

**SUSTENTABILIDADE DAS FONTES DE ENERGIA E EFICIÊNCIA
ENERGÉTICA: UM ESTUDO SOBRE REFLEXOS NO ODS 07 DOS IMPACTOS
AMBIENTAIS DA MINERAÇÃO DE CRIPTOATIVOS**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n3-210>

Data de submissão: 20/02/2025

Data de publicação: 20/03/2025

César do Carmo Urias

Instituição – Estado - Faculdade de Ciências Humanas e Sociais / Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), campus de Franca/SP
E-mail – cesar.urias@unesp.br

Eliane Araújo Robusti

Instituição – Estado - Faculdade de Ciências Agronômicas / Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), campus de Botucatu/SP
E-mail - e.robusti@unse.edu.ar

Luiz César Ribas

Instituição – Estado - Faculdade de Ciências Agronômicas / Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), campus de Botucatu/SP
E-mail - luiz.c.ribas@unesp.br

RESUMO

Este estudo investiga a relação entre a mineração de criptoativos, a sustentabilidade das fontes de energia e a eficiência energética, com foco nos impactos ambientais, econômicos e sociais no contexto do ODS 07 (energia limpa e acessível). A mineração de criptoativos ainda depende, em grande parte, de fontes não renováveis, como o carvão mineral, gerando emissões significativas de gases de efeito estufa e colocando em risco as metas climáticas. Este trabalho propõe uma análise preliminar desta modalidade energética com respeito aos impactos ambientais e investiga o papel das tecnologias emergentes, a eficiência energética e as políticas públicas para promover práticas sustentáveis nesta área. Para tanto, desenvolveu-se uma pesquisa exploratória e bibliográfica-documental e metodologicamente foi desenvolvida dentro da abordagem da litigância climática e de regulamentação da mineração de criptoativos, com ênfase na integração de fontes renováveis. O estudo propiciou subsídios para a formulação de políticas públicas que integrem a mineração à transição energética sustentável.

Palavras-chave: Mineração de Criptoativos. Eficiência Energética. Sustentabilidade Energética.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com CVM (2025), criptoativos são “ativos virtuais”, protegidos por criptografia, presentes exclusivamente em registros digitais, cujas operações são executadas e armazenadas em uma rede de computadores, sendo o criptoativo pioneiro, e também o mais conhecido, o Bitcoin sendo este uma modalidade de moeda que se baseia na tecnologia do blockchain. Dentro deste cenário, os criptoativos passaram a ser utilizados para outros fins como, por exemplo, a oferta inicial de ativos virtuais (Initial Coin Offering), conforme CVM (2025), oferecendo-se, em troca da captação de recursos financeiros para investimentos, como as ativos virtuais (criptomoedas ou tokens atrelados a participação em resultados de empreendimentos ou mesmo remuneração pré-fixada sobre o capital investimento, por exemplo).(CVM, 2025).

Neste contexto, a terminologia “mineração” faz alusão à exploração de metais preciosos, remetendo ao sentido da preciosidade que essa inovação tecnológica poderia agregar ao mercado como um todo (SANTOS, PANDOLFO e ANDREOLA, 2019). Contudo, a utilização de criptoativos minerários como fonte de investimento não será abordada nesta pesquisa, pois o foco do presente estudo se orienta na discussão do consumo energético renovável ou não, que está embutido na mineração de criptomoedas, priorizando as fontes renováveis de energia. Além disso, a mineração de criptoativos surge como uma atividade relevante, dado que, em grande parte, ainda depende de fontes de energia não renováveis, contribui para a elevação das emissões de carbono.

Essas discussões são coerentes com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, principalmente com ênfase no ODS n. 07, que visa garantir "energia limpa e acessível", bem como a discussão realizada, em especial, durante a 28^a Conferência das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (COP28), redundando na firma determinação pela “transição energética”, evidenciando a necessidade de um novo modelo energético, com a finalidade de triplicar a capacidade de fontes renováveis até 2030 e dobrar a eficiência energética global no mesmo período (ONU BR, 2025).

Cabe mencionar que a dinâmica dos impactos sustentáveis inerentes à mineração dos criptoativos envolvem variáveis econômicas e regulatórias que extrapolam o escopo deste estudo. E mesmo que a mineração de criptoativos envolva vários outros ativos desse seguimento, nosso estudo se baseará na mineração realizada na rede Bitcoin que se baseia na tecnologia do blockchain¹.

¹ CVM (2025): “As transações publicadas na rede são agrupadas e registradas em blocos, de maneira que cada bloco aceito na rede se conecta ao imediatamente anterior, e assim por diante, formando uma sequência ou cadeia de blocos (blockchain)”.

2 OBJETIVO

Investigar a relação entre a mineração de criptoativos, a sustentabilidade das fontes de energia e a eficiência energética no contexto do ODS 7 (“Energia Limpa e Acessível”), destacando não apenas os impactos ambientais centrais, como emissões e consumo de energia, mas também modelos de negócios emergentes que utilizam a infraestrutura blockchain do Bitcoin e sua mineração para influenciar a eficiência energética e a sustentabilidade.

3 METODOLOGIA

Este estudo adotou a abordagem metodológica da pesquisa documental e bibliográfica, com caráter exploratório, envolvendo uma combinação de análises qualitativas e quantitativas a partir de estudos já realizados. A coleta de dados foi realizada a partir de sites e fontes científicas e acadêmicas referenciais, tais como, Google Scholar, Capes, Scielo, entre outras, com foco em trabalhos que abordem temas como sustentabilidade energética, eficiência energética, energias renováveis, justiça climática, ODS n. 07, e mineração de criptoativos.

Além disso, foram investigadas normas e legislações que tratam da interseção entre mineração de criptoativos e questões ambientais, com ênfase na justiça climática.

Os procedimentos de coleta de dados envolveram, ainda, a sistematização de informações sobre os impactos da mineração de criptoativos, a eficiência energética e a sustentabilidade das fontes de energia, sempre considerando os eixos temáticos centrais do ODS n. 07 da Agenda 2030.

A análise dos dados foi realizada por meio de uma abordagem qualitativa, com a utilização de técnicas de análise de conteúdo para extrair informações significativas das fontes selecionadas. A análise de conteúdo utiliza técnicas de análise que visam inferir conhecimento por meio de indicadores quantitativos ou não (BARDIN, 1977).

A pesquisa também considerou uma análise das leis e políticas públicas relacionadas à justiça climática e sua aplicabilidade à mineração de criptoativos.

Além disso, foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre dados quantitativos para identificar tendências nos dados relacionados ao consumo energético e aos impactos ambientais da mineração de criptoativos.

4 DESENVOLVIMENTO

O bitcoin, uma moeda digital proposta por Satoshi Nakamoto em um artigo de 2008, surgiu na época em resposta às críticas sobre o valor do papel-moeda. A proposta visava criar um sistema de transações eletrônicas sem a necessidade de confiar em uma terceira parte, como as instituições

financeiras, promovendo uma descentralização do sistema financeiro e diminuindo a intermediação nas transações (NAKAMOTO, 2008).

Verificou-se, em um primeiro momento, que a crescente demanda por criptoativos, desde sua criação em 2008, redundou na pressão sobre os recursos energéticos globais, desafiando os compromissos climáticos estabelecidos (Vries, 2022).

Isto porque, como destaca Vries (2022), pesquisador na Escola de Negócios e Economia da Vrije Universiteit Amsterdam, o crescente foco nos riscos climáticos e nas emissões de carbono tem intensificado os debates sobre as fontes de energia utilizadas na mineração de criptomoedas, especialmente considerando seu impacto ambiental significativo. Esse debate ganha relevância à medida que se tornam mais evidentes os custos energéticos e as implicações para a sustentabilidade do setor."

A análise das consequências ambientais da mineração de bitcoin muitas vezes apresenta inconsistências, em grande parte devido à utilização de dois modelos amplamente usados para estimar seu consumo de energia: o Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index (CBECI) e o Digiconomist Index. No entanto, esses modelos enfrentam limitações importantes, pois se baseiam em suposições generalizadas e não verificadas, como a uniformidade nos custos de eletricidade e nos valores do Uso Produtivo de Energia (PUE). Além disso, ambos os índices lidam com dificuldades aos dados muitas vezes incompletos ou desatualizados, o que compromete a precisão das estimativas sobre o consumo energético do Bitcoin. Essas observações sublinham a necessidade de métodos mais robustos e baseados em dados empíricos para calcular a pegada energética da rede (DASAKLIS et al., 2025).

De um modo geral, o consumo de energia do Bitcoin (BEC) tem implicações significativas para as economias regionais verdes, especialmente nos Estados Unidos, Europa e Ásia. Estudo de Gunay, Kirimhan e Demiralay (2025) destaca que a interação entre as tecnologias financeiras emergentes, como o Bitcoin, e os objetivos ambientais globais devem ser cuidadosamente verificados. Os autores enfatizam a importância de ações coordenadas para abordar o consumo de energia relacionado aos criptoativos e as metas da sustentabilidade global.

De acordo com a definição apresentada por Seibt (2024), a mineração de criptomoedas é o processo de validação e inclusão de novas transações na blockchain, sendo responsável por aumentar a circulação de criptomoedas, assim como o banco central faz com o dinheiro tradicional. A diferença é que, no caso das moedas digitais, não há uma autoridade central, mas sim algoritmos que regem o processo. A mineração, além disso, é uma atividade altamente competitiva que consome uma grande

quantidade de energia elétrica devido ao poder de processamento exigido para resolver os problemas matemáticos.

Ainda de acordo com a mesma autora os mineradores de criptomoedas são indivíduos, computadores ou redes de computadores responsáveis por realizar cálculos complexos para validar transações e gerar novas unidades de criptomoedas. Além disso, eles desempenham um papel crucial na manutenção da segurança da rede, já que o processo de mineração ajuda a proteger contra fraudes e ataques.

A adoção de tecnologias como o blockchain tem se expandido em diversos setores e cadeias de fornecimento, sendo valorizada por sua capacidade de oferecer transparência entre todas as partes envolvidas. No entanto, embora traga benefícios potenciais, o uso do blockchain apresenta diversos desafios, incluindo questões de eficiência, complexidade técnica, impactos ambientais e a necessidade de uma estrutura regulatória adequada (BABAEI et al., 2025).

Um estudo de Hajiaghapour-Moghimi et al. (2022) discute sobre um programa de eficiência energética que visa incentivar os mineradores a utilizar dispositivos de mineração de criptomoedas (CMDs) de alta eficiência. A abordagem sugere que, caso seja implementado, um padrão que proíba o uso de CMDs ineficientes e adote uma estratégia de deliberação-recompensa poderia melhorar a rentabilidade dos mineradores.

Ademais; de acordo com Vranken (2017), os ASICs (Circuitos Integrados de Aplicação Específica) inicialmente desenvolvidos para a mineração de Bitcoin passaram a ser adaptados para outros protocolos de mineração, o que impulsionou a área, tornando-a atraente para o desenvolvimento de circuitos integrados com o objetivo de melhorar a velocidade, reduzir o consumo de energia e diminuir o tamanho dos dispositivos.

Mesmo em um contexto de lapidação do setor emergente em busca de economia energética, observou-se que em 2021 houve a proibição da mineração de criptomoedas na China refletindo a crescente preocupação com os impactos ambientais associados a essas atividades, especialmente em relação ao consumo de energia de fontes fósseis (Cambridge Center for Alternative Finance, 2023).

Esse movimento do governo chinês ocasionou uma migração rápida do país onde a criptomoeda é minerada. Um exemplo foi o Cazaquistão, um dos principais destinos dos mineradores chineses após a proibição no seu país de origem. No estudo de Gonçalves (2022), é mencionado a migração de mineradores para o Cazaquistão, em busca de energia mais barata, o que causou um aumento substancial na demanda por eletricidade, levando a escassez de energia e sobrecarga na infraestrutura elétrica do país.

RUDD et al. (2023) destacam que há uma necessidade urgente de pesquisas relacionadas à inclusão financeira, à resiliência em regiões vulneráveis e à interação macroeconômica e geopolítica diante da adoção do Bitcoin. Eles enfatizaram ainda que a evolução do ecossistema do Bitcoin exige pesquisas claras e confiáveis para orientar políticas públicas e decisões sobre seu impacto relacionado à inclusão financeira e à resiliência em áreas economicamente e politicamente instáveis em nível global.

Outros estudos como o de Menati et al. (2023), afirmam que a mineração de criptomoedas exerce um impacto específico sobre as redes elétricas, afetando três aspectos principais: a pegada de carbono, a confiabilidade da rede e os preços de eletricidade. Os autores destacam que a variação na pegada de carbono de acordo com a localização da mineração pode ser significativa, podendo alcançar até 50% de diferença em relação à média do sistema. A pesquisa também sugere que, ao ajustar a flexibilidade das cargas de mineração, é possível reduzir a escassez de energia e as interrupções no mercado. O estudo propõe que as políticas públicas devem facilitar a participação das grandes instalações de mineração nos mercados atacadistas.

Voltando a questão da tomada de decisão da China em proibir a mineração de criptoativos em seu território, de acordo com JIANG (2021) o fato ainda muito se baseia na sua participação no Acordo de Paris, ao qual pretende-se limitar o aumento da temperatura média global, comprometendo-se a reduzir 60% da emissão de carbono até 2030. Entretanto, estima-se que o padrão de emissão de carbono dos mineradores de ativos digitais, de um modo geral, tornar-se uma barreira potencial em desfavor das metas de redução das emissões na China.

Este ponto é crucial, haja vista que a mineração de criptomoedas, dentro do escopo específico da transição energética (justa e equitativa), considerando em especial os países em desenvolvimento, traz impactos ambientais expressivos.

Note-se que, segundo a Universidade de Cambridge, "a mineração de Bitcoin consome mais eletricidade anualmente do que toda a Argentina" (Cambridge Center for Alternative Finance, 2023), colocando uma pressão significativa sobre os sistemas energéticos globais e os compromissos de sustentabilidade.

De forma sucinta, o artigo de Rasool Malik, Aslam e Ferreira (2024) investiga a relação entre o consumo de eletricidade do Bitcoin e os preços dos mercados de energia convencional e renovável, utilizando uma análise multifractal. Os resultados mostram uma correlação persistente entre o consumo de energia do Bitcoin e os preços de energia, sendo mais forte no mercado de combustíveis fósseis, especialmente no carvão. O estudo sugere que mudanças dinâmicas no consumo de energia

do Bitcoin devem ser consideradas na gestão de portfólio para estratégias de gerenciamento de risco, no caso do consumo dessas energias.

Ainda sobre as métricas de consumo energético provenientes da mineração de criptoativos encontram-se estudos como o conduzido por McCook, em que baseando-se em um conjunto de processadores selecionados a partir de notícias e pesquisas estimou que aproximadamente 80% das máquinas utilizadas na mineração de Bitcoin pertenciam às empresas fabricantes de chips, enquanto os outros 20% eram processadores disponíveis no mercado de varejo. (MCCOOK, 2015).

Outro estudo mais recente, o de Küfeoğlu, realizado em 2019, investigou o uso computacional na mineração de Bitcoin, utilizando 160 GB (1 GB, gigabyte, = 1 bilhão de bytes 1.000.000.000 bytes) de dados do blockchain do Bitcoin e 269 modelos de hardware distintos para analisar a eficiência em diferentes períodos e estimar com maior precisão o consumo de energia. O estudo ressaltou a relevância do avanço das tecnologias para o consumo energético da mineração de Bitcoin, indicando que, caso a mineração continuasse utilizando CPUs, o consumo atingiria 11.000 TWh, (1 TWh, terawatt-hora, = 1 trilhão de watts consumidos por uma hora) valor que representaria quase metade do consumo global de energia (Küfeoğlu, 2019).

Dentro da perspectiva dos impactos ambientais positivos, por outro lado, os defensores da mineração em criptografia alegam que ela pode ser uma força positiva para o crescimento econômico, a inovação tecnológica, a conservação de recursos naturais (se associados às fontes renováveis) e a promoção da justiça social, especialmente em termos de inclusão financeira e descentralização econômica.

Em relação aos impactos econômicos positivos, principalmente no que tange a inclusão financeira e à criação de empregos, estudos como os de Tapscott e Tapscott (2016), narram que a blockchain tem o potencial de transformar a maneira como as transações financeiras são realizadas, aumentando a transparência e a segurança, características que são essenciais para a promoção da inclusão financeira, de modo que, a descentralização da moeda e a eliminação de intermediários podem reduzir a desigualdade econômica e promover a equidade no acesso a serviços financeiros, especialmente em economias emergentes.

Com isso, a mineração de criptoativos e a tecnologia blockchain têm o poder de não apenas gerar crescimento econômico, mas também democratizar o acesso ao sistema financeiro, especialmente em áreas onde a falta de serviços bancários tradicionais é um obstáculo para o desenvolvimento econômico (Tapscott & Tapscott, 2016).

Em uma pesquisa realizada por Seibt (2024), um de seus entrevistados afirma que o Bitcoin pode ser uma solução ideal para pequenos países marginalizados no cenário econômico global, como

El Salvador. Embora a mídia retrate a economia salvadorenha como instável, o entrevistado destaca que a mineração de Bitcoin realizada nos vulcões do país representa uma forma de construção de riqueza que não é devidamente reconhecida pelos meios de comunicação.

Nesse sentido, o estudo intitulado "Bitcoin: a viabilidade de mineração no Brasil" considerando aspectos como consumo de energia, custos operacionais e impactos econômicos observou que a média de energia consumida na produção de um Bitcoin no Brasil oscila entre R\$57.028 e R\$66.295 mil reais, indicando que a atividade de mineração pode ser mais viável em regiões com custos de energia mais baixos. Embora o estudo se concentre no contexto brasileiro, ele sugere que a mineração de Bitcoin pode ter um impacto positivo nas economias locais, especialmente em áreas com energia elétrica abundante e de baixo custo, onde a atividade pode se tornar uma fonte significativa de receita (SANTOS; OLIVEIRA; RIBEIRO, 2022).

Outro estudo no mesmo sentido é o de VOLOSHYN et al. (2023), o qual evidencia que os problemas de eficiência energética na mineração de bitcoins passaram a ser um desafio para as possibilidades da tecnologia blockchain, exigindo novas políticas de engenharia e gestão. Uma análise comparativa do consumo de energia na geração de bitcoins e do consumo global revelou a falta de métodos confiáveis para avaliar a energia dessas tecnologias. A solução envolve grandes empresas de mineração localizadas em áreas com energia barata e recursos próprios, além de alternativas energéticas.

De toda sorte, as criptomoedas dependem de grandes volumes de energia, sobretudo as de cunho não renovável, para serem geradas através da mineração, geram um impacto ambiental significativo, e esse impacto pode afetar o cumprimento da Agenda 2030, em especial ao ODS n.07, qual seja, a promoção de fontes de energia limpa (Divino et Antunes, 2021).

Posto isto, nos últimos anos, destacam-se estudos acadêmicos sobre o consumo de energia na rede Bitcoin, que revelam uma mudança na percepção de seu impacto ambiental. Inicialmente, muitos focaram nos efeitos negativos da mineração, mas, mais recentemente, a literatura tem evidenciado inovações na adoção de fontes de energia renováveis e na otimização do uso energético. Além disso, a mineração de bitcoin tem sido vista como uma solução para o aproveitamento de energia excedente, com aplicações como o uso de gás retido na indústria de petróleo e gás, o que pode reduzir emissões de metano ao invés de liberá-lo diretamente na atmosfera (DASAKLIS et al., 2025; DE VRIES, 2018; KAKINUMA, 2023; PROELSS et al., 2023; RUDD et al., 2024; TRUBY, 2018).

Consequentemente, a mineração de bitcoin transforma energia física em energia criptográfica, por meio de trabalho computacional para proteger a rede. Esse processo leva à criação de novos modelos de negócios digitais, que monetizam recursos energéticos antes desperdiçados, gerando valor

de fontes anteriormente ineficientes. Ao utilizar fontes de energia diversas e descentralizadas, a mineração de bitcoin cria uma infraestrutura global que sustenta a rede e fomenta oportunidades inovadoras na economia digital. A blockchain do Bitcoin tem o potencial de promover novos paradigmas econômicos, aproveitando recursos de maneiras inovadoras, com modelos circulares e simbióticos sendo relevantes nesse contexto (DASAKLIS et al., 2025; GEISSDOERFER et al., 2020)

Ainda na direção dos possíveis benefícios da mineração de criptoativos, Revoredo (2021), traz um exemplo interessante do uso sustentável da mineração de Bitcoin que ocorre em uma fazenda de tulipas na Holanda, onde a eletricidade renovável é utilizada para alimentar a operação de mineração. Essa prática permite que a fazenda opere de forma "carbon free" (livre de carbono), com emissões de gás quase nulas, demonstrando como a combinação de mineração de bitcoin e energia renovável pode reduzir significativamente o impacto ambiental.

Outro estudo realizado, desta vez por David et al. (2025) sobre o uso da tecnologia blockchain em projetos de energia renovável na África Subsaariana destacou a importância da dinâmica social tanto na iniciação quanto na execução desses projetos, além do papel essencial da blockchain na promoção da segurança energética. Os autores enfatizam que, para atingir as metas de descentralização, descarbonização e digitalização da energia renovável, é necessário atualizar a teoria dos sistemas sociotécnicos (STS). A interdependência entre os fatores críticos de sucesso (CSF) e a contribuição tecnológica da blockchain é crucial para o sucesso dos projetos de energia renovável. A falta de adesão a essa interdependência pode resultar em baixa acessibilidade e dificuldades na escalabilidade de inovações tecnológicas, comprometendo o sucesso e a adoção de sistemas de energia.

Retomando Revoredo (2019), a mineração de bitcoins pode ser uma solução viável para lidar com o excedente de energia renovável. A prática torna lucrativo o excesso de energia gerado por fontes como solar e eólica, funcionando também como uma forma indireta de armazenamento de energia.

Na visão da autora os mineradores de bitcoin têm três características que os tornam clientes especiais para as empresas de energia renovável: 1) a eletricidade representa a maior parte de seus custos operacionais, 2) sua capacidade de consumir energia de forma intermitente e 3) sua flexibilidade quanto à localização das máquinas de mineração, que podem ser posicionadas perto das fontes de geração de eletricidade para reduzir perdas de transmissão.

Conforme observado pela autora, personalidades como Jack Dorsey, ex-CEO do antigo Twitter e atual CEO da Square, fez uma declaração controversa ao afirmar que a rede Bitcoin incentiva a energia renovável. O que se alinha a ideia de que os mineradores de bitcoin podem ajudar a promover

o uso de energia renovável devido a sua flexibilidade e capacidade de consumir eletricidade de forma eficiente, especialmente quando a oferta de energia renovável é abundante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou investigar a relação entre a mineração de criptoativos, consumo energético e impactos ambientais, destacando a dependência de fontes não renováveis, como o carvão, e suas contribuições para as emissões de carbono.

Além disso, refletiu sobre a sustentabilidade das fontes de energia utilizadas nesse processo e a eficiência energética no contexto do ODS 7, que busca garantir acesso universal à energia limpa e acessível.

A análise sugeriu que, para que a mineração de criptoativos se alinhe com o objetivo da eficiência energética dos objetivos de sustentabilidade, é imperativo o desenvolvimento e a implementação de tecnologias ainda mais eficientes, bem como políticas públicas que incentivem a transição para fontes de energia renováveis, as quais seriam as mais adequadas para esse setor.

A pesquisa também identificou modelos de negócios emergentes que utilizam a infraestrutura blockchain do Bitcoin, os quais podem desempenhar um papel crucial na melhoria da eficiência energética e na sustentabilidade do setor, alinhando-se aos objetivos do ODS 7.

Além disso, a mineração de criptoativos insinua poder ser uma ferramenta importante para a inclusão financeira e o desenvolvimento econômico, desde que a gestão dos seus impactos ambientais seja adequadamente abordada.

Portanto, para que a mineração de criptoativos se torne verdadeiramente sustentável, é necessário um esforço contínuo para a transição para fontes de energia renováveis, a adoção de tecnologias de baixo impacto ambiental e a implementação de regulamentações eficazes.

Esses pontos são essenciais para garantir que o setor da mineração de criptoativos contribua positivamente para o cumprimento das metas da Agenda 2030, especialmente o ODS 7, sobretudo dentro do espírito de uma transição energética justa e equitativa, que promova a justiça climática.

Recomenda-se, portanto, a continuidade das investigações sobre regulamentação e novas tecnologias que favoreçam a transição para práticas de mineração mais sustentáveis, alinhadas aos ODS.

Por fim, têm-se o sentimento que este estudo possa servir para uma compreensão mais aprofundada da mineração de criptoativos, destacando a necessidade urgente de equilíbrio entre inovação e sustentabilidade.

Enfim, diante da crescente demanda por criptoativos e seus impactos ambientais, a sustentabilidade das fontes de energia torna-se um fator crucial para a viabilidade dessa atividade a longo prazo. E a eficiência energética na mineração de criptoativos surge, portanto, como uma premissa lógica para mitigar os efeitos negativos do alto consumo energético, especialmente em um cenário onde aumentar a oferta de fontes renováveis se mostra essencial se o objetivo for atender ao ODS n. 07 no que se refere aos seus princípios de desenvolvimento sustentável. Assim, com base nessa relação positiva entre o excedente energético renovável e o aumento da demanda por criptoativos, sugere-se a assimilação dessas ideias a partir de um conceito que já vem sendo discutido por diversos pesquisadores e organizações, a saber, a Sustentabilidade Digital.

REFERÊNCIAS

- BABAEI, Ardavan; TIRKOLAE, Erfan Babaee; ALI, Sadia Samar. Assessing the viability of blockchain technology in renewable energy supply chains: A consolidation framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 212, p. 115444, 2025.
- BARDIN, L. Análise de conteúdo. Lisboa: Edições 70, 1977.
- CAMBRIDGE CENTER FOR ALTERNATIVE FINANCE. Bitcoin Electricity Consumption Index, 2023. Disponível em: <https://cbecc.org/>. Acesso em: 07 fev. 2025.
- COMISSÃO DE VALORES MOBILIÁRIOS (CVM). Criptoativos. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.gov.br/investidor/pt-br/educacional/publicacoes-educacionais/alertas_cvm_criptoativos_10052018.pdf. Acesso em: 19 fev. 2025.
- DASAKLIS, Thomas K. et al. Rethinking bitcoin's energy use through sustainable digital business models and resources monetization: A multiple case study analysis. *Digital Business*, v. 5, p. 100114, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2025.100114>.
- DAVID, Love Opeyemi et al. Evaluating the use of blockchain technology and identifying critical success factors for the successful implementation of renewable energy projects in sub-Saharan Africa. *International Journal of Sustainable Energy*, v. 44, n. 1, p. 2449867, 2025.
- DE VRIES, Alex; GALLERSDÖRFER, Ulrich; STOLL, Christian; KLAABEN, Lena. Revisiting Bitcoin's carbon footprint. *Joule*, v. 6, n. 3, p. 498-502, 2022. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435122000861?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=7de3d373bbd22776. Acesso em: 03 fev. 2025.
- DIVINO, Sthefano Bruno Santos; ANTUNES, Beatriz Gaia Barreto. A mineração de criptomoedas e os impactos ambientais: reflexos na Agenda 2030. Disponível em: https://www.cidp.pt/revistas/rjlb/2021/6/2021_06_2179_2215.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.
- GUNAY, Samet; KIRIMHAN, Destan; DEMIRALAY, Sercan. Regional green economies and Bitcoin's electricity consumption: Paving the way for global sustainability. *Journal of Environmental Management*, v. 374, p. 123997, 2025.
- HAJIAGHAPOUR-MOGHIMI, Mehran et al. An approach to targeting cryptocurrency mining loads for energy efficiency enhancement. *IET Generation, Transmission & Distribution*, v. 16, n. 23, p. 4775-4790, 2022.
- JIANG, S. et al. Policy assessments for the carbon emission flows and sustainability of Bitcoin blockchain operation in China. *Nature Communications*, v. 12, p. 1-10, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-22256-3.pdf>. Acesso em: 09 fev. 2025.
- KÜFEOĞLU, S. Consumo de Energia do Bitcoin na Era das Criptomoedas. 2019. Disponível em: <https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/download/4090/4143/8194>. Acesso em: 22 fev. 2025.

LEOPOLDINO, A. dos S.; PANDOLFO, E. E. G.; ANDREOLA, R. Estudo da viabilidade de Mineração de Criptomoedas em Maringá-PR. XI EPCC Anais Eletrônico, 2019. Disponível em: <http://rdu.unicesumar.edu.br/bitstream/123456789/3692/1/Alex%20Leopoldino%20dos%20Santos.pdf>. Acesso em: 04 fev. 2025.

MENATI, Ali et al. High resolution modeling and analysis of cryptocurrency mining's impact on power grids: Carbon footprint, reliability, and electricity price. *Advances in Applied Energy*, v. 10, p. 100136, 2023.

MCCOOK, Hass. An Order-of-Magnitude Estimate of the Relative Sustainability of the Bitcoin Network. 2015. Disponível em: https://bitcoin.fr/public/divers/docs/Estimation_de_la_durabilite_et_du_cout_du_reseau_Bitcoin.pdf. Acesso em: 20 fev. 2025.

NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2025.

ONU BR. COP28 termina com apelo à “transição” dos combustíveis fósseis. Disponível em: <https://news.un.org/pt/story/2023/12/1824862>. Acesso em: 19 fev. 2025.

RASOOL MALIK, Ayesha; ASLAM, Faheem; FERREIRA, Paulo. Bitcoin's multifractal influence: deciphering the relationship with conventional and renewable energy markets. *Cogent Economics & Finance*, v. 12, n. 1, p. 2395413, 2024.

REVOREDO, Tatiana. Blockchain: Tudo o que você precisa saber. 1. ed. São Paulo: The Global Strategy, 2019.

REVOREDO, Tatiana. Mineração de bitcoin e fontes renováveis de energia: O casamento perfeito. Revista HSM, 2021. Disponível em: <https://revistahsm.com.br/mineracao-de-bitcoin-e-fontes-renovaveis-de-energia-o-casamento-perfeito/>. Acesso em: 19 fev. 2025.

RUDD, Murray A. et al. Bitcoin and its energy, environmental, and social impacts: An assessment of key research needs in the mining sector. *Challenges*, v. 14, n. 4, p. 47, 2023.

SANTOS, Roberto Carlos Siqueira dos; OLIVEIRA, Silvio; RIBEIRO, Bruno de Lima. Bitcoin: a viabilidade de mineração no Brasil. 2022. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Economia) – Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/2e1f6d8d-0047-4990-aa31-6c47e25c83ad>. Acesso em: 21 fev. 2025.

SEIBT, Daniela. A constituição imaginária do blockchain: diálogos sobre confiança, descentralização e perspectivas da internet. 2024. Tese (Doutorado em Comunicação Social) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Escola de Comunicação, Artes e Design – Famecos, Porto Alegre, 2024.

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. *Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin and other cryptocurrencies is changing the world*. New York: Penguin, 2016.

VOLOSHYN, Vyacheslav et al. Research on the problem of the efficiency of bitcoins: The energy costs for the generation of this cryptocurrency on a global scale. In: INFORMATION MODELLING AND KNOWLEDGE BASES XXXIV. IOS Press, 2023. p. 195-203.

VRANKEN, Harald. Sustainability of bitcoin and blockchains. Current Opinion in Environmental Sustainability, v. 28, p. 1-9, 2017.