

Recebido em: 15/07/2024

Aceito em: 16/11/2024

DOI: 10.25110/rcjs.v27i2.2024-11455



SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA E PRODUÇÃO DE CRIPTOMOEDAS

ENERGY SUSTAINABILITY AND CRYPTOCURRENCY PRODUCTION

Alejandro Knaesel Arrabal

Doutor em Direito Público pelo Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade do Vale dos Sinos – UNISINOS. Mestre em Ciências Jurídicas pela Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI. Especialista em Direito Administrativo pela Universidade Regional de Blumenau – FURB. Docente dos Programas de Mestrado em Direito (PPGD) e Administração (PPGAd) da FURB. Líder do grupo de pesquisa Direito, Tecnologia e Inovação – DTIn (CNPq-FURB). Vice-líder do Grupo de Pesquisa SINJUS - Sociedade, Instituições e Justiça (CNPq-FURB). Membro do grupo de pesquisa Constitucionalismo, Cooperação e Internacionalização - CONSTINTER (CNPq-FURB). Membro da AGIT – Agência de Inovação Tecnológica da Universidade Regional de Blumenau – FURB.

arrabal@furb.br

<https://orcid.org/0000-0002-0927-6957>

Ubirajara Martins Flores

Mestre em Direito Público pelo Programa de Pós-Graduação em Direito da Universidade Regional de Blumenau – FURB. Especialista em Direito Público e em Gestão Universitária pela Universidade Regional de Blumenau – FURB. Integrante do grupo de pesquisa Estado, Sociedade e Relações Jurídicas Contemporâneas (CNPq-FURB).

bira@furb.br

<https://orcid.org/0000-0002-5887-7839>

Davi Tiskoski Serratine

Graduado em Direito pela Universidade Regional de Blumenau – FURB. Pós-graduando em Advocacia Cível pela Escola Brasileira de Direito – EBRADI. Advogado na Serratine Advocacia & Consultoria Jurídica.

daviserratine@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6598-0877>

RESUMO: O trabalho aborda a questão da sustentabilidade energética caracterizada como um vetor de significativa relevância ambiental, frente aos potenciais impactos da produção de criptomoedas, atividade diretamente vinculada a massiva operação de computadores, configurações de hardware e métodos computacionais envolvidos. Procura-se descrever as implicações para o meio ambiente natural em decorrência do crescente mercado de criptoativos, além de apontar os projetos e iniciativas orientadas a prover condições para o desenvolvimento das chamadas tecnologias verdes. O trabalho revela o caráter ainda muito recente dos estudos e relatórios publicados sobre a relação entre produção de criptomoedas e potenciais impactos ambientais, o que compromete diagnósticos mais precisos para orientar a formulação de políticas públicas, adequadas as especificidades do setor. De todo modo, constata-se a existência de iniciativas por parte dos atores envolvidos, voltadas ao desenvolvimento e uso de tecnologias ambientalmente sustentáveis.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade Energética; Criptomoedas; Eletricidade; Tecnologias Verdes.

ABSTRACT: The work addresses the issue of energy sustainability, characterized as a vector of significant environmental relevance, considering the potential impacts of cryptocurrency production, an activity directly linked to the massive operation of computers, hardware configurations, and computational methods involved. It seeks to describe the implications for the natural environment due to the growing cryptocurrency market, as well as to highlight projects and initiatives aimed at providing conditions for the development of so-called green technologies and green cryptocurrencies. The work reveals the still very recent nature of the studies and reports published on the relationship between cryptocurrency production and potential environmental impacts, which hinders more precise diagnostics to guide the formulation of sector-specific public policies. Nevertheless, there is evidence of initiatives by the involved parties focused on the development and use of environmentally sustainable technologies.

KEYWORDS: Environmental Sustainability; Cryptocurrencies; Electricity; Green Technologies.

Como citar: ARRABAL, Alejandro Knaesel; FLORES, Ubirajara Martins; SERRATINE, Davi Tiskoski. Sustentabilidade Energética E Produção De Criptomoedas. *Revista de Ciências Jurídicas e Sociais da UNIPAR*, Umarama, v. 27, n. 2, p. 385-408, 2024.

INTRODUÇÃO

A humanidade já compreende a estreita e complexa relação entre os diversos seres e elementos que constituem o planeta. Entretanto, a inconclusão e inquietude existenciais lançam o homem ao protagonismo da transformação do ambiente e de si mesmo, o que mantém latente a necessidade de instituir parâmetros e limites sobre o agir.

Inovar é a tônica do século XXI, assim como é a sustentabilidade, a fim de proporcionar existência planetária digna a todos. Para Sachs (2009), o desenvolvimento sustentável assume caráter multidimensional, na medida que as expectativas de mudança e preservação se projetam de forma integrada nos planos social, cultural, ecológico, ambiental, territorial, econômico e político. Nesse contexto, a sustentabilidade diz respeito ao equilíbrio dos inúmeros sistemas ambientalmente naturais com os sistemas artificiais produzidos pela humanidade, como verifica-se no estreito vínculo entre os fenômenos climáticos e a matriz energética global. O contemporâneo, repleto de artefatos tecnológicos que possibilitam comunicação plena e imediata, evidencia o desafio de reconhecer a importância do diálogo entre o que é local e global do que é privado e público; do que é natural e artificial.

Herdeiras dos sistemas de códigos que integram o desenvolvimento das tecnologias de informação, as criptomoedas surgiram como alternativa descentralizadora frente ao modelo monetário estatal. Na condição de unidade de valor, sua “emissão” é tecnicamente diferenciada. Presente apenas no plano digital, ela decorre de engendramentos algorítmicos sofisticados, os quais exigem robusto processamento computacional dedicado à resolução de equações matemáticas complexas. Ocorre que a realização desses processos, por sua vez, demanda quantidade considerável de energia, o que diz respeito a realidade ambiental. Recente estudo publicado pela revista *Nature* afirma que cada US\$ 1 em valor de Bitcoin criado foi responsável por US\$ 0,35 em danos climáticos globais (Jones; Goodkind; Berrens, 2022). Por outro lado, o Conselho de Mineradores de Bitcoins formado por 51 organizações de 5 continentes publicaram dados também recentes que, entre outros aspectos, afirmam a liderança da “indústria de Bitcoins” em sustentabilidade ambiental,

considerando que 59,4% dos players do setor usam fontes sustentáveis de energia (Bitcoin Mining Council, 2022)

Tendo em vista esses fatores, propõe-se aqui observar as condições a partir das quais o fenômeno de produção de criptomoedas gera (ou não) impactos à sustentabilidade energética e, por consequência, ao meio ambiente natural. Realizada predominantemente por meio de revisão sistemática de dados indiretos disponíveis em revistas científicas, bases de dados administrativos e legislativos, portais de notícias e de organizações do setor de criptomoedas, a pesquisa resultou no presente artigo estruturado em três partes.

A primeira parte do estudo oferece o conceito de criptomoeda e discorre sobre as peculiaridades de sua produção. A segunda traz um breve relato histórico sobre a eletricidade, assim como aborda o seu conceito e importância estrutural para a microeletrônica e para a emergência da era da Informação. Apresenta também elementos sobre a matriz energética global, sua relação com as tecnologias informacionais e de produção de criptomoedas, bem como menciona as iniciativas regulatórias norte americana e europeia do setor. Por fim, o conceito de tecnologia verde é tratado na terceira parte, assim como um recorte dos projetos que integram o conceito de criptoativos verdes, com especial atenção à plataforma Algorand.

1 CRIPTOMOEDAS

A subsistência humana pressupõe diversidade de recursos cujo acesso envolve trocas, mediadas a muito tempo por objetos que representam unidade de valor. Consta que aproximadamente nos anos 600 a. C., na Ásia Menor Ocidental, surgiram as primeiras moedas feitas de uma liga natural de ouro e prata chamada *electro*¹, e dotadas de marcações de valor em sua superfície, “cunhadas” pelas autoridades reinantes. Observa-se que “as moedas de eletro mais antigas se caracterizam pela precisão no peso e na liga de ouro e prata. Agregada ao suporte oficial simbolizado pela figura nelas impressa, pretendia

¹ É curioso para o presente estudo que a palavra *Electro*, originariamente associada a criação da moeda, tenha evoluído etimologicamente para designar a palavra eletricidade. Isso porque “os romanos designavam com esta palavra tanto a liga de prata e ouro como o âmbar, uma resina fóssil que possui a propriedade de se eletrizar” (Sánchez, 2020, n. p.).

conferir à moeda um valor fixo e superior ao do metal que continha” (Sánchez, 2020).

Da designação clássica como objeto de representação de valor – materialmente feito de algum metal – a palavra “moeda” passou a referir também o próprio meio para realização de transações monetárias, independentemente de sua forma (metal, cédula ou assemelhada). Com a crescente informatização do sistema financeiro, tornou-se cada vez mais comum o fluxo monetário a partir de operações realizadas por meio digital.

A capilaridade das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), em parte devida ao crescente uso dos dispositivos móveis no início do século XXI, associada a exponencial capacidade de processamento dos computadores e sua conectividade em rede, possibilitou o implemento concreto de novas formas de representação/circulação de unidades monetárias, como é o caso do Bitcoin (BTC). Trata-se da primeira criptomoeda que obteve notoriedade².

Criada Satoshi Nakamoto³, sua concepção técnica encontra-se no *whitepaper* publicado em 2008 “*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*” (BITCOIN PROJECT, 2009). Além do Bitcoin, inúmeras criptomoedas foram posteriormente desenvolvidas. Embora não seja possível precisar o número, portais de investimentos como CoinMarketCap (2022) indicam um montante atual superior a vinte mil.

Para efeito do presente estudo, é possível afirmar que uma criptomoeda consiste em uma unidade de valor financeiro, implementada por meio de técnicas criptográficas computacionais.

A dinâmica de produção de criptomoedas, em especial do Bitcoin, é conhecida como “mineração”, evidente metáfora do processo de extração de minérios e cuja identidade simbólica diz respeito, de modo amplo, aos custos

² “Embora o Bitcoin tenha sido a primeira modalidade de dinheiro digital a conseguir sucesso em seu funcionamento de mais larga escala, o tema e seus desdobramentos práticos foram alvo de pesquisa e comentários por diversos matemáticos, criptógrafos, cientistas da computação e até mesmo alguns economistas ao longo das últimas três décadas.” (ALEIXO, 2017).

³ “Desde a época em que o bitcoin foi criado, e posteriormente implementado em 2009, a identidade de Satoshi Nakamoto se manteve anônima. Por meio de um pseudônimo utilizado para se identificar na internet, a pessoa ou o grupo de pessoas responsável por criar a primeira criptomoeda nunca se revelaram ao público. O próprio pseudônimo, que se fez presente em fóruns e sites na época, logo deixou de aparecer, deixando uma carteira digital com o equivalente a bilhões de dólares sem movimentação. Atualmente, Satoshi Nakamoto se transformou em um verdadeiro mistério que habita as mentes da comunidade cripto.” (SILVA, 2022).

de operação envolvidos. A mineração digital demanda o emprego de computadores com alta capacidade de processamento de dados, a fim de realizar operações matemáticas com a maior velocidade possível.

Do ponto de vista técnico, a mineração de criptomoedas corresponde a um processo de integralização de transações “encadeadas” a outras, constituindo uma rede Blockchain, envolvendo cálculos matemáticos robustos (Exame Invest, 2022). É possível realizar uma comparação “grosseira” da mineração com a impressão de dinheiro físico, todavia, a diferença entre os dois sistemas é que na Blockchain, o processo de produção de criptomoedas é descentralizado, o que possibilita, *a priori*, qualquer pessoa participar da “emissão de moedas”, diferente portanto do sistema bancário centralizado.

Para compreender como funciona a mineração de criptomoedas, é preciso entender como ocorrem as transações de uma Blockchain como a do Bitcoin. [...] Quando o usuário envia uma criptomoeda ou partes dela para outra pessoa, essa transferência fica registrada na Blockchain dentro de um bloco semelhante a um cofre. Esse bloco, assim que fica cheio de transações de vários usuários, precisa ser “selado” com um identificador, que funciona como um cadeado. Na ciência da computação, isso é chamado de *hash*. Quem coloca a *hash* no bloco (ou o cadeado no cofre) são os mineradores – nome das pessoas e empresas que usam seus computadores para ajudar a manter todo o sistema. [...] Para encontrar a *hash* correta de um bloco, no entanto, os mineradores precisam resolver complexos problemas matemáticos. [...] quanto mais pessoas tentam minerar, mais poder computacional é necessário para se encontrar a solução. Depois que um minerador finaliza o cálculo e acha o resultado, ele apresenta para toda a rede. Se os outros membros disserem “ok, está correto”, o novo bloco é adicionado a cadeia. Depois disso, começa uma nova competição pela verificação do bloco seguinte, e assim por diante (Infomoney, 2022b).

Como a mineração de Bitcoins é uma espécie de “competição”, quanto mais poderosa a capacidade de processamento computacional, maior a chance de sucesso. Em razão desse fato, desdobram-se os problemas de caráter ambiental. A obtenção de melhor capacidade de processamento computacional demanda maior número de equipamentos, o que impacta na exploração de recursos naturais pela indústria de equipamentos eletrônicos⁴⁴.

Centros de Processamento de Dados (CPDs – também chamados *Data Centers*) foram criados especialmente para prover a mineração de

⁴⁴ A obtenção dos minérios empregados na indústria de microeletrônica e semicondutores pressupõe a atividade de extração mineral que, por sua vez, gera impactos ambientais significativos, a exemplo do desmatamento das áreas que contém o minério, a alteração da topográfica, da fauna e da flora na área de extração, o depósito de rejeitos tóxicos, entre outros impactos (Bonfim, 2017).

criptomoedas, contendo muitos supercomputadores com placas de vídeo de última geração, capazes de validar diversos novos blocos, gerando assim recompensas competitivas na forma de criptoativos. Trata-se de “grandes instalações utilizadas para abrigar sistemas computadorizados ou componentes associados, como sistemas de telecomunicações e armazenamento” (Figueiredo, 2016).

A revolução proporcionada pela microeletrônica e pelos sistemas de telecomunicação deu origem aos complexos *Data Centers* que utilizam eletricidade em grandes quantidades para alimentar operações de computadores e garantirem o seu resfriamento. Servidores, redes e armazenamento em nuvem são partes cruciais da infraestrutura digital que processa informações que navegam pelo mundo para atender demandas organizacionais (Yergin, 2014).

Para manter sua atualização e funcionamento, os *Data Centers* demandam quantidade cada vez maior de energia (Lucivero, 2020), haja vista sua condição estratégica como estruturas que constituem o sistema nervoso central do Século 21, o denominado *Big Data* (Whitehead *et al*, 2014, p. 156). Em decorrência dos processamentos intensivos e fornecimentos ininterruptos que caracterizam os serviços digitais, exige-se que a operação dos *Data Centers* permaneça ativa 24 horas por dia, para que as operações ocorram nos prazos estabelecidos e com a garantia de segurança. (Geng, 2015, p. 15).

Abaixo imagens de dois *Data Centers* dedicados a mineração de criptomoedas. O primeiro localizado em Boden na Suécia e o segundo em Norilsk na Sibéria:

Imagem 1: “Blockchain HIVE” em Boden - Suécia



Fonte: Infomoney (2022a)

Imagem 2: “BitCluster” em Norilsk - Sibéria

Fonte: Infomoney (2022a)

Nessas estruturas, a demanda de energia elétrica provém dos supercomputadores e dos sistemas de refrigeração, necessários para preservar a vida útil dos equipamentos envolvidos diretamente na mineração, assim como na manutenção (*backup*) de todos os dados processados.

2 PROCESSAMENTO DE DADOS E SUSTENTABILIDADE ENERGÉTICA

Diferente do imaginário popular, a palavra “energia” designa um adjetivo e não um substantivo. Trata-se da *capacidade* de executar trabalho ou realizar ação. Na Física há muitos meios e condições a partir dos quais a energia pode manifestar-se, um deles diz respeito a eletricidade. A *corrente* elétrica consiste no movimento de elétrons, cujo fluxo e o efeito eletromagnético (entre outros⁵), são responsáveis por dinamizar motores e equipamentos de inúmeras ordens.

No ano de 1752, o polímata norte americano Benjamin Franklin realizou o famoso experimento, içando uma chave amarrada a um fio de pipa em uma tempestade (IER, 2020). Ele comprovou que o raio é uma corrente elétrica de grandes proporções, lançando a ideia básica para a criação do para-raios (Heinisch, n. d.). Nesta época (e mesmo antes) a eletricidade era conhecida, mas pouco compreendida. Os primeiros avanços no domínio desse campo ocorreram em 1831, quando o cientista britânico Michael Faraday

⁵ Há também outros efeitos como: Joule, eletroquímico, luminoso e fisiológico (Lourenço; Silva; Silva Filho, 2007)

descobriu, de fato, os princípios básicos para gerar eletricidade. Tendo como base os experimentos de Benjamin Franklin, Faraday observou que poderia “criar” uma corrente elétrica utilizando-se de ímãs dentro de uma bobina com fios de cobre. Assim, Faraday descobriu a indução eletromagnética, revolucionando o processo de geração e uso de energia (IER, 2020).

Tempos depois, em 1879, já nos Estados Unidos, Thomas Edison fundou a empresa Edison *Illuminating Company* e somente três anos depois inaugurou sua primeira usina elétrica (Iberdrola, 2022). Desde então, a energia elétrica tornou-se um componente fundamental para o desenvolvimento tecnológico e, ao lado de outros experimentos e progressos no campo da química, representa o marco da segunda revolução industrial.

Gradualmente o mundo testemunhou a eletrificação de inúmeras atividades e processos produtivos. Um dos benefícios mais explícitos foi a luz elétrica. Na Exposição Mundial de 1900 em Paris, pela primeira vez a eletricidade iluminou a Torre Eiffel com a instalação de 5 mil lâmpadas dispostas sobre a sua estrutura (Pariscityvision, 2019).

Boss (2018) comenta que na Suíça, “país com a maior produção de eletricidade per capita” em 1910, ela possibilitou a mecanização de pequenas empresas e artesãos que, antes, não tinham a possibilidade de adquirir máquinas a vapor.

Nas décadas de 1970 e 1980, a sociedade enfrentou crises energéticas que passaram a exigir investimentos em fontes alternativas de geração de energia, como usinas atômicas, hidrelétricas ou eólicas para aumentar a produção. O debate sobre eficiência energética esteve integrado às expectativas de sustentabilidade. Em 1972 ocorreu a Conferência de Estocolmo, um marco histórico da sustentabilidade mundial que lançou as diretrizes iniciais acerca da necessidade de limites à degradação ambiental.

No transcurso dos séculos XIX e XX, o domínio da eletricidade estabeleceu as condições fundamentais para a emergência da eletrônica, posteriormente da microeletrônica, e com elas, dos instrumentos e das infraestruturas globais de telecomunicação e da informática. Atualmente, a produção, reprodução e fluxo de dados envolvem *Data Centers*, infraestruturas corporativas e computadores, smartphones e dispositivos IoT. Estima-se para este cenário um incremento de 530% até 2025, ou seja, um

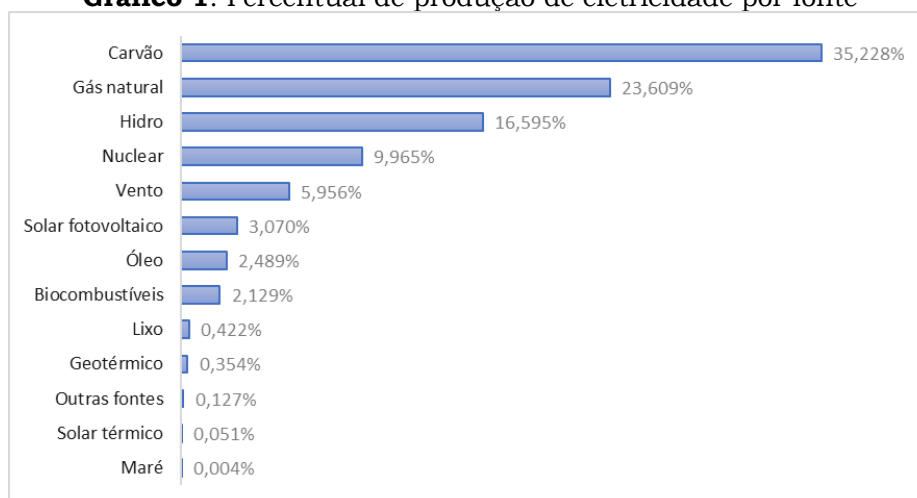
crescimento de 33 Zettabytes (ZB) em 2018 para 175 ZB em 2025 (Reinsel; Gantz; Rydning, 2018).

Cinquenta anos após a Conferência de Estocolmo, apesar da operacionalização de suas diretrizes, viceja uma crise ecológica de proporções globais (Reichmann, *et al.*, 2012). Como reflexo da última revolução computacional, nos últimos dez anos a economia mundial voltou sua atenção (e operação) para o Big Data (Lucivero, 2018) e, ironicamente, o alto consumo de eletricidade no processamento e armazenamento de dados (por meio de smartphones, redes sociais, migração de processos e serviços para o meio digital) tem agravado a crise (Rifkin, 2019).

Ao conceber o sistema digital no campo das telecomunicações, Claude Shannon definiu o horizonte técnico da Sociedade da Informação (Soni; Goodman, 2018), termo que substitui o conceito de Sociedade Pós-industrial, na medida que a tônica diz respeito a informação como insumo determinante (Werthein, 2000). Contudo, é necessário considerar que há uma intrínseca relação entre a demanda de fluxo e processamento de dados articuladas via computadores em rede e a demanda energética que os mantêm.

Segundo dados da *International Energy Agency* referentes a 2020 (IEA, 2022) são gerados no mundo aproximadamente 27 milhões de GWh (Gigawatt-hora). Como se observa no gráfico abaixo, a matriz global responsável pela geração de eletricidade é composta por diversas fontes de energia, sendo que mais de 50% do provimento diz respeito a fontes não renováveis (Carvão e Gás natural).

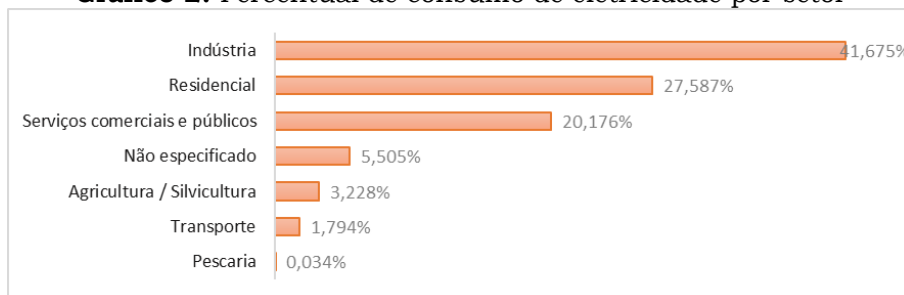
Gráfico 1: Percentual de produção de eletricidade por fonte



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados da IEA (2022)

Já em relação à demanda por eletricidade, os maiores percentuais encontram-se na indústria, no contexto residencial e nos serviços.

Gráfico 2: Percentual de consumo de eletricidade por setor



Fonte: elaborado pelos autores a partir de dados da IEA (2022)

Schwab (2016) considera que uma das principais características da realidade tecnológica contemporânea, referida por ele como a quarta revolução industrial, diz respeito ao fato de a informática atuar como uma espécie de catalizador que combina diversos saberes e atividades. Nesse sentido, a capilaridade da informatização é um fato que, entre outros aspectos, torna mais estreita a relação entre as tecnologias digitais e a produção de energia elétrica.

A demanda por serviços digitais está crescendo rapidamente. Desde 2010, o número de usuários da Internet em todo o mundo mais que dobrou, enquanto o tráfego global da Internet aumentou 20 vezes. As rápidas melhorias na eficiência energética, no entanto, ajudaram a moderar o crescimento da demanda de energia de *Data Centers* e redes de transmissão de dados, que respondem por 1-1,5% do uso global de eletricidade. (IEA, 2022a).

Ao passo que as tecnologias informacionais são recebidas com grande ânimo, o armazenamento de dados e a automação de atividades e de serviços exige grandes instalações e recursos naturais finitos como água e energias não renováveis. A sociedade digital e a economia eletrônica estão distantes de atingir seu limite de consumo, pois, ao tempo em que a disponibilidade de equipamentos, serviços e a população mundial crescem, cresce junto a necessidade de fontes de energia (Cardoso, 2017).

No contexto específico das criptomoedas, o entusiasmo no setor tem fomentado a criação de máquinas e estruturas próprias, o que aponta a necessidade de dimensionar a evolução das organizações e práticas

envolvidas, a fim de avaliar o emprego de medidas que possam reduzir os impactos ambientais relacionados.

Criptoativos podem exigir quantidades consideráveis de uso de eletricidade, o que pode resultar em emissões de gases de efeito estufa, bem como poluição adicional, ruído e outros impactos locais para comunidades que vivem perto de instalações de mineração. (The New York Times, 2021).

Um levantamento realizado pela Universidade de Cambridge aponta que a atividade de mineração, especificamente de Bitcoin, através dos centros de mineração espalhados pelo mundo, consome mais energia que toda a Argentina, sendo a mineração de *cripto* consumidora de aproximadamente 130,9 Terawatt-horas por ano, e a Argentina aproximadamente 125 Terawatt-horas por ano. O consumo de energia elétrica proveniente da mineração do bitcoin, além de ser maior que o consumo anual de energia da própria Argentina, é também maior do que países como Holanda (108,8 TWh) e Emirados Árabes Unidos (113,20 TWh), e ainda é capaz de alimentar todas as chaleiras utilizadas no próprio Reino Unido, por 27 (vinte e sete) anos. (Criddle, 2021).

O desempenho atual dos *Data Centers* exige 2% da produção mundial de energia elétrica (Rodriguez, 2022, n. p.), de modo que a manutenção da espinha dorsal do *Big Data*, que processa uma infinidade de informações, tem relação direta com o consumo de energia, emissão de CO₂, produção de resíduos e, nesse sentido, exige alternativas de equilíbrio no que diz respeito à sustentabilidade.

Por outro lado, Simon (2022, n. p.) informa que, diferente dos *Data Centers* tradicionais que orientam seus recursos técnicos em “disponibilidade e confiabilidade - uma necessidade para a maioria dos outros *Data Centers* - as instalações de criptografia se concentram principalmente na otimização do custo do desempenho da computação”, o que aponta para um diferencial em termos de consumo de energia elétrica.

Em terras norte-americanas, por ato do poder executivo federal, em 14 de março de 2022, foram determinadas diversas ações com vistas a “garantir o desenvolvimento responsável de ativos digitais”. Entre outras obrigações, foi exigido ao Diretor do Escritório de Política de Ciência e Tecnologia e ao Diretor de Tecnologia dos Estados Unidos, em consulta ao Secretário do Tesouro, ao

Presidente do *Federal Reserve* e aos chefes de outras agências relevantes, encaminhar à Presidência um relatório de avaliação técnica para orientar a adoção de medidas no setor (United States of America, 2022a). Publicado em setembro de 2022, o documento aponta de modo geral para a adoção das seguintes medidas:

- a. iniciar um processo colaborativo com estados, comunidades, a indústria de criptoativos e outros para desenvolver políticas ambientais eficazes e baseadas em evidências, focadas em padrões de desempenho para o desenvolvimento e uso ambientalmente responsáveis de criptoativos;
- b. realizar avaliações de confiabilidade das operações de mineração de criptoativos atuais e previstas;
- c. por parte da *Energy Information Administration*, coletar e analisar informações de mineradores de criptoativos e concessionárias de energia elétrica a fim de possibilitar a tomada de decisão baseadas em evidências sobre as implicações dos criptoativos em relação a energia e ao clima;
- d. instituir e atualizar periodicamente, padrões de conservação de energia para equipamentos de mineração de criptoativos, *blockchains* e outras operações análogas;
- e. incentivar os empreendedores de criptoativos que tornem pública informações sobre os locais de mineração de criptoativos, o uso anual de eletricidade, entre outros aspectos;
- f. investir em P&D para aumentar a precisão de estimativas no setor, bem como para melhorar a sustentabilidade ambiental de ativos digitais, incluindo modelagem de impacto de criptoativos, avaliação de impactos de justiça ambiental e compreensão de usos benéficos para gerenciamento de rede e mitigação ambiental (OSTP, 2022).

Por sua vez, a União Europeia caminha para a regulamentação de criptoativos (MiCA - *Markets in Crypto-Assets*). Orientada a proteção dos consumidores, a normativa proposta estabelece fortes requisitos aos provedores de serviços de criptoativos, a fim de proteger carteiras e serem

responsabilizados, caso percam os criptoativos dos investidores (Council Of The European Union, 2022b).

Os atores do mercado de criptoativos serão também obrigados a declarar informações sobre impactos ambientais e climáticos. A ESMA - *European Securities and Markets Authority*, irá desenvolver projetos de normas sobre conteúdo, metodologias e apresentação de informações relacionadas a impactos ambientais. A Comissão Europeia deverá prover um relatório de impacto ambiental dos criptoativos e a introdução de padrões mínimos obrigatórios de sustentabilidade (Council Of The European Union, 2022a).

3 TI VERDE E CRIPTOATIVOS VERDES

Com o propósito de reduzir o custo energético da mineração de criptoativos, surgiram propostas de produção de criptomoedas com emprego de energia limpa, “TI Verde” e projetos de criptoativos verdes (Martins, 2022)

As normas jurídico ambientais se preocupam “com todos os bens, sejam eles naturais ou não” (Milaré, 2020, p. 138). Nesse sentido, a adoção de práticas e recursos mais sustentáveis diz respeito a uma economia comprometida com a adequada alocação de recursos escassos (o que inclui os componentes eletrônicos), bem como o uso de fontes de energia livres de emissão poluentes (Lunardi; Simões; Frio, 2014).

O emprego de fontes renováveis de energia para reduzir danos e gastos energéticos tende a ser fomentada por governos a partir de incentivos fiscais e subsídios. No Brasil, o município de Maricá (2021) estabeleceu “regime diferenciado de tributação local para iniciativas de proteção ambiental, como as chamadas ‘moedas verdes’ (criptomoedas sustentáveis), fundos verdes e outros projetos”. Para Simon (2022, n. p.), “cada vez mais, grandes mineradores de criptomoedas também buscam reivindicar melhores credenciais de sustentabilidade e o uso de energia renovável tornou-se um foco recente”.

O termo “TI Verde” designa um conjunto de tecnologias e iniciativas orientadas à redução de custos da energia, refrigeração e despesas com operações computacionais (Lunardi; Simões; Frio, 2014). Implica na adoção de práticas sustentáveis e éticas, orientadas para a implementação de

políticas ambientais. O conceito envolve, por exemplo, aquisição de máquinas cujo desempenho proporcione o menor consumo de energia possível⁶, emprego de materiais não poluentes ou renováveis, entre outros fatores.

A partir de Murugesan, consideram Lunardi, Simões e Frio (2014, p. 8) que a TI Verde compreende o estudo e a prática de “projetar, produzir, utilizar e descartar computadores, servidores e subsistemas associados tais como monitores, impressoras, periféricos de armazenamento e sistemas de rede e comunicação eficiente e eficazmente com o mínimo ou sem impacto ao meio-ambiente”. Diz respeito também a ponderar sobre a viabilidade econômica e aperfeiçoamento no uso e no desempenho dos recursos tecnológicos, o que inclui as dimensões de sustentabilidade ambiental, de eficiência energética e custos de propriedade que integram descarte e reciclagem.

Nesse contexto, Criptomoedas Verdes dizem respeito a plataformas de ativos digitais cujos recursos empregados e métodos de mineração acompanham os pressupostos da TI Verde. No cenário das iniciativas voltadas a esse propósito, cumpre destacar o *Crypto Climate Accord*. Inspirado no Acordo de Paris sobre o Clima (ONU, 2015) e proposto em 2021 por entidades privadas⁷, o acordo tem por objetivo geral “descarbonizar a indústria global de criptomoedas, priorizando a gestão climática e apoiando toda a transição da indústria de criptomoedas para emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2040” (Cripto Climate Accord, 2021).

Propostas de Criptomoedas Verdes, além de implicarem mudanças de estruturas físicas, envolvem diferenciais sobre os métodos e estratégias criptográficas adotadas. A título de exemplo, destaca-se aqui o caso da Criptomoeda Algorand.

Criada por Silvio Micali e Jing Chen, essa Criptomoeda é operada em uma rede Blockchain homônima que, por sua vez, é mantida pelas organizações Algorand Inc. e Algorand Foundation.

⁶ “A Intel anunciou um chip feito especialmente para aplicações blockchain, como mineração de Bitcoin ou criação de NFTs. Ele será o primeiro de uma nova linha de processadores, todos voltados para oferecer o máximo de eficiência energética.” (ELLIS, 2022, n. p.)

⁷ Essa data corresponde a criação do domínio <http://cryptoclimate.org>, cuja informação pode ser obtida no portal <https://lookup.icann.org/en>

A referida tecnologia é objeto de um depósito de pedido de patente norte americano de número *US2019/0147438A1*⁸ sob o título “*Distributed transaction propagation and verification system*”, protocolado em 4 de maio de 2017 (e ainda não concedido). Na mesma data solicitado protocolo internacional (PCT), a fim de garantir potencial direito de exclusividade sobre a tecnologia para depósitos em outros países, considerando a data do depósito em terras norte americanas.

Consta originariamente como titular da tecnologia⁹ Silvio Micali e na qualidade de autores o mesmo e Jing Chen. Além dos Estados Unidos, pedidos de patente da mesma tecnologia foram também protocolados nos seguintes países¹⁰: Singapura (SG); República da Coreia (KR); China (CN); Canadá (CA); Marrocos (MA); Japão (JP); Rússia (RU); Austrália (AU); e Israel (IL). Consta como patente concedida (até jan. 2023) apenas o depósito realizado no Japão, cuja vigência da exclusividade se estende até 4 de maio de 2037¹¹.

Poucos dias após o depósito do pedido de patente norte americano, foi publicado o respectivo *whitepaper* com o título “Algorand” (Micali; Chen, 2017b). Salvo análise mais apurada, não consta no teor desse documento aspectos de ordem ambiental¹². O mesmo é possível afirmar em relação ao pedido de patente destacado (Micali; Chen, 2017a). De modo diverso, no site da Algorand Inc. e da Algorand Foundation, é evidente o apelo à preservação ambiental, conforme observa-se nas imagens abaixo:

Imagem 3: Webpage da Algorand Inc.

⁸ Cumpre observar que há dezenas de referências complementares anteriores, associadas a essa reivindicação patentária, sejam de outras reivindicações, sejam de publicações científicas e acadêmicas.

⁹ Diz-se “titular” a pessoa física ou jurídica para quem é reconhecida a exclusividade patentária.

¹⁰ Tendo em vista que essas informações foram obtidas por meio do *Google Patents*, é possível eventualmente que existam outros depósitos, não identificados pela plataforma.

¹¹ Em inúmeros países, a vigência das patentes de invenção correspondem a 20 anos, contados da data do depósito no respectivo país, ou da prioridade correspondente a data do depósito no país de origem, hipótese essa aplicada ao caso.

¹² Não constam expressões como “*energy efficient*”, “*sustainable*”, “*sustainability*”, “*environment sustainable*” e “*green*”.



Fonte: Algorand Inc. (2023)

Imagem 4: Webpage da Algorand Foundation



Fonte: Algorand Foundation (2022)

É possível que a referida ausência dos aspectos ambientais nos textos técnicos decorra de uma “evidente presunção¹³” a respeito da eficiência energética no caso, considerando que a plataforma Algorand adota como base¹⁴ uma derivação de um protocolo de consenso referido como “Prova de Participação” (*Proof-of-Stake* – PoS), distinto do protocolo originariamente adotado na mineração de Bitcoins conhecido como “Prova de Trabalho” (*Proof of Work* – PoW).

Em linhas gerais, na Prova de Trabalho, a produção de criptomoedas exige equipamentos robustos para atender aos sofisticados desafios matemáticos que envolvem o processo. Na prova de participação não há essa exigência, o que pressupõe a redução significativa do consumo de energia para a produção de criptomoedas.

Em 2022, a plataforma Ethereum passou a adotar o protocolo PoS tendo em vista o interesse em ampliar a possibilidade de implementação de

¹³ Destacou-se a expressão na medida que tal presunção só é possível para técnicos da área.

¹⁴ O protocolo da Algorand foi denominado por Micali como “Pura Prova de Participação – PPoP”

novas soluções em escala, assim como reduzir o consumo de energia, entre outras motivações (Ethereum, 2022).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fenômeno das Criptomoedas é recente, embora sua base técnico-teórica remonte a segunda metade do século XX. Considerando a data de publicação de parcela das fontes citadas no presente estudo, a preocupação ambiental sobre o universo dos criptoativos surge com especial relevo nos últimos anos, o que é compreensível considerando que a primeira criptomoeda nasce apenas em 2008, com significativo crescimento de mercado em curto tempo.

No cenário internacional, o quadro regulatório do tema encontra-se ainda em desenvolvimento, até mesmo nos Estados Unidos (berço da informática), cuja preocupação ambiental a respeito da atuação de empresas do setor foi objeto de estudo governamental recente (United States Of America, 2022b).

Observa-se que a preocupação com a sustentabilidade ambiental frente ao desenvolvimento do mercado de criptomoedas é acompanhada de outras inquietações do setor relacionadas a garantias de direitos consumeristas, estabilidade do sistema financeiro, repressão a condutas criminosas, entre outras.

No Brasil, o primeiro marco legal para o mercado de criptoativos foi a pouco promulgado (Brasil, Lei nº 14.478, de 21 de dezembro de 2022), mas seu teor não integra questões ambientais. Na tramitação legislativa do projeto de Lei nº. 4.401/2021 correspondente a referida norma promulgada, foi aprovado pelo Senado Federal em 26 de abril 2022 (Senado Federal, 2022) o texto com acréscimo de um 15º artigo, no qual o Senado fez constar a isenção fiscal para máquinas e ferramentas destinadas a empreendimentos do setor que utilizarem 100% de energia elétrica de fontes renováveis e que neutralizem 100% das emissões de gases oriundas dessas atividades (Agência

Senado, 2022)¹⁵. Contudo, a inclusão da matéria não foi acolhida no seu retorno à Câmara dos Deputados (Netto, 2022).

Ainda que haja elementos para considerar que a produção de criptomoedas gera impactos ambientais de relevo, dado o uso massivo de energia elétrica, a publicação do relatório governamental norte americano (OSTP, 2022) em setembro de 2022, recomendando, entre outros aspectos, a realização de pesquisas na área, sugere a carência de estudos atuais consistentes que, baseados em evidências, possam orientar a criação de políticas públicas adequadas a realidade do setor.

De todo modo, iniciativas como *Crypto Climate Accord*, também o desenvolvimento de tecnologias que reduzem o consumo de energia na produção de criptoativos, como é o caso do modelo adotado pela Algorand, assim como políticas públicas à exemplo do município de Maricá no Rio de Janeiro, sugerem um horizonte otimista à sustentabilidade ambiental, em relação ao segmento de criptoativos.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA SENADO. Senado aprova mercado de criptomoedas com incentivo para energia renovável. **Agência Senado**, 26 abr. 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2022/04/26/senado-aprova-mercado-de-criptomoedas-com-incentivo-para-energia-renovavel>. Acesso em: 7 jan. 2023.

ALGORAND FOUNDATION. 2022. Disponível em: <https://www.algorand.foundation/>. Acesso em: 5 jan. 2023.

ALGORAND Inc. 2023. Disponível em: <https://www.algorand.com/>. Acesso em: 5 jan. 2023.

BITCOIN MINING COUNCIL. Global Bitcoin Mining Data Review Q3 2022. 18 out. 2022. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=bYoHCs_jDcM. Acesso em: 5 jan. 2023.

BITCOIN PROJECT. Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system. A Peer-to-Peer Electronic Cash System [NAKAMOTO, Satoshi], 2009. Disponível em: <https://bitcoin.org/en/bitcoin-paper>. Acesso em: 6 dez. 2022.

¹⁵ Após a quebra da corretora FTX ocorrida em novembro, o projeto passou a tramitar em regime de urgência e assuntos que suscitaram divergências ou demandariam maior tempo para debate foram retirados do texto.

BOSS, Stefan. Eletrificação gerou a segunda revolução industrial da Suíça. **Swissinfo.ch**, 18 Jul. 2018. Disponível em: https://www.swissinfo.ch/por/ciencia/história_eletrificação-gerou-a-segunda-revolução-industrial-da-suíça/44255112. Acesso em: 3 jan. 2023.

CARDOSO, Cássio. Energia e sustentabilidade em data centers. Artigo (Especialização Datacenter: projeto, operação e serviços) Unisul Virtual, 14 f., 2017. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/4014>. Acesso em: 26 set. 2022.

CARTER, Nic. How Much Energy Does Bitcoin Actually Consume? **Harvard Business Review**, 5 maio 2021. Disponível em: <https://hbr.org/2021/05/how-much-energy-does-bitcoin-actually-consume>. Acesso em: 5 out. 2022.

COINMARKETCAP. 2022. Disponível em: <https://coinmarketcap.com/pt-br/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Digital finance**: agreement reached on European crypto-assets regulation (MiCA). 30 jun. 2022a. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/30/digital-finance-agreement-reached-on-european-crypto-assets-regulation-mica/>. Acesso em: 3 jan. 2023.

COUNCIL OF THE EUROPEAN UNION. **Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on Markets in Crypto-assets, and amending Directive (EU) 2019/1937 (MiCA)**. Bruxelas, 5 out. 2022b. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2022/06/30/digital-finance-agreement-reached-on-european-crypto-assets-regulation-mica/>. Acesso em: 6 jan. 2023.

CRIDDLE, Cristina. Bitcoin consumes 'more electricity than Argentina'. Inglaterra, **BBC NEWS**, 10 fev. 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/technology-56012952>. Acesso em: 29 nov. 2022.

CRIPTO CLIMATE ACCORD, 2021. Disponível em: <https://cryptoclimate.org/>. Acesso em: 5 jan. 2023.

ELLIS, Nick. Intel lança chip com eficiência energética para minerar Bitcoin e criar NFTs. **Olhar Digital**, 14 fev. 2022. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2022/02/14/reviews/intel-lanca-chip-com-eficiencia-energetica-para-minerar-bitcoin-e-criar-nfts/>. Acesso em: 3 jan. 2023.

ETHEREUM. Prova de Participação (PoS), 5 dez. 2022. Disponível em: <https://ethereum.org/pt-br/developers/docs/consensus-mechanisms/pos/>. Acesso em: 3 jan. 2023.

EXAME INVEST, Como minerar bitcoin? Entenda o processo de mineração de criptomoedas. São Paulo: **Exame Invest**, 21 jul. 2022. Disponível em: <https://exame.com/invest/guia/bitcoin-mining-saiba-como-funciona-a-mineracao-de-bitcoin/>. Acesso em: 6 dez. 2022.

FIGUEIREDO, Ênio. Centro de processamento de dados e Consumo de Energia. **Redes Tecnologia**, 8 dez. 2016. Disponível em: <https://redestecnologia.com.br/centro-de-processamento-de-dados-e-consumo-de-energia/>. Acesso em: 6 out. 2022.

GENG, Hwaiyu. **Data center handbook**. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2015.

HEINISCH, Carsten. 1752: Benjamin Franklin inventa o para-raios. **D. W.**, [n. d.] Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/1752-benjamin-franklin-inventa-o-para-raios/a-314478>. Acesso em: 2 jan. 2023.

IBERDROLA. História da eletricidade: 150 anos de caminhada rumo à sustentabilidade. **Iberdrola**, 2022. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/historia-eletricidade>. Acesso em: 12 nov. 2022.

IEA. International Energy Agency. **Data Centres and Data Transmission Networks**. IEA: Paris, 2022a. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>. Acesso em: 6 out. 2022.

IEA. International Energy Agency. **Energy Statistics Data Browser**. IEA: Paris, 2022b. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=ElecGenByFuel>. Acesso em: 6 out. 2022.

IER. Institute for Energy Research. History of Electricity, [n. d.]. Disponível em: <https://www.instituteforenergyresearch.org/history-electricity/>. Acesso em: 5 set. 2022.

INFOMONEY. Como é uma fazenda de mineração de Bitcoin? **Infomoney CoinDesk**, 22 abr. 2022a. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/mercados/como-e-uma-fazenda-de-mineracao-de-bitcoin-veja-fotos-impressionantes-de-instalacoes-na-russia-e-outros-5-paises/>. Acesso em: 15 nov. 2022.

INFOMONEY. O que é mineração de criptomoedas? Entenda como funciona. **Infomoney CoinDesk**, 2022b. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/guias/mineracao-de-criptomoedas/>. Acesso em: 2 dez. 2022.

JONES, Benjamin A.; GOODKIND, Andrew L.; BERRENS, Robert P. Economic estimation of Bitcoin mining's climate damages demonstrates closer resemblance to digital crude than digital gold. **Nature**, 29 set. 2022 Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-18686-8>. Acesso em: 4 jan. 2023.

LOURENÇO, Sérgio Ricardo; SILVA, Thadeu Alfredo Farias; SILVA FILHO, Silvério Catureba da. Um estudo sobre os efeitos da eletricidade no corpo humano sob a égide da saúde e segurança do trabalho, **Exacta**, v. 5, n 1, p. 135-143, jan.-jun, 2007. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/810/81050114.pdf> Acesso em: 2 jan. 2023.

LUCIVERO, Frederica. Big Data, Big Waste? A Reflection on the Environmental Sustainability of Big Data Initiatives. **Science and Engineering Ethics**, v. 26, p. 1009–1030, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11948-019-00171-7>. Acesso em: 8 jan. 2023.

LUNARDI, Guilherme Lerch; SIMÕES, Renata; FRIO, Ricardo Saraiva. TI verde: uma análise dos principais benefícios e práticas utilizadas pelas organizações. **REAd. Revista Eletrônica de Administração**, v. 77, n. 1, jan./abr. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-23112014000100001>. Acesso em: 7 ago. 2022.

MARICÁ. Maricá cria regime especial de tributação para “moedas verdes” e iniciativas ambientais. 31 dez. 2021. Disponível em: <https://www.marica.rj.gov.br/noticia/marica-cria-regime-especial-de-tributacao-para-moedas-verdes-e-iniciativas-ambientais/>. Acesso em: 3 jan. 2023.

MARTINS, Lucas Gabriel. Criptomoedas verdes: como o mercado cripto está passando de vilão a mocinho do meio ambiente. **Infomoney**, 30 ago. 2022. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/mercados/criptomoedas-verdes-como-o-mercado-cripto-esta-passando-de-vilao-a-mocinho-do-meio-ambiente/>. Acesso em: 20 set. 2022.

MICALI, Silvio; CHEN, Jing. **Algorand**. 26 maio 2017b. Disponível em: https://algorandcom.cdn.prismic.io/algorandcom%2Fece77f38-75b3-44de-bc7f-805f0e53a8d9_theoretical.pdf. Acesso em: 5 jan. 2023.

MICALI, Silvio; CHEN, Jing. **Distributed transaction propagation and verification system**. Titular: Silvio Micali. US 2019/0147438 A1. Depósito: 4 maio 2017a. Concessão: pendente. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US20190147438A1/en?q=US201662331654P> Acesso em: 5 jan. 2023.

MILARÉ, Édis. **Direito do Ambiente**. 12. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2020.

NETTO, Expedito. Parecer proferido em plenário ao substitutivo (ou emendas) do Senado Federal ao PL n° 4.401, de 2021. **Câmara dos Deputados**, 5 jul. 2022. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=2194920 Acesso em: 7 jan. 2023.

ONU. Acordo de Paris sobre o Clima. Paris, 30 de novembro a 11 de dezembro de 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/node/88191>. Acesso em: 5 jan. 2023.

OSTP. **Climate and energy implications of crypto-assets in the United States**. White House Office of Science and Technology Policy. Washington, D.C. 8 set. 2022. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/09/09-2022-Crypto-Assets-and-Climate-Report.pdf>. Acesso em: 5 jan. 2023.

PARISCITYVISION. Torre Eiffel: mais de um século de iluminações. **Paris City Vision**, 2019. Disponível em: <https://www.pariscityvision.com/pt/paris/lugares-marcantes-de-paris/torre-eiffel/iluminacoes-torre-eiffel>. Acesso em: 2 jan. 2023.

REICHMANN, Jorge; REYES, Luis González; HERRERO, Yago; MADORRÁN, Carmen. **Que hacemos hoy cuando nos encontramos frente a la amenaza de una crisis mayor que la económica**: la ecológica. Madrid: Akal, 2012.

REINSEL, David; GANTZ, John; RYDNING, John. The digitization of the world from edge to core. IDC, nov. 2018. Disponível em: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2023.

RIFKIN, Jeremy. **El green new deal global**: por qué la civilización de los combustibles fósiles colapsará em torno a 2028 y el audaz plan económico para salvar la vida en la tierra. Barcelona: Paidós, 2019.

RODRIGUEZ, John. Como podemos garantir que os data centers sejam eficientes o bastante em termos de energia? **Intelligent CIO**, 1 fev. 2022. Disponível em: <https://www.intelligentcio.com/latam-pt/2022/02/01/como-podemos-garantir-que-os-data-centers-sejam-eficientes-o-bastante-em-termos-de-energia/>. Acesso em: 8 jan. 2023.

SACHS, Ignacy. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009.

SÁNCHEZ, Fernando López. As primeiras moedas da história. **National Geographic Portugal**, 29 mar. 2020. Disponível em: <https://nationalgeographic.pt/historia/grandes-reportagens/2099-as-primeiras-moedas-da-historia>. Acesso em: 4 jan. 2023.

SCHWAB, Klaus. **A quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2016.

SENADO FEDERAL. Substitutivo do Senado ao Projeto de Lei nº. 4.401, de 2021, que "Dispõe sobre a prestadora de serviços de ativos virtuais; altera o Decreto-Lei nº 2.848, de 7 de dezembro de 1940 (Código Penal), e as Leis nºs 7.492, de 16 de junho de 1986, e 9.613, de 3 de março de 1998, para incluir a prestadora de serviços de ativos virtuais no rol de instituições sujeitas às suas disposições". Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9138994&ts=1653562815608&disposition=inline>. Acesso em: 7 jan. 2023.

SILVA, Mariana Maria. Criador anônimo do bitcoin iria dar outro nome para a 1ª criptomoeda do mundo, revela pesquisa. **Exame**, 26 set. 2022. Disponível em: <https://exame.com/future-of-money/criador-anonimo-do-bitcoin-iria-dar-outro-nome-para-a-1a-criptomoeda-do-mundo-revela-pesquisa/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

SIMON, Lenny. Crypto data centers: The good, the bad and the electric. **Uptime Institute**, 27 jul. 2022. Disponível em: <https://journal.uptimeinstitute.com/crypto-data-centers-the-good-the-bad-and-the-electric/>. Acesso em: 8 set. 2022.

SONI, Jimmy; GOODMAN, Rob. **A mind at play**: how Claude Shannon invented the information age. Nova York: Simon & Schuster, 2018.

THE NEW YORK TIMES. Bitcoin Uses More Electricity Than Many Countries. How is that possible? **The New York Times**, 14 set. 2021. Disponível em: <https://cacm.acm.org/news/255519-bitcoin-uses-more-electricity-than-many-countries-how-is-that-possible/fulltext>. Acesso em: 6 dez. 2022.

UNITED STATES OF AMERICA. **Executive Order 14067 of March 9, 2022**. Ensuring Responsible Development of Digital Assets. 2022a. Disponível em: <https://www.federalregister.gov/documents/2022/03/14/2022-05471/ensuring-responsible-development-of-digital-assets>. Acesso em: 5 jan. 2023.

UNITED STATES OF AMERICA. Fact Sheet: climate and energy implications of crypto-assets in the United States. **The White House**, 8 set. 2022b. Disponível em: <https://www.whitehouse.gov/ostp/news-updates/2022/09/08/fact-sheet-climate-and-energy-implications-of-crypto-assets-in-the-united-states>. Acesso em: 6 nov. 2022.

WERTHEIN, Jorge. A sociedade da informação e seus desafios. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 29, n. 2, p. 71-77, maio/ago. 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-19652000000200009>. Acesso em: 3 jan. 2023.

WHITEHEAD, Beth; ANDREWS, Deborah; SHAH, Amip; MAIDMENT, Graeme. Assessing the environmental impact of data centres part 1: background, energy use and metrics. **Building and Environment**, v. 82, p. 151–159, dez. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.08.021>. Acesso em: 26 set. 2022.

YERGIN, Daniel. **A Busca**: energia, segurança e a reconstrução do mundo moderno, Rio de Janeiro: Intrínseca, 2014.