependente (estimado pelo autor);
- $b$  e  $c$  são taxas de crescimento negativas (estimado pelo método de *Monte Carlo*)
- $e$  número de Eulers (2,71828...)
- $t$  represente o período em anos

Obtendo-se todos os parâmetros da equação prossegue-se à modelagem da curva, tendo em conta um intervalo de confiança. O método *Bootstrap* permite inferir os intervalos de confiança de um conjunto de dados que originalmente não apresentavam uma distribuição normal.

### ***3.4. Interpretação dos dados***

A seguir a serem criados todos os gráficos e tabelas provenientes da base de dados estes foram interpretados, estando descritos no próximo capítulo.

## **4. Análise dos resultados**

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados. Em primeiro lugar são apresentadas as estatísticas descritivas da análise de performance, seguido-se do *science mapping* com a análise de rede através das estruturas concetual, intelectual e social. Em segundo lugar é apresentado o modelo da curva de crescimento.

### ***4.1. Análise de performance***

#### 4.1.1. Análise Descritiva

Foram analisadas 22 253 publicações de 38 523 autores diferentes durante o período de 2012 a 2022. Destas 22 253 publicações, 13 375 eram artigos publicados em jornais científicos e 8 878 artigos resultantes de conferências. A taxa de crescimento neste período é de 111,84% e cada artigo recebe em média 12,14 citações.

#### 4.1.2. Evolução da Produção Científica

Na seguinte tabela é possível verificar o número de artigos publicados em cada ano e a sua taxa de crescimento em relação ao ano precedente.

*Tabela IV - Evolução da produção científica*

Ano	Publicações	Taxa de Crescimento Anual
2012	2	-
2013	11	450%
<b>2014</b>	<b>68</b>	<b>518%</b>
2015	132	94%
2016	226	71%
<b>2017</b>	<b>740</b>	<b>227%</b>
2018	2281	208%
2019	4103	80%
2020	4710	15%
2021	5464	16%
2022	3640	-33%*

Fonte: Elaborado pelo autor.

\* Taxa de crescimento registada até à data de 01-09-2022

Através da análise da tabela identificam-se três períodos distintos com diferentes características:

- Período 2012-2014: Em 2012 surgem os primeiros artigos dois artigos com referência à tecnologia *Blockchain*. Nos dois anos seguintes ocorre um elevado crescimento, atingido o máximo até à data com um crescimento de 518%. Contudo, o número de publicações não ultrapassa a centena.
- Período 2015-2016: O número de publicações já ultrapassa a centena alcançando 226 publicações. No entanto, nestes dois anos a taxa de crescimento é menor.

- Período 2017 – Presente: No ano de 2017 ocorre um novo “boom” apresentando uma taxa de crescimento elevada, 227%. No ano de 2018 o número de publicações ultrapassa o milhar. De realçar que apesar do elevado número de publicações e da taxa de crescimento ser positiva, esta encontra-se num estado descendente desde 2017.

#### 4.1.3. Jornais

Na base de dados foram identificados 5.244 jornais ou livros, correspondendo a uma média de 4,24 artigos por jornal. Na tabela seguinte encontram-se os 10 jornais com mais artigos publicados cumulativamente e as suas frequências.

*Tabela V - Publicação em jornais*

Jornal	Publicações	Percentagem (%)
IEEE ACCESS	930	4,18
IEEE INTERNET OF THINGS JOURNAL	349	1,57
SENSORS	291	1,31
SUSTAINABILITY	259	1,16
FINANCE RESEARCH LETTERS	220	0,99
SECURITY AND COMMUNICATION NETWORKS	198	0,89
APPLIED SCIENCES	183	0,82
ELECTRONICS	155	0,70
WIRELESS COMMUNICATIONS & MOBILE COMPUTING	143	0,64
IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS	138	0,62

Fonte: Elaborado pelo autor.

O jornal com mais publicações é o *IEEE Access* com 930 publicações totalizando 4,18% das publicações. Criado em 2013 e publicado pelo Instituto de Engenheiros e Eletricitistas dos Estados Unidos apresenta um *Scimago Journal Rank* 2021 (medida da influência de um jornal através do número de citações e prestígio dessas mesmas) de 0,93 e enquadra-se no Quartil 1 (apresentando melhor desempenho que 75% dos jornais nessa área) na área de ciência computacional. Apresenta um curto período de revisão e submissão de artigos, usualmente entre 4 a 6 semanas. O segundo jornal, também pertencente ao mesmo editor, *IEEE Internet of Things*, é responsável por 1,57% das publicações. Criado em 2014, apresenta um *SJR* 2021 de 3,85 e o seu melhor quartil, Q1,



na área de redes de computadores e comunicações. Juntamente com o *IEEE Transactions on Industrial Informatics* são responsáveis por 6,37% das publicações.

Pertencentes à editora *MDPI – Multidisciplinary Digital Publishing Institute*, sediada na Suíça, encontram-se os jornais *Sensors*, *Applied Sciences*, *Electronics* e *Sustainability*. De realçar este último devido à sua inserção na área da sustentabilidade e não nas ciências computacionais como os anteriores. Estes jornais apresentam também um reduzido período de submissão e revisão, 3 semanas.

Em quinto lugar, o *Finance Research Letters* publicado pela *Elsevier* é o único jornal desta listagem na área das Finanças, pertencendo ao Q1.

Os jornais *Wireless Communications & Mobile Computing* e *Security and Communications Network*, ambos publicados pela *Hindawy* sediada no Egito, enquadram-se na temática das ciências computacionais.

Verificamos assim uma tendência para a publicação em jornais publicados *online*, de livre acesso, com um reduzido tempo de espera para a submissão de artigos e com predominância temática na área das ciências computacionais.

#### 4.1.4. Áreas Científicas

Através das categorias indexadas na *WoS* é possível identificar as áreas científicas onde ocorre o maior número de publicações.

Tabela VI - Áreas científicas

<b>Categorias Web of Science</b>	<b>Número Publicações</b>	<b>%</b>
<i>Computer Science Information Systems</i>	7999	34,8
<i>Computer Science Theory Methods</i>	6020	26,1
<i>Engineering Electrical Electronic</i>	5739	24,9
<i>Telecommunications</i>	5236	22,8
<i>Computer Science Interdisciplinary Applications</i>	2572	11,2
<i>Computer Science Software Engineering</i>	1878	8,2
<i>Computer Science Artificial Intelligence</i>	1715	7,5

<i>Computer Science Hardware Architecture</i>	1659	7,2
<i>Business Finance</i>	1224	5,3
<i>Economics</i>	1152	5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Existe uma clara dominância de publicações que se enquadram nas ciências computacionais. Os sistemas de informação (34,8%) e métodos teóricos (26,1%) são as sub-áreas que mais se destacam dentro das ciências computacionais. Segue-se a área de engenharia eletrónica (24,9%) e as telecomunicações (22,8%). Verificamos a presença de investigação nas áreas económicas e financeira, ambas com sensivelmente 5%.

#### 4.1.5. Autores

A Lei de Lotka descreve a frequência com que os autores publicam, permitindo medir a produtividade dos autores. À medida que o número de artigos publicados aumenta, o número de autores que publicam esse número diminui. Torna-se possível distinguir os autores ocasionais dos “core” (Bookstein, 1977).

*Tabela VII - Lei de Lotka: número de publicações por autor*

<b>Número Publicações</b>	<b>Autores</b>	<b>%</b>
1	25909	67,3%
2	5862	15,2%
3	2409	6,3%
4	1271	3,3%
5	757	2,0%
6	488	1,3%
7	362	0,9%
8	254	0,7%
9	220	0,6%
10 ou mais	162	0,4%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verificamos que 67% dos autores publicam somente um artigo e 15% publicam dois. Aproximadamente 87% dos autores publicam menos de quatro artigos. Grande parte dos autores são autores ocasionais. Somente 0,4% dos autores publicam dez ou mais artigos, sendo estes o “core” de autores sobre tecnologia *Blockchain*.

O rácio MCP, *Multiple Countries Publication*, mede a intensidade da colaboração internacional de um determinado país. O MCP contabiliza os artigos onde pelo menos um

co-autor é originário de um país diferente. O SCP, *Single Country Publication*, contabiliza artigos onde os autores são todos originários do mesmo país. Na tabela seguinte visualizamos o número total de publicações por cada país, a percentagem relativamente ao total de publicações, o SCP, MCP e o rácio.

*Tabela VIII - Publicações por país*

Países	Publicações	SCP	MCP	% Total	Rácio MCP
CHINA	5776	4103	1673	26%	0,29
EUA	2477	1895	582	11%	0,235
ÍNDIA	1564	1179	385	7%	0,246
REINO UNIDO	1009	576	433	5%	<b>0,429</b>
COREIA DO SUL	945	696	249	4%	0,263
ITÁLIA	736	522	214	3%	0,291
AUSTRÁLIA	726	422	304	3%	<b>0,419</b>
ALEMANHA	704	523	181	3%	0,257
CANADÁ	552	319	233	3%	<b>0,422</b>
ESPANHA	419	273	146	2%	0,348

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os Estados Unidos (0,235), a Índia (0,246) e a Alemanha (0,257) são os países que apresentam a menor colaboração internacional. Em sentido contrário, o Reino Unido (0,429), o Canadá (0,422) e a Austrália (0,419) são os que mais cooperam internacionalmente.

#### **4.1.6. Geografia**

Decorrente da tabela anterior verifica-se que a China é responsável por um quarto das publicações totais. No continente asiático verifica-se ainda a Índia com 7% e a Coreia do Sul com 4%. Os Estados Unidos são o segundo país com um décimo do total das publicações. O Reino Unido é o primeiro país da Europa com 5% seguido da Itália 3%, Alemanha 3% e Espanha 2%. Verificamos que os países presentes na tabela acima são todos grandes potências e a publicação encontra-se dispersa pelo mundo.

#### **4.1.7. Instituições**

Na tabela seguinte encontram-se as instituições com mais publicações e o seu *ranking* internaional. O *ranking* foi retirado do *Quacquarelli Symons World University Rankings (World University Rankings, 2022)*.

*Tabela IX - Publicações por instituição*

<b>Instituição</b>	<b>País</b>	<b>QS Ranking</b>	<b>Publicações</b>
Beijing University of Posts and Telecommunications	China	801°	362
University of Electronic Science and Technology of China	China	561°	290
Xidian University	China	-	279
King Saud University	Arábia Saudita	237°	228
Nanyang Technological University	Singapura	19°	211
Beihang University	China	443°	197
The Hong Kong Polytechnic University	Hong Kong	65°	196
Tsinghua University	China	14°	191
Sun Yat-sen University	China	267°	181
University of Chinese Academy of Sciences	China	-	177

Fonte: Elaborado pelo autor.

Existe uma enorme presença de instituições de origem chinesa, 8 das 10 presentes na tabela. As únicas duas que não estão sediadas na China são, em 4º lugar a *King Saud University*, sediada na Arábia Saudita, e em 5º lugar a *Nanyang Technological University* sediada em Singapura. Verificamos que 8 das 10 instituições encontram-se no top 1000 mundial, inclusive três delas (*The Hong Kong Polytechnic University*, *Nanyang Technological University*, *Tsinghua University*) no top 100.

Da análise desta tabela, presencia-se uma forte tendência de publicação de elevada quantidade, por instituições presentes no continente asiático.

#### **4.1.8. Citações**

Uma referência é uma publicação que surge citada na bibliografia de um ou mais documentos pertencentes à base de dados extraída. Na presente base existem 409 111 referências, tendo cada artigo em média 12,14 citações. Na tabela seguinte estão representadas as cinco referências mais citadas.

*Tabela X - Referências mais citadas: títulos e autores*

<b>Referências Citadas</b>	<b>Ano</b>	<b>Citações</b>
<i>Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System</i> Satoshi Nakamoto	2008	3293

<i>Ethereum: A Secure Decentralized Generalised Transaction Ledger</i> Gavin Wood	2014	1378
<i>Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things</i> Konstantinos Christidis	2016	1320
<i>Blockchain: Blueprint for a New Economy</i> Melanie Swan	2015	1095
<i>A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains</i> Elli Androulaki	2018	1092

Fonte: Elaborado pelo autor.

Como seria expectável, a referência mais citada é o *whitepaper* sobre a criação da *bitcoin*. Foi neste documento que foi descrita pela primeira vez a *bitcoin* e a tecnologia que a sustenta, *Blockchain*. De seguida surge o *whitepaper* da criptomoeda *ethereum*, a segunda *Blockchain* a ter surgido e responsável pela implementação dos *smart contracts*. Nos lugares seguintes, surgem três publicações relacionadas com vantagens e aplicações da tecnologia *Blockchain* para além das criptomoedas.

Através da *Reference Publication Year Spectroscopy*, é possível medir de forma quantitativa as origens históricas de cada tópico de investigação. Obtém-se um perfil temporal das referências citadas onde são enfatizados os anos que apresentam descobertas significativas. No gráfico seguinte, a linha mais escura representa o número de citações em cada período temporal e a linha mais clara o desvio em relação à mediana de 5 anos (Marx *et al.*, 2014).

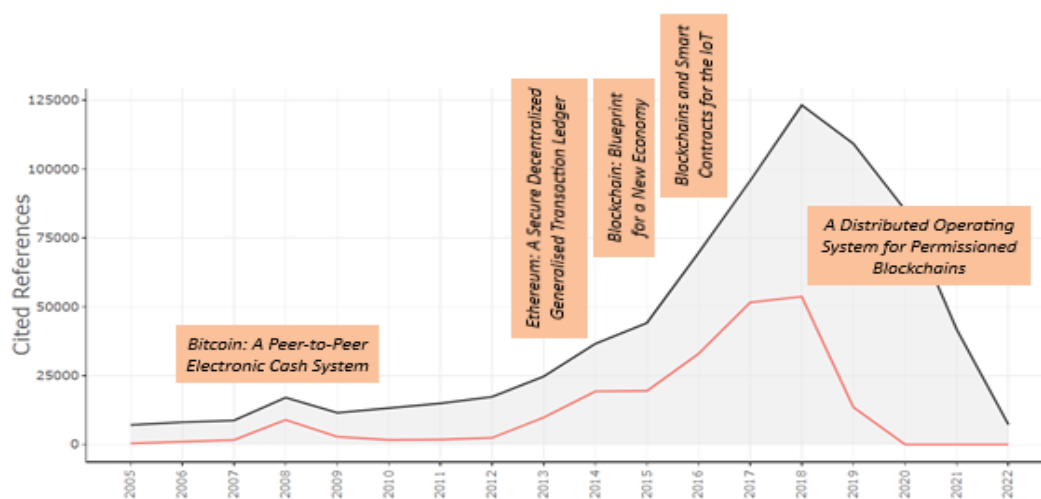


Figura 2 - Reference Publication Year Spectroscopy

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que as referências anteriormente apresentadas são responsáveis por um continuado crescimento positivo. O primeiro grande crescimento ocorre com a publicação do *whitepaper* da criptomoeda *bitcoin* em 2008. O segundo grande crescimento coincide com a publicação do *whitepaper* da criptomoeda *ethereum*. A tendência de crescimento subsiste até ao ano de 2018 com a publicação da última referência *A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains*.

A partir de 2018 a tendência de crescimento é quebrada e o número de citações diminui. Esta situação pode dever-se ao facto do atraso que existe entre o período de publicação de um artigo e o período que demora a receber as citações. Um intervalo de 5 anos entre o presente e o passado fornece-nos a margem necessária para avaliarmos se a tendência de crescimento continuará positiva.

Os documentos citados são documentos que estão incluídos na base de dados extraídas e surgem citados pelo menos uma vez como referência nos documentos dessa mesma base. Estes podem receber citações globais ou locais. As citações globais, são citações recebidas por documentos contidos em toda a base *WOS*, enquanto as citações locais, são recebidas somente por documentos contidos na base de dados extraída. Na tabela seguinte encontram-se os cinco documentos mais citados.

*Tabela XI - Documentos mais citados*

<b>Publicação</b>	<b>Ano</b>	<b>Citações Locais</b>	<b>Citações Globais</b>	<b>LC/GC Rácio (%)</b>
Blockchains and Smart Contracts for the Internet of Things	2016	1320	1633	80,83
A Distributed Operating System for Permissioned Blockchains	2018	1092	1231	88,71
An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends	2017	999	1183	84,45
Decentralizing Privacy: Using Blockchain to Protect Personal Data	2015	779	962	80,98
Blockchain challenges and opportunities: a survey	2018	763	953	80,06

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que as primeiras duas publicações já se encontravam na anterior tabela de referências. A primeira publicação explora a ligação da *Blockchain* com a *IOT*. A

segunda, explica a criação de uma *Blockchain* equiparável à *ethereum*. A terceira e última publicação são pioneiras na tentativa de compilar o conhecimento existente sobre a tecnologia, taxonomia, mecanismos de consenso, aplicações e futuras áreas de interesse. A quarta publicação explora uma vantagem da *Blockchain*: a segurança dos dados devido à imutabilidade e privacidade.

Notamos que todas as publicações apresentam um elevado número de citações. O rácio entre citações locais e globais é sempre superior a 80%. Este valor mostra-nos que a maioria das citações destes documentos são realizadas por documentos englobados na base de dados extraídas. No máximo 20% das citações destas publicações vão para documentos fora da área de pesquisa da base de dados extraída.

Na tabela seguinte encontram-se os dados referentes ao número de citações total e a média de citações de cada artigo por países. As citações são representativas da qualidade do conhecimento descrito na publicação. Através da citação ocorre a difusão do conhecimento.

*Tabela XII - Países com mais citações*

País	Citações Totais	Média de Citações por Artigo
CHINA	60477	10,5
EUA	46374	18,7
REINO UNIDO	19045	18,9
AUSTRÁLIA	12416	17,1
COREIA DO SUL	11442	12,1
ÍNDIA	10431	6,7
ALEMANHA	9428	13,4
ITÁLIA	8771	11,9
CANADÁ	6668	12
SUÍÇA	6125	21,6

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tal como no número de documentos publicados, a China apresenta-se como o país com mais citações, seguida pelo Estados Unidos da América. A Suíça, apesar de não ter o maior número total de citações, apresenta a maior média de citações por artigo. Todos os países, excluindo a Índia (6,7) e a China (10,5) apresentam um maior ou igual número de citações por artigo que a média de citações por artigo da base de dados, 12,14. Da análise desta tabela verifica-se a qualidade na investigação e procura sobre a tecnologia *Blockchain*.

#### 4.1.9. Keywords

As *keywords* dos autores são palavras escolhidas pelos autores com o intuito de representarem o conteúdo de uma publicação. Foram identificados 30.356 *keywords* de autores. Na imagem seguinte estão representadas as mais comuns.



Figura 3 - Keywords dos autores

Fonte: Elaborado pelo autor.

Note-se que a *keyword* mais amplamente escolhida pelos autores é “*security*”, seguida de “*IOT*”. Segundo os autores, a palavra “*security*” é a característica mais importante e diferenciadora da tecnologia *Blockchain*. Verificamos o aparecimento de outras palavras pertencentes ao mesmo campo lexical, que sustentam a importância desta característica: “*trust*”, “*access control*”, “*authentication*”, “*cryptography*”, “*consensus*”. A escolha da palavra “*IOT*” é revelador da área de maior aplicação da tecnologia. Notamos outras áreas de aplicação como as “*cryptocurrencies*”, “*machine learning*”, “*supply chain*”, “*artificial intelligence*” e “*COVID-19*”.

As *Keywords Plus<sup>TM</sup>* têm a particularidade de não poderem ser escolhidas pelos autores. São geradas automaticamente por um algoritmo que analisa palavras contidas nos títulos das referências de um artigo, podendo estar ou não no título do próprio artigo. Identificaram-se 5.743 *Keywords Plus<sup>TM</sup>*.





Figura 4 - *Keywords Plus*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Em contraste com as *keywords* dos autores, as *keywords* mais frequentes são “*internet*”, “*management*”, “*technology*” e em quarto “*security*”. A palavra *Internet* não se encontrava como uma das escolhidas pelos autores. De notar o surgimento das palavras “*management*”, “*economics*”, “*returns*”, evidenciando a existência de investigação na área da economia e gestão da tecnologia *Blockchain*. As restantes palavras enquadram-se nas vantagens e características da tecnologia.

## 4.2. *Science Mapping*

Através do *Science Mapping* será analisada a estrutura concetual, intelectual e social dos dados bibliométricos.

### 4.2.1. *Estrutura Concetual*

Inicialmente é construída uma rede de co-ocorrências através das *keywords* de autor. A escolha das *keywords* dos autores em detrimento das *keywords plus<sup>tm</sup>*, deve-se ao facto, das primeiras serem mais específicas e representarem com maior grau o conteúdo de um artigo (Zhang *et al.*, 2016). A seguinte rede de co-ocorrência é composta por 250 nós, tendo sido eliminados os nós que apareciam isolados. O algoritmo de clusterização utilizado foi o *Walktrap*.

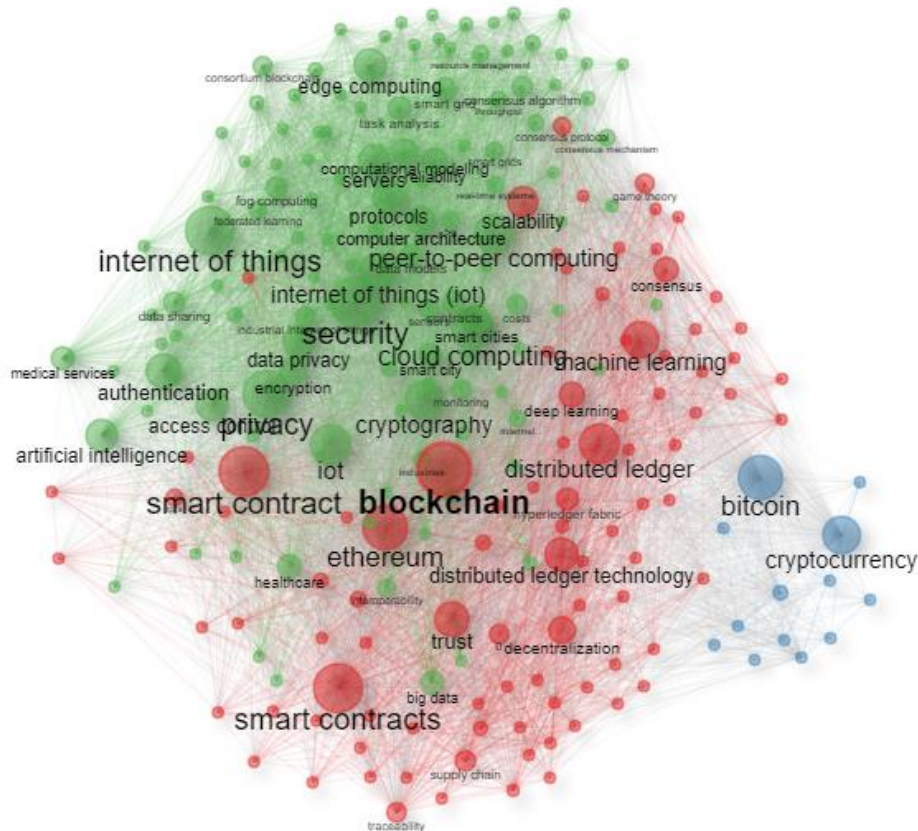


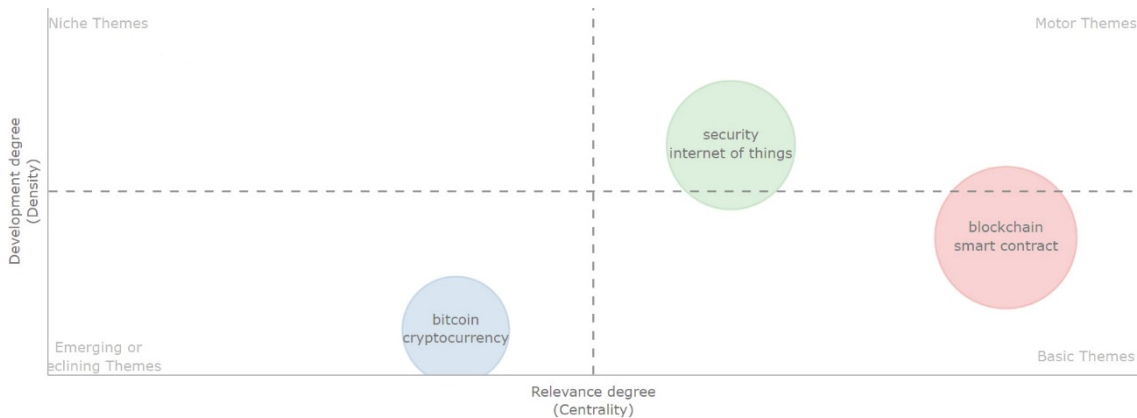
Figura 5 - Rede de co-ocorrências keywords

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na figura anterior emergem 3 *clusters* distintos:

- *Cluster 1* (vermelho) – aplicações básicas. Neste *cluster* verificamos os conceitos básicos presentes na tecnologia *Blockchain* responsáveis pela *Blockchain 1.0* (*distributed ledger, trust*) e *2.0* (*smart contract, ethereum*).
- *Cluster 2* (verde) – segurança e aplicações na indústria 4.0. O tema da segurança apresenta bastantes *keywords* (*security, cryptography, privacy*), revelando-se um tema crucial nos dias hoje com os inúmeros ataques cibernéticos. Juntamente com a segurança, presenciamos conceitos associados com a indústria 4.0 (*IoT, AI, smart grid*). De notar que este *cluster* no futuro poderá vir a separar-se em dois se a investigação prosseguir com estes temas.
- *Cluster 3* (azul) – aplicações financeiras. Neste *cluster* presenciamos a vertente económica da tecnologia *Blockchain*, surgindo *keywords* como *bitcoin, cryptocurrencies, Fintech* e volatilidade. Estas aplicações introduziram inovações ao nível dos pagamentos digitais, serviços bancários e fiscalidade.

A partir dos três clusters anteriores, procedeu-se à elaboração do Mapa Temático segundo os conceitos de centralidade e densidade. Os valores de centralidade, densidade e frequências encontram-se no anexo A.



*Figura 6 - Mapa temático*

Fonte: Elaborado pelo autor

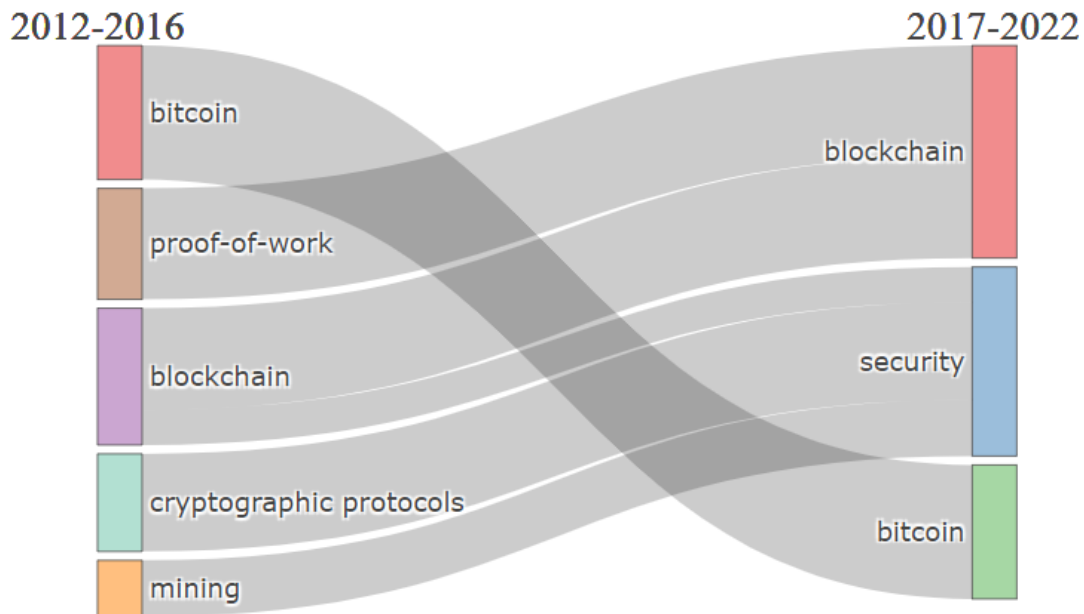
O *cluster 1* enquadra-se nos temas base, característicos de uma elevada centralidade e reduzida densidade. Este enquadramento vai ao encontro da análise do *cluster* anteriormente realizada. As *keywords* presentes retratam as aplicações iniciais da tecnologia *blockchain*. Verifica-se uma elevada importância deste cluster dentro da rede, contudo, não apresenta um elevado número de ligações. Simboliza o *state of the art* da tecnologia.

Nos temas motores, elevada densidade e centralidade, encontra-se inserido o *cluster 2*. É o *cluster* que apresenta o maior número de ligações, simbolizando futuras direções de investigação (*Security e IoT*). É expectável que no futuro, este *cluster* possa dividir-se em dois, necessitando que estes temas ganhem mais centralidade.

O *cluster 3* surge nos temas emergentes ou em declínio, apresentando uma reduzida centralidade e densidade. Este *cluster*, apresenta o menor valor em termos de ligações entre documentos, densidade, revelando uma fraca interligação entre as aplicações financeiras e as restantes aplicações da tecnologia.

O Mapa Temático representa a localização dos *clusters* no momento da extração das *keywords* da base de dados. É pertinente analisar o deslocamento passado desses *clusters* a fim de se perceber a sua evolução. Realizou-se assim um gráfico com a Evolução Temática. Efetuou-se um corte no ano 2017 dividindo o gráfico em dois períodos temporais, 2012 a 2016 e 2017 a 2022. A escolha do ano 2017, deve-se ao facto

de ser o ano que apresenta um significativo crescimento a nível da publicação. No anexo B encontra-se a informação detalhada sobre o gráfico.



*Figura 7 - Evolução temática*

Fonte: Elaborado pelo autor.

No período temporal de 2012 a 2016 existiam 5 *clusters*: *bitcoin*, *proof-of-work*, *blockchain*, *cryptographic protocols* e *mining*. O *cluster* da keyword *bitcoin* apresenta a maior dimensão. A dimensão deste, é justificada pela importância da criptomoeda *bitcoin* como precursora da tecnologia *Blockchain*. Verifica-se que os restantes *clusters*, enquadram-se nas características técnicas da *bitcoin*; mecanismo de consenso (*proof of work*), tecnologia utilizada (*Blockchain*), protocolos criptográficos e a mineração.

De 2017 a 2022 verificamos os três *clusters* anteriormente mencionados. O *cluster bitcoin* perdeu dimensão, ocupando a terceira posição em vez da primeira. O *cluster Blockchain* acopla-se com o *cluster proof-of-work* ocupando atualmente o *cluster* com maior dimensão. O *cluster cryptographic protocols* juntamente com o *cluster mining* e uma pequena parte do *cluster Blockchain* transitam para um novo *cluster*, *security*.

Do primeiro para o segundo período temporal verificamos que existe uma alteração de paradigma tecnológico. Inicialmente o foco encontrava-se em volta da criptomoeda *bitcoin*, ocorrendo uma transição onde o foco passou a ser a tecnologia *Blockchain*. Os restantes *clusters* do primeiro tema, parte foram introduzidos no *cluster*

*Blockchain* e a restante parte substituídos pelo *cluster security*. Esta análise vai de encontro com a análise do mapa temático onde se classifica o *cluster security* como tema motor e o *cluster bitcoin* como tema em declínio.

#### 4.2.2. Estrutura Intelectual

Nas redes de co-citação das referências citadas pretende-se não só identificar as publicações mais discutidas nos últimos anos, como identificar as que são consideradas mais relevantes na área.

No seguinte gráfico foram consideradas 100 publicações que apresentassem no mínimo 12 co-citações (igual ao número médio de citações por artigo 12,14 citações).

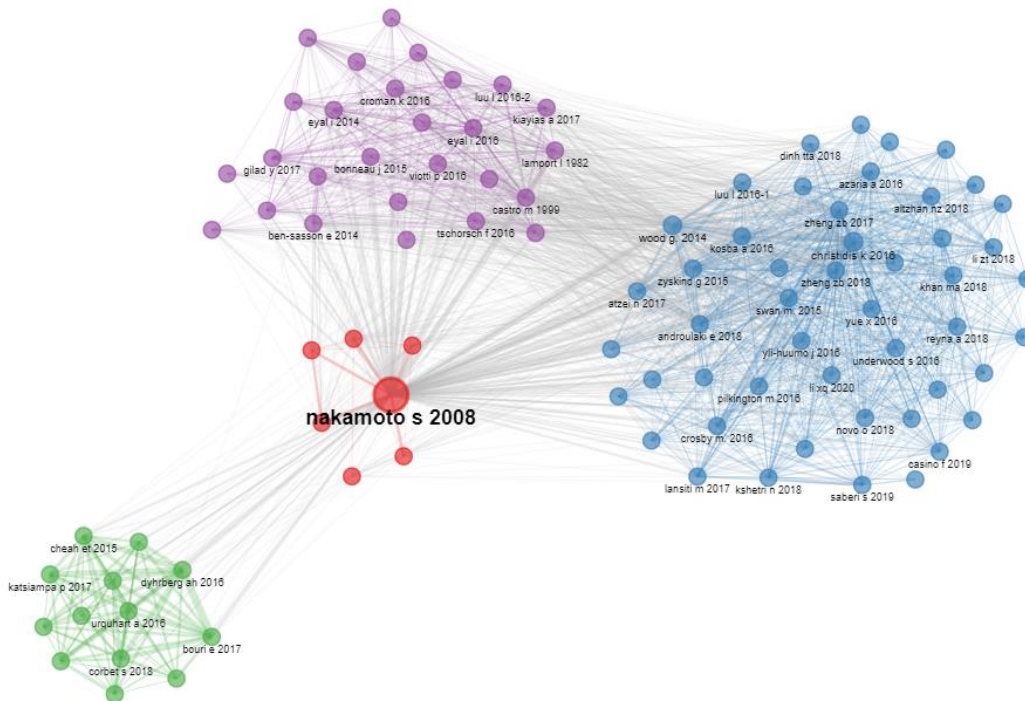


Figura 8 - Rede de co-citação

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *cluster* vermelho apresenta o maior número de co-citações. Como principal referência apresenta o *whitepaper* “*BITCOIN: a peer-to-peer electronic cash system*”. Verifica-se que o principal tema deste *cluster* é a criptomoeda, primeira aplicação da tecnologia *Blockchain*.

No *cluster* verde, é explorada a ligação da criptomoeda *Bitcoin* com os mercados financeiros. São apresentadas como desvantagens a volatilidade e incerteza do mercado

das criptomoedas (Katsiampa, 2017), a ineficiência do mercado (Urquhart, 2016) e o facto de ser considerada uma “bolha” de mercado (Cheah and Fry, 2015). Estas desvantagens são visíveis nas oscilações do preço da *bitcoin*, e no rápido aparecimento e desaparecimento de inúmeras criptomoedas. Este *cluster*, ajuda-nos também a justificar o anterior posicionamento no mapa temático do *cluster bitcoin*, como um *cluster* em declínio. O *cluster* encontra-se inserido na fase *Blockchain 1.0*, onde somente a aplicação financeira da tecnologia é analisada.

O *cluster* púrpura representa a transição para a fase da *Blockchain 2.0*, onde é explorada a evolução e novas aplicações das criptomoedas. Esta transição é fundamentada por uma transição do foco na *bitcoin* para a *Blockchain*. São analisadas diversas aplicações da tecnologia (Tschorsch and Scheuermann, 2016), o melhoramento do processo criptográfico (Gilad *et al.*, 2017) e de mineração (Eyal and Sirer, 2018).

Neste último *cluster*, o azul, presencia-se a fase de consolidação da *Blockchain 2.0* como uma economia digital. Aqui encontra-se inserido o *whitepaper* da criptomoeda *ethereum* (Wood, 2014), estudos do mapeamento da tecnologia (Yli-Huumo *et al.*, 2016) e aplicações emergentes: privacidade (Kosba *et al.*, 2016), *IoT* (Novo, 2018) e *supply chain* (Saber *et al.*, 2019).

Da análise destes últimos quatro clusters e pela ordem que foram apresentados, verifica-se um crescente número de publicações tal como o ano de publicação mais recente.

### **4.2.3. Estrutura Social**

Na análise da Estrutura Social através das redes de co-autoria é possível verificar a colaboração ente autores, instituições e países.

O primeiro gráfico representa a rede de co-autoria entre autores. Foram analisados os primeiros 25 autores com mais publicações, com um mínimo de dois artigos publicados e doze citações. O método de contagem foi fraccionalizado, assim uma ligação depende do número de co-autores no artigo.



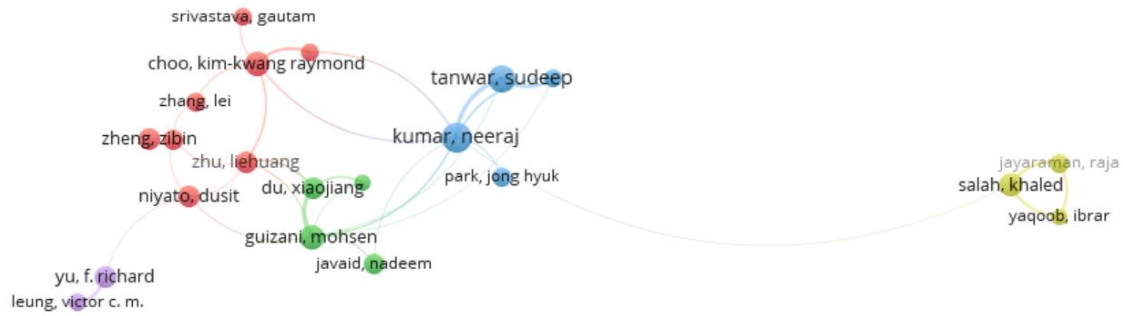


Figura 9 - Rede de co-autoria entre autores

Fonte: Elaborado pelo autor.

O *cluster* azul apresenta o autor com maior produtividade, Neeraj Kumar com 118 publicações, 8 ligações e uma força total de ligação de 64. Segue-se o autor Sudeep Tanwar com 93 publicações, 3 ligações e 66 na força total de ligação. O *cluster* é composto por quatro autores, sendo três deles de origem indiana.

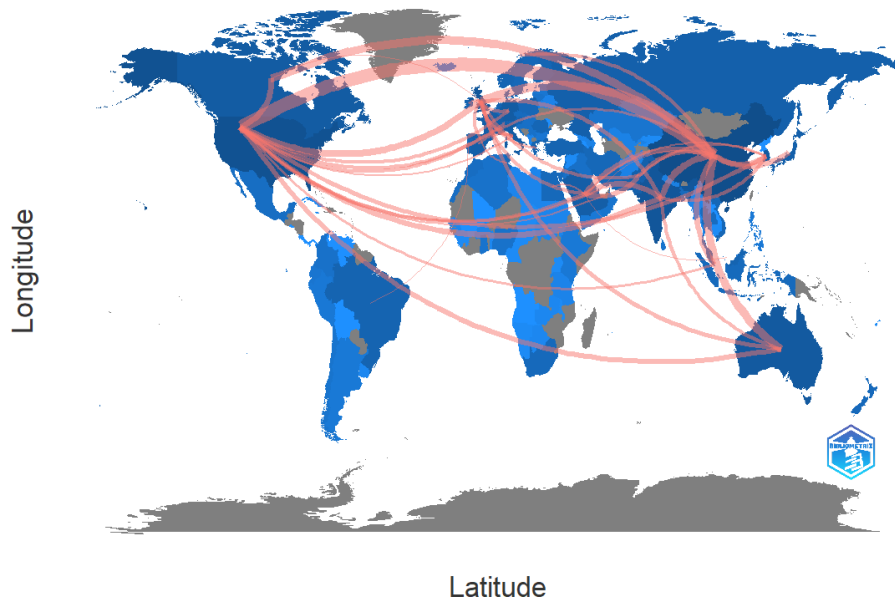
O *cluster* amarelo é composto por três autores, onde Khaled Salah apresenta o maior número de ligações, três. Os três autores pertencem à mesma instituição universitária, a *Khalifa University* nos Emirados Árabes Unidos.

O *cluster verde* é constituído por quatro autores. Mohsen Guizani apresenta o maior número de ligações, 8 e publicações, 77. Três destes autores têm fortes ligações ao IEEE – Instituto de Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos.

O *cluster vermelho* apresenta o maior número de autores, 8. Sete destes autores têm origem chinesa. Tanto Liehuang Zhu como Kim-Kwang Raymond Choo apresentam 5 ligações.

O *cluster púrpura* apresenta somente dois autores, sendo que Richard Yu apresenta duas ligações e Victor Leung uma. Ambos os autores de origem chinesa, pertencem a instituições do Canadá.

No último gráfico, visualiza-se as redes de co-autoria entre países. Foi efetuado um corte apresentando somente os países com mais de cinquenta citações. Este corte tem como objetivo evidenciar as redes de colaboração entre os países que publicam mais documentos.



*Figura 10 - Rede de co-autoria entre países*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na América do Norte surgem os Estados Unidos da América e o Canadá com várias ligações com mais de 50 citações. Ambos os países apresentam o maior número de ligações com a China. Para além da China, o Canadá apresenta redes de colaboração com os EUA e o Reino Unido. Os EUA, apresentam vastas redes de colaboração com os mais diversos países, excluindo a América do Sul.

Na América do Sul, o único país representado é o Brasil que apresenta uma rede de colaboração com Portugal.

Na Europa, os principais países com fortes redes de colaboração são o Reino Unido, a França e a Alemanha. Outros países pertencentes à Europa e que apresentam algumas ligações são a Espanha, a Itália, a Grécia e a Noruega.

No continente africano existem somente duas redes de colaboração: a Tunísia com o Reino Unido e o Egito com os Emirados Árabes Unidos.

Na Ásia, verificamos vários focos com extensas redes de colaboração. No Médio Oriente, onde o grande dinamizador são os Emirados Árabes Unidos. Na Ásia Meridional, através da Índia. No Sudeste Asiático através da Singapura e no Extremo Oriente através da Coreia do Sul, Japão e a China.

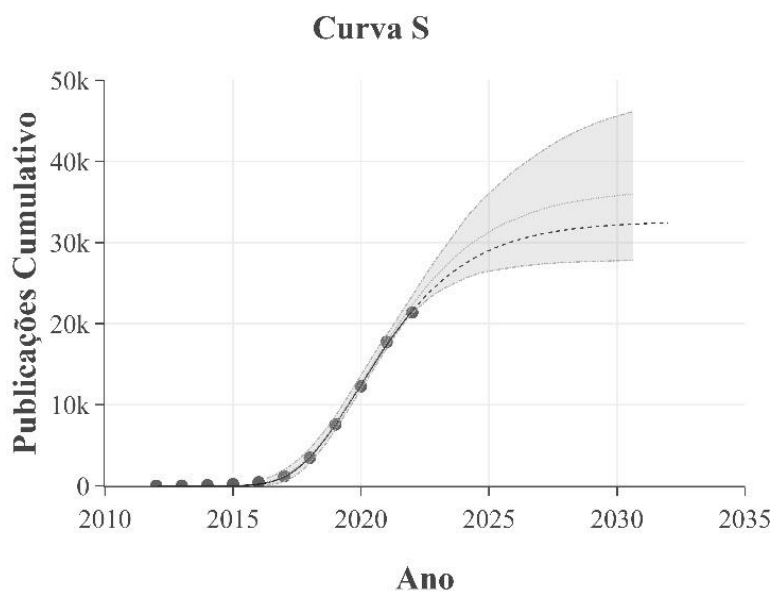
Na Oceânia, a Austrália apresenta redes de colaboração com os EUA, Reino Unido, Índia e China.



### 4.3. Curva de Crescimento

Para a modelização da curva de crescimento definiu-se um limite de 50 000 publicações. Vários limites foram testados pelo autor não havendo grandes diferenças na curva de crescimento final. Foi definido este limite pois representa um aumento de 100% no número atual de publicações. A taxa de crescimento do número de publicações desde 2012 a 2022 foi de 110%. Não se pode afirmar com certeza, se este aumento será concretizado ou não, mas permite-nos inferir o comportamento da tecnologia avaliada em termos de publicações científicas nos anos seguintes. Identificado este limite, procedeu-se à análise de sensibilidade de diversos modelos com o intuito de perceber qual a curva que melhor se enquadrava com os dados. Da informação contida no Anexo C, verifica-se que a curva com melhor qualidade,  $R^2$ , foi a curva de Gompertz, 0,99. Escolhida a curva de crescimento e o limite, estimou-se os restantes parâmetros através do método de *Monte Carlo*. Foram realizadas 10 000 interações e utilizada a soma dos quadrados para reduzir a variância. Por fim, introduziu-se um intervalo de confiança de 95% através do método de *Bootstrap* com 200 iterações.

De seguida é apresentada o gráfico com a curva de Gompertz. As estatísticas associadas ao gráfico encontram-se no Anexo 4. Para melhor analisar os resultados do gráfico, são apresentados os gráficos de Fisher-Pry, taxa de substituição, e de Bell, taxa de mudança.



*Figura 11 - Ciclo de vida tecnológico*

Fonte: Elaborado pelo autor.

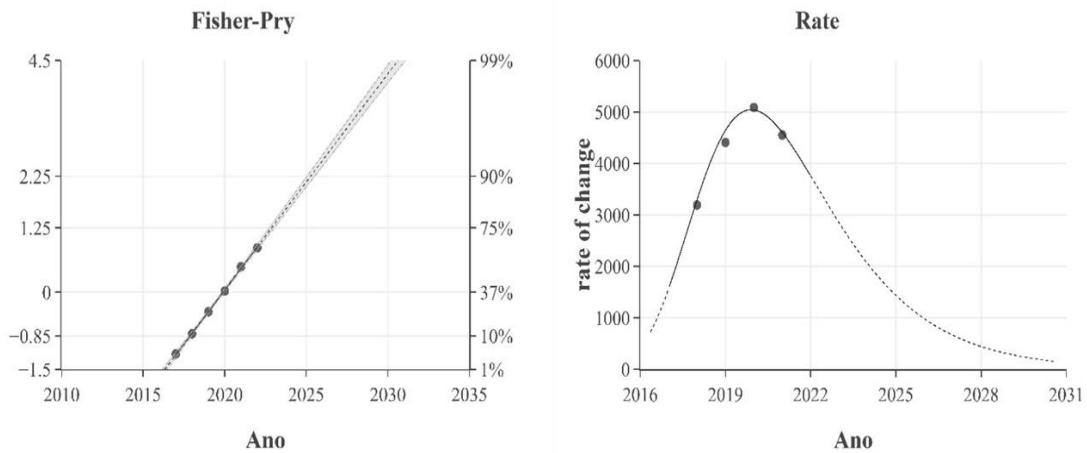


Figura 12 - Gráfico Fisher-Pry (à esquerda) e gráfico Bell (à direita)

Fonte: Elaborado pelo autor.

No gráfico do ciclo de vida tecnológico, os círculos representam dados já observados até 2022. A linha a tracejado representa a extrapolação do número de publicações nos seguintes anos, obtida através da modelagem da curva de Gompertz. A zona a cinzento-claro, representa o intervalo de confiança, 95%.

Através da análise do primeiro gráfico verifica-se que a tecnologia *Blockchain* avaliada em termos de publicações científicas, situa-se na fase final de crescimento e a iniciar a fase de uma tecnologia madura. Apresentou um elevado crescimento desde 2017. O ponto de inflexão situa-se no ano de 2020. A partir deste ano o crescimento anual é inferior ao do ano transato. Seguindo o modelo preditivo da curva de Gompertz, continuará a tendência de crescimento até ao ano de 2025. A partir de 2025 a tecnologia entrará numa fase de estagnação, tornando-se numa tecnologia de base, podendo iniciar o seu declínio depois do ano 2030. Contudo, o valor referente ao ano de 2022 é inferior ao real, pois ainda não está concluído. Assim, e analisando através do intervalo de confiança, o cenário mais otimista apresenta uma fase de crescimento que poderá prolongar-se para além de 2025, entrando num período de estagnação somente depois de 2030. No cenário mais negativo, a tecnologia já se encontra numa fase madura, entrando num estado de estagnação depois de 2025.

O gráfico de Fisher-Pry apresenta o ponto de inflexão no ano de 2020. No ano de 2025 é projetado que seja atingido 90% do limite e que em 2030, 99% do limite seja atingido. Neste cenário, a tecnologia continua em grande crescimento até ao ano de 2025.

A partir desse ano entrará no estado de maturidade, atingindo a estagnação no ano de 2030. Decorrente deste cenário, podemos verificar que a partir de 2025 poderão surgir inovações tecnológicas que compitam diretamente com tecnologia *Blockchain*, podendo mesmo substituí-la a partir do ano de 2030.

O gráfico de Bell simboliza a taxa de mudança. A sua análise permite concluir se existe uma taxa de crescimento positiva ou negativa relativamente ao ano anterior, identificando-se o ponto de inflexão, 2020. Até ao ano de 2025 realiza-se grande parte do crescimento, entrando num período de estagnação depois desse ano.

Independentemente de o cenário ser o mais otimista ou o contrário, conclui-se que até ao ano de 2025 irá ocorrer um forte crescimento da publicação relacionada com a tecnologia *Blockchain*. A partir desse ano, o crescimento será reduzido significativamente podendo entrar numa fase de estagnação perto do ano de 2030. Esta análise não pretende ser determinística, pretende sim, fornecer uma análise da tendência da tecnologia, sendo mais precisa para os anos mais próximos. Uma nova modelação da curva no ano de 2025, fornecerá mais informação sobre a passagem da tecnologia à fase de maturidade ou estagnação. Eventos atuais como a pandemia COVID-19 ou a guerra entre a Ucrânia e a Rússia poderão retardar ou acelerar o ciclo de vida tecnológico. Esta informação é pertinente para os gestores e políticos, pois fornece informação sobre o estado da tecnologia. As empresas que tenham interesse em adotar ou investir na tecnologia, não ocorrerão em grandes riscos ou incertezas neste período, pois grande parte desses riscos foram enfrentados pelos adotantes precoces. A passagem do ponto de inflexão é uma garantia de segurança para os adotantes. Uma adoção mais tardia, poderá minimizar as vantagens competitivas da adoção da tecnologia.

## 5. Conclusões

Com este trabalho pretendeu-se avaliar a tecnologia *Blockchain* através da análise bibliométrica e do seu ciclo de vida tecnológico. Conseguindo obter-se um modelo do ciclo de vida tecnológico, procurou-se identificar o estágio de evolução da mesma. Inicialmente, através da análise da literatura, foi descrita a tecnologia identificando o seu potencial disruptivo. Contudo foram identificadas poucas aplicações com um avançado estado de maturidade, destacando-se as criptomoedas, as *NFT's* e alguns projetos isolados inseridos nas cadeias de abastecimento.

Através da primeira pergunta de investigação “*Como integrar a análise bibliométrica e o ciclo de vida tecnológico num novo método de avaliação de uma determinada tecnologia?*” pretendeu-se uma avaliação mais profunda da tecnologia *Blockchain*, podendo ser futuramente aplicada às mais diversas tecnologias.

De forma a responder à pergunta de investigação, a análise bibliométrica foi dividida em Análise de Performance e *Science Mapping*. Na Análise de Performance, verificou-se um total de 22.253 publicações, apresentando uma taxa de crescimento anual bastante elevada, porém decrescente desde 2017. A grande maioria das publicações enquadravam-se em áreas temáticas e jornais científicos referentes à ciência computacional. Esta observação vai de encontro com observação verificada no capítulo Panorama Atual da Tecnologia, onde constatou-se um elevado foco por parte dos engenheiros informáticos na questão técnica. Tanto ao nível da origem dos autores, das instituições e países com maior número de publicações, verificou-se uma clara predominância da China seguida dos Estados Unidos da América. Destacam-se também países como a Coreia do Sul, Índia, Reino Unido e Alemanha que possuem economias fortemente baseadas na inovação. O *whitepaper* da *bitcoin*, foi identificado como a referência mais citada, destacando a importância dessa criptomoeda como percussora da tecnologia *Blockchain*. Como segunda referência mais citada surge o *whitepaper* da *ethereum* que possibilitou através dos *smart contracts*, a exploração de novas aplicabilidades da tecnologia para além das criptomoedas. Através da análise de *keywords* dos autores, é possível verificar a direção pretendida para esta tecnologia. Salientam-se áreas como a segurança, *IoT* e as criptomoedas. Em contraste, as *Keywords Plus<sup>tm</sup>* são criadas automaticamente. São evidenciadas áreas como a Internet, a gestão, a tecnologia e em quarto a segurança.

No *Science Mapping*, inicialmente pela análise da Estrutura Concetual, constatou-se a presença de três *clusters*: o *cluster* de aplicações básicas, o *cluster* de segurança e aplicações na indústria 4.0 e o *cluster* de aplicações financeiras. A partir da Análise Temática, constatou-se que o primeiro *cluster* se enquadra nos temas básicos. O segundo nos temas motores e por último, o terceiro *cluster*, nos temas emergentes ou em declínio. Na análise da Evolução Temática, verificou-se um declínio do terceiro *cluster* (*bitcoin*), uma predominância do primeiro *cluster* (*blockchain*) e o surgimento do segundo *cluster* (segurança). Esta evolução é também constatada no capítulo no Panorama Atual da Tecnologia. No princípio ocorreu uma enorme propaganda à adoção da criptomoeda *bitcoin*, contudo o seu elevado consumo energético e volatilidade travaram essa adoção. Em contraste, houve uma implementação da tecnologia *Blockchain* em certos projetos e presencia-se a exploração da conexão desta tecnologia com a indústria 4.0 e a Web 3.0. Na análise da Estrutura Intelectual, identificaram-se quatro *clusters* de tamanho crescente e que representam a evolução da tecnologia desde a sua primeira aplicação; seguido da sua expansão para aplicações financeiras – *Blockchain 1.0*; a transição para a *Blockchain 2.0*, e finalmente a consolidação da *Blockchain 2.0* e exploração de ligações com a indústria 4.0. Na Estrutura Social, através das redes de co-autoria identificaram-se cinco clusters, sendo três deles de autores chineses, um de autores indianos e o último de autores originários dos Emirados Árabes Unidos.

O ciclo de vida tecnológico foi modelado através de uma curva de Gompertz. Assim, tornou-se possível uma representação gráfica quantitativa da previsão do comportamento da tecnologia *Blockchain* ao nível das publicações. Observou-se um crescimento bastante significativo até ao ano de 2025. Depois de 2025, o crescimento diminuiu podendo entrar num estado de estagnação a partir do ano de 2030.

Tendo conseguido modelar o ciclo de vida tecnológico, pretende-se identificar o estágio de evolução, respondendo assim à segunda questão de investigação, “será possível identificar ou estimar o estágio de evolução de uma tecnologia emergente, neste caso a *Blockchain*, de forma a providenciar recomendações mais informadas a decisores empresariais e políticos?”.

No gráfico obtido, observa-se o ponto de inflexão no ano 2020. A partir deste ano o crescimento será sempre inferior ao do ano transato. Contudo esse crescimento ainda é significativo. Assim, verifica-se que a tecnologia se encontra num estado de crescimento até sensivelmente ao ano de 2025. É possível afirmar que a estrutura da tecnologia é caracterizada por uma forte entrada de novos atores, uma fraca regulamentação e reduzida

presença de instituições, estando ainda à procura do design dominante. Até ao ano de 2025, período previsto de crescimento, é expectável que surja um design dominante que revolucione o modo como vivemos e que a tecnologia *Blockchain* possa cumprir com todas as suas promessas. Ou não será isto tudo, nada mais que uma mera utopia.

No decorrer do trabalho foram identificadas as seguintes limitações:

- Tanto para a análise bibliométrica como para a modelação da curva do ciclo de vida tecnológico foram utilizados somente dados provenientes de uma base de dados, *WOS*, sendo estes documentos publicados em revistas científicas com *peer review* e artigos resultantes de conferências. De forma a obter-se uma avaliação e modelo mais completos recomenda-se a introdução de dados provenientes de outros indicadores de output, nomeadamente as patentes.
- O período temporal escolhido engloba dados referentes aos anos de 2020, 2021 e 2022. Ora, os anos de 2020 e 2021 foram gravemente afetados pela pandemia COVID-19 podendo ter ficado aquém do expectável quanto ao número de publicações e o ano de 2022 ainda não está concluído. Esta escolha poderá ter enviesado os resultados, resultando num declínio da tecnologia mais rápido que o normal. Assim, recomenda-se, uma nova análise com dados completos de 2022 a fim de se verificar se há ou não uma alteração de tendências.
- Aquando da modelação da curva de Gompertz, o limite superior foi definido pelo próprio autor, baseando-se na taxa de crescimento passada. Recomenda-se a exploração de outros limites e até outros modelos de curvas, de forma a identificar-se um modelo que poderá ser mais apropriado.
- Seria interessante apresentar este ciclo de vida tecnológico a um painel de peritos através do método de Delphi. Deste modo, verificar-se-ia se o modelo enquadra-se com a realidade. Com o *feedback* dos peritos, complementava-se o modelo, estabeleciam-se objetivos criando um *roadmap* da tecnologia.

## Bibliografia

- Abbate, T. *et al.* (2022) ‘Blockchain and art market: resistance or adoption?’, *Consumption Markets & Culture*, 25(2), pp. 105–123. doi: 10.1080/10253866.2021.2019026.
- Abernathy, W. J. and Utterback, J. M. (1978) ‘Patterns of Industrial Innovation’, *Technology Review*, (80), pp. 40–47.
- Ahl, A. *et al.* (2019) ‘Review of blockchain-based distributed energy: Implications for institutional development’, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 107, pp. 200–211. doi: 10.1016/j.rser.2019.03.002.
- Anderson, P. and Tushman, M. L. (1990) ‘Technological Discontinuities and Dominant Designs: A Cyclical Model of Technological Change’, *Administrative Science Quarterly*, 35(4), pp. 604–633. doi: 10.2307/2393511.
- Aria, M. and Cuccurullo, C. (2017) ‘bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis’, *Journal of Informetrics*, 11(4), pp. 959–975. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>.
- Baudier, P. *et al.* (2021) ‘Peace engineering: The contribution of blockchain systems to the e-voting process’, *Technological Forecasting and Social Change*, 162, p. 120397. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120397>.
- Boffey, D. (2022) ‘Can bitcoin be sustainable? Inside the Norwegian mine that also dries wood’, *The Guardian*. Available at: <https://www.theguardian.com/technology/2022/feb/09/can-bitcoin-be-sustainable-inside-the-norwegian-mine-that-also-dries-wood>.
- Bookstein, A. (1977) ‘Patterns of Scientific Productivity and Social Change: A Discussion of Lotka’s Law and Bibliometric Symmetry’, *Journal of the American Society for Information Science*, 28(4), pp. 206–210. doi: <https://doi.org/10.1002/asi.1977.28.4.206>.
- Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index* (2022) University of Cambridge. Available at: <https://ccaf.io/cbeci/index> (Accessed: 9 October 2022).
- Cheah, E.-T. and Fry, J. (2015) ‘Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin’, *Economics Letters*, 130, pp. 32–36. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.02.029>.



- Cobo, M. J. *et al.* (2011) ‘An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field’, *Journal of Informetrics*, 5(1), pp. 146–166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>.
- Cocco, L., Pinna, A. and Marchesi, M. (2017) ‘Banking on Blockchain: Costs Savings Thanks to the Blockchain Technology’, *Future Internet*, 9, p. 25. doi: 10.3390/fi9030025.
- Cunha, P. R., Sebastiao, H. and Godinho, P. (2021) ‘Cryptocurrencies and blockchain. Overview and future perspectives’, *International Journal of Economics and Business Research*, 21, pp. 305–342. doi: 10.1504/IJEBR.2021.10034022.
- Daim, T. U. *et al.* (2006) ‘Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis’, *Technological Forecasting and Social Change*, 73(8), pp. 981–1012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2006.04.004>.
- Eyal, I. and Sirer, E. G. (2018) ‘Majority is Not Enough: Bitcoin Mining is Vulnerable’, *Commun. ACM*, 61(7), pp. 95–102. doi: 10.1145/3212998.
- Fisher, J. C. and Pry, R. H. (1971) ‘A simple substitution model of technological change’, *Technological Forecasting and Social Change*, 3, pp. 75–88. doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(71\)80005-7](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(71)80005-7).
- Foster, R. N. (1986) ‘Working The S-Curve: Assessing Technological Threats’, *Research Management*, 29(4), pp. 17–20. doi: 10.1080/00345334.1986.11756976.
- Gao, L. *et al.* (2013) ‘Technology life cycle analysis method based on patent documents’, *Technological Forecasting and Social Change*, 80(3), pp. 398–407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.10.003>.
- Gervais, A. *et al.* (2016) ‘On the Security and Performance of Proof of Work Blockchains’, in *Proceedings of the 2016 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (CCS ’16), pp. 3–16. doi: 10.1145/2976749.2978341.
- Gilad, Y. *et al.* (2017) ‘Algorand: Scaling Byzantine Agreements for Cryptocurrencies’, in *Proceedings of the 26th Symposium on Operating Systems Principles*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (SOSP ’17), pp. 51–68. doi: 10.1145/3132747.3132757.
- Golosova, J. and Romanovs, A. (2018) ‘The Advantages and Disadvantages of the Blockchain Technology’, in *2018 IEEE 6th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*, pp. 1–6. doi: 10.1109/AIEEE.2018.8592253.
- González-Albo, B. and Bordons, M. (2011) ‘Articles vs. proceedings papers: Do they



differ in research relevance and impact? A case study in the Library and Information Science field’, *Journal of Informetrics*, 5(3), pp. 369–381. doi: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2011.01.011>.

Goudarzi, H. and Martin, J. I. (2018) ‘Blockchain in Aviation: Exploring the Fundamentals, Use Cases and Industry Initiatives’, *IATA*. Available at: <https://www.iata.org/contentassets/2d997082f3c84c7cba001f506edd2c2e/blockchain-in-aviation-white-paper.pdf>.

Grimaldi, M. *et al.* (2014) ‘The patent portfolio value analysis: A new framework to leverage patent information for strategic technology planning’, *Technological Forecasting and Social Change*, 94. doi: 10.1016/j.techfore.2014.10.013.

Gürkaynak, G. *et al.* (2018) ‘Intellectual property law and practice in the blockchain realm’, *Computer Law & Security Review*, 34(4), pp. 847–862. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clsr.2018.05.027>.

Holahan, P. J., Sullivan, Z. Z. and Markham, S. K. (2014) ‘Product Development as Core Competence: How Formal Product Development Practices Differ for Radical, More Innovative, and Incremental Product Innovations’, *Journal of Product Innovation Management*, 31(2), pp. 329–345. doi: <https://doi.org/10.1111/jpim.12098>.

Howcroft, E. (2022) ‘NFT sales plunge in Q3, down by 60% from Q2’, *Reuters*. Available at: <https://www.reuters.com/technology/nft-sales-plunge-q3-down-by-60-q2-2022-10-03/>.

Huang, Y. *et al.* (2021) ‘Exploring Technology Evolution Pathways to Facilitate Technology Management: From a Technology Life Cycle Perspective’, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 68(5), pp. 1347–1359. doi: 10.1109/TEM.2020.2966171.

Ismail, S., Farrands, A. and Wooding, S. (2009) *Evaluating Grant Peer Review in the Health Sciences: A review of the literature*. Santa Monica, CA: RAND Corporation PP - Santa Monica, CA. doi: 10.7249/TR742.

Järvenpää, H. M., Mäkinen, S. J. and Seppänen, M. (2011) ‘Patent and publishing activity sequence over a technology’s life cycle’, *Technological Forecasting and Social Change*, 78(2), pp. 283–293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2010.06.020>.

Kamišalić, A. *et al.* (2019) ‘A Preliminary Review of Blockchain-Based Solutions in Higher Education’, in Uden, L. *et al.* (eds) *Learning Technology for Education Challenges*. Cham: Springer International Publishing, pp. 114–124.

Kar, A. K. and Navin, L. (2021) ‘Diffusion of blockchain in insurance industry: An

analysis through the review of academic and trade literature’, *Telematics and Informatics*, 58, p. 101532. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tele.2020.101532>.

Katsiampa, P. (2017) ‘Volatility estimation for Bitcoin: A comparison of GARCH models’, *Economics Letters*, 158, pp. 3–6. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2017.06.023>.

Kosba, A. *et al.* (2016) ‘Hawk: The Blockchain Model of Cryptography and Privacy-Preserving Smart Contracts’, in *2016 IEEE Symposium on Security and Privacy (SP)*, pp. 839–858. doi: 10.1109/SP.2016.55.

Krugman, P. (2022) ‘How Crypto Became the New Subprime’, *The New York Times*. Available at: <https://www.nytimes.com/2022/01/27/opinion/cryptocurrency-subprime-vulnerable.html>.

Kshetri, N. (2021) ‘Blockchain and sustainable supply chain management in developing countries’, *International Journal of Information Management*, 60, p. 102376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2021.102376>.

Malekan, O. (2022) ‘What Skeptics Get Wrong About Crypto’s Volatility’, *Harvard Business Review*. Available at: <https://hbr.org/2022/07/what-skeptics-get-wrong-about-cryptos-volatility>.

Markard, J. (2020) ‘The life cycle of technological innovation systems’, *Technological Forecasting and Social Change*, 153, p. 119407. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.045>.

Marku, E. *et al.* (2020) ‘General Purpose Technology: The Blockchain Domain’, *International Journal of Business and Management*, 15, p. 192. doi: 10.5539/ijbm.v15n11p192.

Martino, J. P. (2003) ‘A review of selected recent advances in technological forecasting’, *Technological Forecasting and Social Change*, 70(8), pp. 719–733. doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(02\)00375-X](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(02)00375-X).

Marx, W. *et al.* (2014) ‘Detecting the historical roots of research fields by reference publication year spectroscopy (RPYS)’, *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 65(4), pp. 751–764. doi: <https://doi.org/10.1002/asi.23089>.

McGhin, T. *et al.* (2019) ‘Blockchain in healthcare applications: Research challenges and opportunities’, *Journal of Network and Computer Applications*, 135, pp. 62–75. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2019.02.027>.

Mendling, J. *et al.* (2018) ‘Blockchains for Business Process Management - Challenges and Opportunities’, *ACM Transactions on Management Information Systems*, . In press.

doi: 10.1145/3183367.

Milmo, D. (2022) ‘Ethereum cryptocurrency completes move to cut CO2 output by 99%’, *The Guardian*. Available at: <https://www.theguardian.com/technology/2022/sep/15/ethereum-cryptocurrency-completes-move-to-cut-co2-output-by-99>.

Mora, L., Deakin, M. and Reid, A. (2019) ‘Combining co-citation clustering and text-based analysis to reveal the main development paths of smart cities’, *Technological Forecasting and Social Change*, 142, pp. 56–69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.019>.

Naughton, J. (2022) ‘Will blockchain fulfil its democratic promise or will it become a tool of big tech?’, *The Guardian*. Available at: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2022/jan/15/will-blockchain-fulfil-its-democratic-promise-or-will-it-become-a-tool-of-big-tech>.

Nieto, M. (2003) ‘From R&D management to knowledge management: An overview of studies of innovation management’, *Technological Forecasting and Social Change*, 70(2), pp. 135–161. doi: [https://doi.org/10.1016/S0040-1625\(02\)00196-8](https://doi.org/10.1016/S0040-1625(02)00196-8).

Novo, O. (2018) ‘Blockchain Meets IoT: An Architecture for Scalable Access Management in IoT’, *IEEE Internet of Things Journal*, 5(2), pp. 1184–1195. doi: 10.1109/JIOT.2018.2812239.

Noyons, E. C. M., Moed, H. F. and Van Raan, A. F. J. (1999) ‘Integrating research performance analysis and science mapping’, *Scientometrics*, 46(3), pp. 591–604. doi: 10.1007/BF02459614.

Obermeier, D. and Henkel, J. (2020) ‘Provable Transactions: Exploring the Boundaries of Trust in Smart Contracts on Blockchains’, *Academy of Management Proceedings*, 2020(1), p. 20156. doi: 10.5465/AMBPP.2020.294.

Porter, A. L. *et al.* (2011) *Forecasting and Management of Technology*. Wiley. Available at: [https://books.google.pt/books?id=k2xX6q\\_vZn0C](https://books.google.pt/books?id=k2xX6q_vZn0C).

Pournader, M. *et al.* (2020) ‘Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: a systematic review of the literature’, *International Journal of Production Research*, 58(7), pp. 2063–2081. doi: 10.1080/00207543.2019.1650976.

Rotolo, D., Hicks, D. and Martin, B. R. (2015) ‘What is an emerging technology?’, *Research Policy*, 44(10), pp. 1827–1843. doi: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.06.006>.

Saberi, S. *et al.* (2019) ‘Blockchain technology and its relationships to sustainable supply

- chain management’, *International Journal of Production Research*, 57(7), pp. 2117–2135. doi: 10.1080/00207543.2018.1533261.
- Stanley, A. (2022) *The Ascent of CBDC’s*, *International Monetary Fund*. Available at: <https://www.imf.org/en/Publications/fandd/issues/2022/09/Picture-this-The-ascent-of-CBDCs> (Accessed: 9 October 2022).
- Telling, O. (2022) ‘Can blockchain smooth global supply chains?’, *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/0064e0a2-2210-45de-b366-b0439cb575a2>.
- Tijan, E. *et al.* (2019) ‘Blockchain Technology Implementation in Logistics’, *Sustainability*, 11, p. 1185. doi: 10.3390/su11041185.
- Treiblmaier, H. and Sillaber, C. (2021) ‘The impact of blockchain on e-commerce: A framework for salient research topics’, *Electronic Commerce Research and Applications*, 48, p. 101054. doi: <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2021.101054>.
- Trujillo, C. M. and Long, T. M. (2018) ‘Document co-citation analysis to enhance transdisciplinary research’, *Science Advances*, 4(1), p. e1701130. doi: 10.1126/sciadv.1701130.
- Tschorsch, F. and Scheuermann, B. (2016) ‘Bitcoin and Beyond: A Technical Survey on Decentralized Digital Currencies’, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), pp. 2084–2123. doi: 10.1109/COMST.2016.2535718.
- Tushman, M. L. and Anderson, P. (1986) ‘Technological Discontinuities and Organizational Environments’, *Administrative Science Quarterly*, 31(3), pp. 439–465. doi: 10.2307/2392832.
- Urquhart, A. (2016) ‘The inefficiency of Bitcoin’, *Economics Letters*, 148, pp. 80–82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2016.09.019>.
- Veletsianos, G. (2016) ‘The Defining Characteristics of Emerging Technologies and Emerging Practices in Digital Education’, in *Emergence and Innovation in Digital Learning: Foundations and Applications*. Athabasca University Press, p. (pp. 3-16).
- Vitasek, K. *et al.* (2022) ‘How Walmart Canada Uses Blockchain to Solve Supply-Chain Challenges’, *Harvard Business Review*. Available at: <https://hbr.org/2022/01/how-walmart-canada-uses-blockchain-to-solve-supply-chain-challenges>.
- Waters, R. (2022) ‘Web3 is yet to take off despite the hype’, *Financial Times*. Available at: <https://www.ft.com/content/16eaf1b9-08fb-4454-a4eb-ac662cdd8590>.
- White, G. R. T. (2017) ‘Future applications of blockchain in business and management: A Delphi study’, *Strategic Change*, 26(5), pp. 439–451. doi: <https://doi.org/10.1002/jsc.2144>.

White, K., Waliczeek, S. and Mandeng, O. (2022) *Cryptocurrency regulation is changing. Here's what you need to know*, *World Economic Forum*. Available at: <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/cryptocurrency-regulation-global-standard/> (Accessed: 9 October 2022).

Wood, D. D. (2014) 'Ethereum: A Secure Decentralised Generalised Transaction Ledger', in. *World University Rankings (2022) Quacquarelli Symons World University Rankings*. Available at: Quacquarelli Symons World University Rankings (Accessed: 5 September 2022).

Yaffe-Bellany, D. (2022) 'The Crypto World Is on Edge After a String of Hacks', *The New York Times*. Available at: <https://www.nytimes.com/2022/09/28/technology/crypto-hacks-defi.html?searchResultPosition=10>.

Yli-Huumo, J. *et al.* (2016) 'Where Is Current Research on Blockchain Technology?—A Systematic Review', *PLOS ONE*, 11(10), p. e0163477. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163477>.

Zhang, J. *et al.* (2016) 'Comparing keywords plus of WOS and author keywords: A case study of patient adherence research', *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 67(4), pp. 967–972. doi: <https://doi.org/10.1002/asi.23437>.

## Anexos

Cluster	Centralidade	Densidade	Rank Centralidade	Rank Densidade	Frequência
Blockchain	0,032	0,553	3	2	21583
Bitcoin	0,007	0,270	1	1	4597
Security	0,024	0,792	2	3	12032

### Anexo A- Mapa temático

De (2012-2016)	Para (2017-2022)	Keywords	Weighted Inclusion Index	Inclusion Index	Occorrências
bitcoin	bitcoin	bitcoin;cryptocurrency	0,55	0,25	164
bitcoin	blockchain	anonymity;trust;blockchain technology	0,05	0,03	11
bitcoin	security	cloud computing	0,01	0,03	3
blockchain	bitcoin	cryptocurrencies	0,05	0,25	13
blockchain	blockchain	blockchain;ethereum;smart contracts;smart contract;iot;decentralization;healthcare;smart city	0,42	0,03	71
blockchain	security	privacy;security;cryptography;internet of things;smart grid	0,14	0,03	12
cryptographic protocols	security	access control	0,40	0,50	2
mining	security	game theory	0,23	0,20	3
proof-of-work	blockchain	proof-of-work	0,45	0,25	5

### Anexo B – Evolução temática



Model 1 Gompertz, PI 95% Limit = 50000				Model 2 Fisher-Pry, PI 95% Limit = 50000				Model 3 Exponential, PI 95%				Model 4 Linear, PI 95%			
Model 1	PI Low	PI High		Model 2	PI Low	PI High		Model 3	PI Low	PI High		Model 4	PI Low	PI High	
.62	.02	8.42	n - 2	6.95	1.21	40.02	n - 2	7.84	1.08	57.13	n - 2	-4699.73	-14460.69	5061.23	n - 2
7.86	.63	55.92	9,	18.1	3.32	98.52	9,	19.39	2.83	132.62	9,	-2590.02	-12043.2	6863.16	9,
56.09	8.36	248.04		47.1	9.03	244.75		47.91	7.36	311.73		-480.31	-9687.	8726.38	
257.49	60.79	799.63	Alpha	122.48	24.3	612.57	Alpha	118.4	18.87	742.68	Alpha	1629.4	-7397.1	10655.9	Alpha
839.74	278.29	2003.27	,05	317.72	64.48	1534.94	,05	292.6	47.7	1704.86	,05	3739.11	-5177.53	12655.75	,05
2100.58	895.45	4112.88		819.07	188.69	3786.54		723.13	118.77	4402.56		5848.82	-3030.9	14728.53	
4277.58	2201.07	7217.19	T alpha	2078.47	434.08	8841.03	T alpha	1787.11	291.34	10962.35	T alpha	7958.53	-958.11	16875.17	T alpha
7426.1	4403.87	11191.36	2,26	5074.51	1093.66	18163.85	2,26	4416.59	704.09	27704.18	2,26	10068.24	1041.74	19094.74	2,26
11391.38	7526.56	15745.88		11365.01	2688.76	30273.6		10914.99	1677.44	71023.21		12177.95	2971.26	21384.63	
15874.6	11399.11	20526.55	X Average	21688.79	6159.15	40342.75	X Average	26974.86	3942.8	184549.65	X Average	14287.65	4834.47	23740.83	X Average
20534.92	15732.64	25207.57	2017,	33306.07	12858.84	45999.03	2017,	66664.61	9152.72	485557.24	2017,	16397.36	6636.4	26158.32	2017,
25072.77	20213.92	29546.26		41930.02	22895.56	48482.97		164752.27	21007.51	1292076.64		18507.07	8382.64	28631.51	
29272.35	24574.95	33397.63	Sum Xsquare	46559.16	33566.89	49448.36	Sum Xsquare	407162.23	47729.54	3473343.31	Sum Xsquare	20616.78	10078.94	31154.63	Sum Xsquare
33008.34	28625.02	36702.39	44751289,	48620.29	41525.56	49803.48	44751289,	1006244.6	107469.65	9421526.48	44751289,	22726.49	11730.93	33722.05	44751289,
36231.46	32253.02	39463.8		49461.05	46054.62	49930.8		2488793.03	240070.	25759735.02		24836.2	13343.91	36328.49	
38946.64	35413.56	41723.79	se	49791.67	48254.05	49975.82	se	6145761.77	532562.35	70922000.63	se	26945.91	14922.72	38969.1	se
41192.	38108.11	43543.7		1	49919.8	49243.42	49991.6	15188392.13	1174263.79	196452688.99	,76	29055.62	16471.67	41639.57	3758.22
43022.36	40367.27	44990.86		49969.17	49674.41	49997.1		37535990.53	2575492.69	547060603.99		31165.33	17994.58	44336.08	
44497.88	42236.98	46130.36	Coef Det (R <sup>2</sup> )	49988.16	49860.01	49999	Coef Det (R <sup>2</sup> )	92764959.8	5622743.55	1530451761.03	Coef Det (R <sup>2</sup> )	33275.04	19494.78	47055.	Coef Det (R <sup>2</sup> )
45677.12	43768.88	47020.79	,99	49995.45	49939.72	49999.66	,96	229255646.25	12225993.25	4298886010.83	,94	35384.75	20975.14	49794.34	,79
46613.27	45014.22	47712.45		49998.25	49973.99	49999.88		566573320.9	26490346.39	12117822971.39		37494.45	22438.16	52550.75	
47352.58	46020.47	48247.24	F-test	49999.33	49988.75	49999.96	F-test	1400206857.28	57220000.84	34263880013.05	F-test	39604.16	23885.98	55322.35	F-test
47934.08	46829.71	48659.23	698,48	49999.74	49995.12	49999.99	221,62	3460415750.04	123261518.97	97146921953.3	154,06	41713.87	25320.43	58107.31	34,66
48390.03	47478.14	48975.73		49999.9	49997.88	50000,		8551934380.88	264890640.79	276097265787.57		43823.58	26743.11	60904.06	
48746.67	47996.23	49218.34		49999.96	49999.08	50000,		21134911796.07	568048986.34	786348549811.9		45933.29	28155.37	63711.21	

Anexo C - Comparação entre modelos

Gompertz	d	K	a	tm	r	SSE	RMS	MAD	MAPE	SE	ln[MLE]	AICc	R <sup>2</sup>	p	1%	10%	37%	75%	90%	99%	
Curva S	Phase 1•	0.000	32636	3.52	2020	0.420	229885	196	152	0.0225	277	-40.2	98.3	0.999	2.04e-7	2016	2018	2020	2023	2025	2031
		[0.00 – 0.00]	[27873 – 49027]	[2.8 – 5.3]	[2019 – 2021]	[0.53 – 0.28]	[2262192 – 2400413]	[614 – 633]	[501 – 549]	[0.12 – 0.12]	[868 – 895]	[-47 – -47]	[113 – 113]	[NaN – NaN]	[NaN – NaN]	[2017 – 2016]	[2018 – 2018]	[2020 – 2021]	[2022 – 2025]	[2024 – 2029]	[2028 – 2036]
		median: 0.00	median: 36551	median: 3.9	median: 2020	median: 0.38	median: 553261	median: 304	median: 226	median: 0.029	median: 429	median: -43	median: 104	median: NaN	median: NaN	median: 2016	median: 2018	median: 2020	median: 2023	median: 2026	median: 2032

### Anexo D – Estatísticas da modelação da curva