

Direito socioambiental de acesso à água, inovação tecnológica em áreas de escassez e o uso sustentável do *blockchain*

Socio-environmental right of access to water, technological innovation in areas of scarcity and the sustainable use of blockchain

1

Artigo convidado

Prof. Dr. Paulo José Leite Farias

Professor do Programa de Pós-Graduação em Direitos Sociais e Processos Reivindicatórios do Centro Universitário Instituto de Educação Superior de Brasília
Id ORCID <https://orcid.org/0000-0002-0248-0955>
Lattes <http://lattes.cnpq.br/6631572415462774>

Resumo

Este artigo explora o uso da tecnologia *blockchain* como ferramenta para a sustentabilidade ambiental, com foco na garantia do direito socioambiental de acesso à água no contexto da Agenda 2030 da ONU para o Desenvolvimento Sustentável, especificamente o ODS-9 (infraestrutura resiliente, industrialização sustentável e inovação). O *blockchain*, argumenta o autor, pode ajudar a alcançar esses objetivos modernizando a infraestrutura e promovendo a inovação na gestão de recursos naturais. A "tragédia dos comuns", um conceito em que os recursos compartilhados se esgotam devido ao interesse individual, é uma preocupação central abordada pelo artigo. O potencial do *blockchain* para mitigar esse problema é ilustrado por meio do estudo de caso do aquífero Delta do Rio Sacramento-San Joaquin, na Califórnia. Neste projeto, sensores e um sistema *blockchain* são usados para rastrear o uso de água subterrânea, permitindo a negociação transparente de créditos de água. Os benefícios do sistema são exemplificados por um cenário em que um produtor de morango vende seus créditos de água excedentes para uma vinícola por meio do *blockchain*, garantindo a sustentabilidade do aquífero. Além disso, enfatiza a necessidade de arquiteturas de *blockchain* energeticamente eficientes. Embora reconheça o alto consumo de energia do sistema de prova de trabalho (PoW) do *Bitcoin*, ele destaca protocolos alternativos como prova de autoridade (PoA) usado no sistema IBM Hyperledger empregado na Califórnia. O PoA, com seus validadores pré-selecionados, reduz o consumo de energia e oferece validação de transação mais rápida, tornando-se uma opção mais sustentável.

Palavras-chave: Gestão sustentável dos recursos hídricos. Uso do *blockchain*. Desenvolvimento sustentável.

Abstract

This article explores the use of blockchain technology as a tool for environmental sustainability, focusing on water resource management as a social right in the context of the UN's 2030 Agenda for Sustainable Development, specifically SDG-9 (resilient infrastructure, sustainable industrialization, and innovation). Blockchain, the author argues, can help achieve these goals

by modernizing infrastructure and promoting innovation in managing natural resources. The "tragedy of the commons," a concept where shared resources are depleted due to individual self-interest, is a central concern addressed by the article. Blockchain's potential to mitigate this problem is illustrated through the case study of California's Sacramento-San Joaquin River Delta aquifer. In this project, sensors and a blockchain system are used to track groundwater usage, allowing for the transparent trading of water credits. The system's benefits are exemplified by a scenario where a strawberry farmer sells their excess water credits to a winery through the blockchain, ensuring the aquifer's sustainability. Also, it emphasizes the need for energy-efficient blockchain architectures. While acknowledging the high energy consumption of Bitcoin's proof-of-work (PoW) system, it highlights alternative protocols like proof-of-authority (PoA) used in the IBM Hyperledger system employed in California. PoA, with its pre-selected validators, reduces energy consumption and offers faster transaction validation, making it a more sustainable option.

Keywords: Sustainable management of water resources. Use of blockchain. Sustainable development.

Introdução

A sustentabilidade apresenta-se como um objetivo que deve ser alcançado atuando em três dimensões: a social, a ambiental e a econômica. A ideia de desenvolvimento sustentável – capaz de satisfazer as necessidades sociais atuais sem comprometer o futuro – busca, no âmbito normativo, compatibilizar o desenvolvimento econômico, social e a proteção ambiental. Simplificadamente, o desenvolvimento sustentável tem como pilar a harmonização do crescimento econômico, da preservação ambiental e da equidade social. Com relação ao recurso hídrico, o aspecto social tem grande relevância, pois o acesso a água é garantidor de saúde, alimentação e lazer. Esses objetivos de sustentabilidade podem ser auxiliados pela plataforma blockchain.

Assim, o presente artigo tem como objetivo avaliar a utilização do blockchain como instrumento de sustentabilidade ambiental no contexto da Agenda 2030 e da inovação trazida pela quarta revolução industrial, no contexto da Tragédia dos Comuns de Garret Hardin aplicável na gestão hídrica, levando-se em conta as possibilidades protetivas desta tecnologia, bem como os seus aspectos negativos oriundos da sua arquitetura e do uso de energia no seu processo de mineração. Para este fim, a pesquisa foi realizada utilizando-se do método dedutivo, principalmente a partir do estudo doutrinário de artigos científicos internacionais e livros que versam

sobre o tema, assim como da análise de caso bem sucedido, envolvendo a tecnologia blockchain em região de escassez hídrica para proteção de ecossistemas e de aquífero em Sacramento na Califórnia.

Na primeira parte deste artigo será analisado o conceito de sustentabilidade à luz de alguns dos objetivos de desenvolvimento sustentável da Agenda 2030 da ONU.

Em seguida, será feita a análise do caso do aquífero de Sacramento na Califórnia. Neste local, foi usada a plataforma blockchain em parceria do setor público (Governo do Estado da Califórnia) com o privado (IBM), destacando como esta tecnologia pode proteger aspectos econômicos, ecológicos e sociais por meio do uso de contratos automatizados (*smart contracts*) na gestão integrada recursos hídricos escassos.

Na terceira parte, será analisado o “calcanhar de aquiles” desta tecnologia para a sustentabilidade, a saber: o consumo energético da mineração do bitcoin (modelo originário da plataforma blockchain). Nesta parte, será avaliado a possibilidade de modificações de sua arquitetura para o uso mais eficiente de energia.

1. Blockchain, Agenda 2030 e o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 9: inovação, infraestrutura e indústria

A sustentabilidade apresenta-se como um objetivo que deve ser alcançado atuando em três dimensões: a social, a ambiental e a econômica. A ideia de desenvolvimento sustentável – capaz de satisfazer as necessidades sociais atuais sem comprometer o futuro – busca, no âmbito normativo, compatibilizar o desenvolvimento econômico, social e a proteção ambiental. Tal abordagem, “fundamentada na harmonização de objetivos sociais, ambientais e econômicos não se alterou desde o encontro de Estocolmo (1972) até as conferências do Rio de Janeiro, e (...) ainda é válida” (Sachs, 2000, p. 52). Simplificadamente, o desenvolvimento sustentável tem como pilar a harmonização do crescimento econômico, da preservação ambiental e da equidade social. Esses objetivos podem ser auxiliados pela plataforma blockchain.

A ONU, avançando na temática relacionada à sustentabilidade, em setembro de 2015, por meio dos representantes dos seus 193 Estados-membros, adotou um novo plano de ação denominado “Transformando o nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável” (ONU(BRASIL), 2015).

Trata-se de uma iniciativa inovadora em que foram anunciados 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), desdobrados em 169 metas correlacionadas (ONU(BRASIL), 2015) . Em nenhum momento anterior, o Planeta esteve diante de uma ação comum de tal magnitude, registrando um esforço integrado de ação local com reflexo mundial.

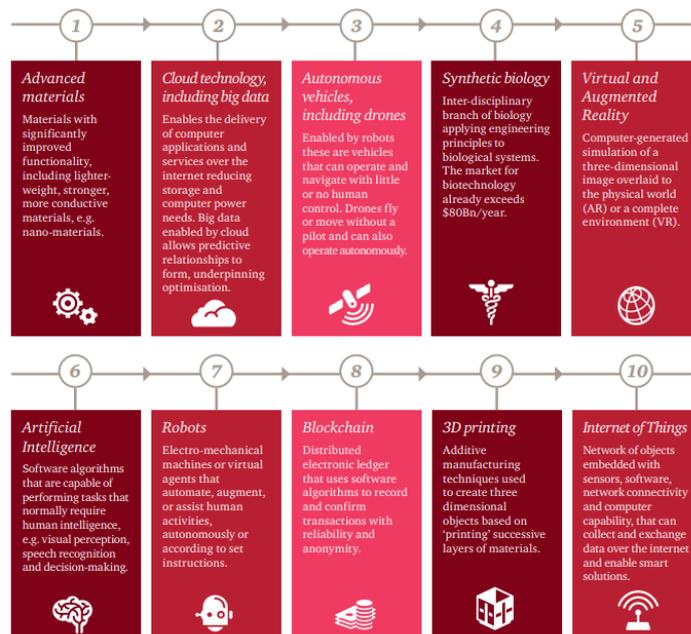
Neste sentido, a Agenda 2030 tem um alcance e significado sem precedentes. Registrando uma visão de mundo ambiciosa e transformadora, com foco na liberdade e nas parcerias inovativas, onde toda vida pode prosperar e em que são assegurados os direitos humanos e sociais a todos, sem distinção de qualquer natureza, o documento “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, texto final aprovado na Cúpula das Nações Unidas, realizada em setembro de 2015, em Nova York, destaca, ainda:

9. Prevemos um mundo em que cada país desfrute de um crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável e de trabalho decente para todos. Um mundo em que os padrões de consumo e produção e o uso de todos os recursos naturais – do ar à terra; dos rios, lagos e aquíferos aos oceanos e mares – são sustentáveis. Um mundo em que a democracia, a boa governança e o Estado de Direito, bem como um ambiente propício nos níveis nacional e internacional, são essenciais para o desenvolvimento sustentável, incluindo crescimento econômico inclusivo e sustentado, desenvolvimento social, proteção ambiental e erradicação da pobreza e da fome. Um mundo em que o desenvolvimento e a aplicação da tecnologia são sensíveis ao clima, respeitem a biodiversidade e são robustos. Um mundo em que a humanidade viva em harmonia com a natureza e em que animais selvagens e outras espécies vivas estejam protegidos. (ONU(BRASIL), 2015)

No mesmo sentido, Celine Herweijer e outros (Herweijer C. e., 2020) indicam que a quarta revolução industrial oferece um imenso potencial transformador das economias, da sociedade e da proteção do planeta a partir de

estudo feito pelo Think20 Group para o G20. Ao contrário das outras revoluções industriais, são sugeridos 10 instrumentos da 4ª Revolução Industrial que poderiam convergir para a implementação da Agenda 2030, conforme a figura abaixo:

Figura 1 – Instrumentos da quarta revolução industrial capazes de transformação social e proteção do planeta



Fonte: G20 (PriceWaterHouse, 2017)

Nessa figura, o *blockchain* situa-se como a oitava plataformas de inovação para o Planeta, como um livro eletrônico distribuído que usa a programação de algoritmos para registrar e confirmar transações com confiabilidade e anonimato, podendo atuar em conjunto com a internet das coisas(10) e com a inteligência artificial(6). No âmbito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que tornam concreta a Agenda 2030, a sustentabilidade também correlaciona-se à inovação, havendo, por conseguinte, uma sinergia entre a implementação dos ODSs e os instrumentos da 4ª Revolução Industrial.

Tal ação da Agenda 2030 e do G20 merecem novos incentivos em face da pandemia do COVID-19, como destaca o Observatório do Futuro, parceria entre o Tribunal de Contas do Estado de São Paulo e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), braço da ONU responsável pelos ODS:

Foi um ano como nenhum outro. Pego de surpresa por um vírus mortal e altamente transmissível no início de 2020, o mundo parou. Pouco a pouco a humanidade foi tomada por uma onda de incerteza e terror poucas vezes vista, mergulhando em uma crise multifacetada, de proporções históricas e sem data para acabar. O resultado? Até o dia 15 de janeiro de 2021, a Covid-19 já havia alcançado a inacreditável marca de dois milhões de mortes no planeta. Um número que, em países como os Estados Unidos, chegou a superar o de baixas na Segunda Guerra Mundial (Tribunal de Contas do Estado de São Paulo, 2021, p. 4) (...)

“Não podemos voltar ao mundo que tínhamos antes. Isso significaria deixar vulnerabilidades que essa crise trouxe sem resposta”, ponderou [Amina Mohammed, vice-secretária-geral da ONU]. “Temos uma oportunidade única agora de utilizar essa crise para iniciar a década de ação para implementar os ODS.” (Tribunal de Contas do Estado de São Paulo, 2021, p. 6)

Por meio da Agenda 2030, os países se comprometeram a promover o desenvolvimento sustentável, através de objetivos e metas bem definidos, que podem ser adotados pelos Estados-membros de acordo com suas especificidades, no intuito de formar uma parceria global orientada às escolhas adequadas para melhorar a vida dos cidadãos do planeta de hoje e do futuro: “comprometemo-nos que ninguém seja deixado para trás” (ONU(BRASIL), 2015).

Dentre os diversos objetivos apresentados, o ODS-9 guarda especial relação com a proposta deste artigo de correlacionar *blockchain* com sustentabilidade, ao enunciar a busca pela construção de infraestruturas resilientes, promovendo a industrialização inclusiva e sustentável, com fomento a inovação. Este objetivo, visto a partir do âmbito nacional, permite a boa gestão da riqueza e dos recursos naturais brasileiros, com vistas a um modelo adequado de crescimento econômico, social e ecológico pautado **na inovação e no desenvolvimento tecnológico**.

O conceito de infraestrutura é amplo e pode ser visto por vários enfoques. Para o Banco Mundial (BANCO MUNDIAL, 1994), pode-se entender a infraestrutura, de forma geral, como a composição de setores com características de economias de escala e externalidades positivas. Assim, nessa caracterização, organiza-se a infraestrutura em três setores: (i) energia elétrica, telecomunicações, serviços de

água e esgoto e coleta de lixo; (ii) rodovias e sistemas de irrigação e drenagem e (iii) sistemas de transporte: portos, serviços de transporte ferroviário urbano e interurbano, transporte rodoviário urbano, hidrovias e aeroportos. Neste artigo, procuraremos enfatizar a primeira categoria, chamada de infraestrutura hidroenergética, usando como exemplo o sistema *blockchain* usado pela IBM na Califórnia para garantir a infraestrutura hídrica do aquífero Sacramento-San Joaquin River, buscando sustentabilidade para as cidades da região de São Francisco, para o Silicon Valley, para as atividades da agricultura e da proteção ecológica (Chohan, 2019, pp. 1-3). Esse modelo inovador pode e deve ser reproduzido em outras partes do mundo em que a água é uma tragédia dos comuns.

Por sua vez, para a Agenda 2030, o conceito de infraestrutura, termo chave do ODS-9, possui diversas dimensões, dentre as quais podem ser elencadas: transporte, energia, habitação, telecomunicações, água e saneamento. Deve-se destacar que algumas dessas dimensões estão contempladas, também, em outros objetivos específicos, como, por exemplo: ODS-6 (assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos) – também enfatizado no exemplo trazido do *blockchain/IBM*, ODS-7 (assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos) e ODS-11 (tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis). As metas do ODS 9 exploram a importância da infraestrutura para o desenvolvimento econômico, sem esquecer de destacar sua importância crucial para a qualidade de vida da população e proteção ambiental, como detalha a Meta 9.4:

Até 2030, modernizar a infraestrutura e reabilitar as indústrias para torná-las sustentáveis, com eficiência aumentada no uso de recursos e maior adoção de tecnologias e processos industriais limpos e ambientalmente adequados; com todos os países atuando de acordo com suas respectivas capacidades (ONU, 2015).

Nesse contexto, deve ser vista a contribuição do *blockchain* para a sustentabilidade do planeta. Apresenta-se como uma opção de modernização e inovação da infraestrutura no contexto da proteção dos recursos naturais.

2. Blockchain, tragédia dos comuns, custos de transação e a proteção ambiental: o caso gestão hídrica do aquífero de sacramento na Califórnia pela IBM

O blockchain pode ajudar a enfrentar os desafios de governança ambiental, na medida que oferece um registro seguro e verificável de quem troca o que com quem, bem como o que cada um tem em um determinado momento (Séve, Miriam Denis Le; Mason, Nathaniel; Nassiry, Darius, 2018). Isso é fundamental para evitar a tragédia dos comuns de Garret Hardin e para diminuir os custos de transação, o que favorece o crescimento econômico no presente e no futuro.

O conceito da tragédia dos comuns foi identificado inicialmente pelo economista: Garret Hardin (Hardin, pp. 27-28). O autor cunhou o termo para descrever os problemas decorrentes do uso comum das pastagens com as ovelhas de diferentes proprietários. Os interesses individuais no curto prazo são relevantes e proporcionam alguma vantagem durante um período de tempo. Porém, no longo prazo a soma de todos os interesses levam a uma situação de insustentabilidade e todos perdem no final. Talvez o exemplo mais contundente de tragédia dos comuns seja o do uso da água compartilhado pelos usuários potenciais de recurso escasso na Califórnia ou nos inúmeros condomínios de prédios e casas dos centros urbanos do nosso país. Em um condomínio, o uso é compartilhado, entretanto a medição é única para todos, com o posterior (e injusto) rateio das contas pelos condôminos. O resultado demonstra que a medição única do consumo do condomínio seja sempre maior do que normalmente seria, se o consumo (ou a medição) fosse individual. Um estudo de YAMADA et al (2001) mostrou um comparativo entre dois blocos similares de prédios, um com medição individual e o outro bloco com medição coletiva. Os resultados mostraram que a diferença média de consumo foi de 17% a mais do condomínio com medição coletiva (Yamada, 2001, p. 6).

Além disso, observou-se que existe grande despreocupação e desconhecimento por parte da população que reside em habitações com medição coletiva de “ações de economia e racionalização da utilização da água” (Yamada, 2001, p. 12).

A diminuição dos custos de transação pode ocorrer nos termos propostos pelo teorema de Coase, bem enunciado pelo professor de economia da Universidade do Colorado, Steven Medema: “Se os direitos estão completamente definidos e os custos de transação são iguais a zero, a barganha voluntária dos agentes irá levar a um resultado eficiente (e invariável), sem embargo de como os direitos foram inicialmente atribuídos.” (Medema, 1994, p. 209)

Como ensina a Profa. Priscilla Menezes Silva (Silva, 2021), citando Satoshi Nakamoto, a questão do duplo pagamento é evitada no blockchain, ocasionando a diminuição dos custos de transação. No artigo, Nakamoto (Nakamoto, pp. 1-2) expressou a sua preocupação com o processamento eletrônico de pagamentos tradicional, por este se basear unicamente na confiança dos transacionistas em um intermediário, o que aumenta o custo da transação. Neste sentido, apontou o chamado “problema do gasto duplo”, isto é, de que, por uma falha da entidade que centraliza a operação de uma transação, permita-se que alguém gaste dinheiro mais de uma vez. Nesse aspecto, o blockchain pode ser usado para reforçar os direitos de usar um recurso natural, comprovando alegações de impacto ambiental, reduzindo e incentivando ações ambientalmente sustentáveis, evitando as preocupações externadas no conceito da tragédia dos comuns que apresenta pontos de contato com o artigo de Satoshi Nakamoto. Em ambos, “problema dos gastos duplos” e “insustentabilidade do uso de recursos naturais”, há a necessidade de regras claras para favorecer a barganha voluntária eficiente.

Nesse contexto, a Freshwater Trust (TFT), uma organização sem fins lucrativos do terceiro setor, junto com a Universidade de Colorado Boulder, que trabalha para proteger e restaurar ecossistemas de água doce, em parceria com a IBM Research e a SweetSense Inc., fornecedora de sensores conectados por satélite de baixo custo, fizeram parceria para utilizar tecnologia blockchain, monitorando e rastreando com precisão o uso de águas subterrâneas em um dos maiores e mais ameaçados aquíferos da América do Norte: o aquífero de Sacramento-San Joaquin River Delta (Wolfson, 2019).

Com o uso da internet da coisas por meio de sensores que transmitem dados de extração de água para satélites em órbita e da tecnologia blockchain, desenvolvida pela IBM (IBM HYPERLEDGER, protocolo *proof of authority*) hospedada no IBM Cloud. O *blockchain* registra todas as trocas de dados ou transações feitas em um livro-razão imutável, evitando o duplo usos de água não contabilizado. Ademais, o *blockchain* da IBM também utiliza "contratos inteligentes", pelos quais transações protetivas e negociais podem ser executadas automaticamente de acordo com a política pública de gestão de água do Estado da Califórnia, quando as condições fáticas e jurídicas são combinadas (Wolfson, 2019).

Por meio de um painel baseado na Web, os consumidores de água, incluindo os agricultores; financiadores e reguladores, podem monitorar e acompanhar o uso de águas subterrâneas, mantendo níveis de bombeamento sustentáveis. Esta sustentabilidade pode ser alcançada por meio da negociação de ações de uso de águas subterrâneas no Estado da Califórnia, garantindo transparência nas operações. Os usuários individuais que necessitarem de quantidades de águas subterrâneas além do seu limite de uso, poderão "comprar" quantidades adicionais de águas subterrâneas de usuários que não requerem toda a sua oferta por um preço regulamentado pelo mercado (IBM, 2019). Aqui evidencia-se a equidade social garantida por essa plataforma, que permite a participação de todos no uso da tecnologia sem que ocorra a tragédia do uso comum sem contabilização conhecida e divulgada para todos.

Exemplificando, um agricultor de morango que esteja planejando parar sua produção, temporariamente, nesse momento, para se preparar para uma colheita orgânica no próximo ano, pode negociar ou vender seus créditos excedentes de água para outro agricultor da área vinícola por meio da *blockchain*. Tal transação demonstrada na figura abaixo, poderá ser feita automaticamente, sem impactar negativamente o aquífero:

Figura 2 – Transação sustentável hídrica incentivada pela tecnologia *blockchain*



Fonte: State of California Tackles Drought with IoT & Blockchain (IBM Research, 2019)

No mesmo contexto, Usman Chohan destaca as vantagens do uso do *blockchain* e da internet das coisas na gestão hídrica do aquífero Sacramento-San Joaquin: “O *blockchain* permitirá a medição em imediata (em tempo real) e de forma transparente da quantidade de água utilizada por meio de satélites que conectavam dados na nuvem de sensores instalados no aquífero” (Chohan, 2019).

Essa governança inovadora evita a tragédia dos comuns! É aqui que a plataforma tecnológica baseada no *blockchain* contribui para a proteção de um bem de todos. Ela permite um "consenso" — um acordo amplo, coordenado e de imediata execução — em um ambiente de manutenção de decisões individuais reguladas pelo mercado. Isso significa que cada ator no sistema, fazendo seus próprios cálculos para maximizar seu interesse próprio, criando um estado de equilíbrio e sustentabilidade que usa e não abusa do recurso.

Essa tecnologia apresenta-se relevante para o bem ambiental, pois este vincula-se ao princípio da prevenção e da precaução. Procura-se agir o mais cedo possível para evitar o dano ambiental certo (prevenção) ou o incerto (precaução).

Nesta perspectiva, o princípio da prevenção implica na adoção de medidas antes da ocorrência de um dano concreto, adota-se a prevenção com o uso do *blockchain* para evitar danos "cujas causas são bem conhecidas, com o fim de evitar a verificação desses danos ou, pelo menos, de minorar significativamente os seus efeitos" (Aragão, 2002, p. 21). Já o princípio da precaução se resume a diante da ausência de certeza, levando em conta os conhecimentos científicos e técnicos do

momento, não se deve retardar a adoção de medidas efetivas e proporcionais, visando a prevenir o risco de danos graves e irreversíveis, a um custo economicamente aceitável, assim:”todo agente público deve atuar de forma antecipada e planejada, mesmo sem certeza científica, com a finalidade de proteger o meio ambiente e conseqüentemente os interesses das gerações futuras”(tradução livre do autor) (Goldenber & Cafferata, 2001).

Nesse sistema, pois, o uso de “smart contracts” valida automaticamente as transações de forma que elas não podem violar normas hidro-ambientais protetivas do aquífero de acordo com a legislação hídrica de água subterrânea da Califórnia - Sustainable Groundwater Management Act de 2014 (Chohan, 2019).

A Lei de Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas foi promulgada com o objetivo de deter o excessivo uso da água subterrânea que acarretava danos ambientais e econômicos aos agricultores da região, permitindo a extração sustentável de água subterrânea. Destacando que a utilização de água subterrânea mostra-se relevante na região devido aos períodos de seca existente na região (CALIFORNIA WATER BOARDS, 2020).

Exemplificando, a Lei de Gestão Sustentável das Águas Subterrâneas prevê que em áreas com escassez de água, a extração de água subterrânea está sujeita a limitações e ao pagamento de taxas pela utilização do volume extraído (AQUAOSO, 2020) . Esse dispositivo legal, pode ter sua implementação imediata por meio do uso de *smart contracts*, inteligência artificial, internet das coisas e *blockchain* que em tempo real garantiram a transparência e sustentabilidade da extração.

3. Blockchain, a energia gasta na atividade de mineração e a busca de protocolos de validação sustentáveis

O uso estimado de energia pelo Bitcoin em Julho de 2018 foi de 70 terawatts horas por ano, o que equivaleria a toda a energia utilizada na Áustria em 2014, o que equivaleria a 0.35% do total de energia utilizado no mundo (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018, p. 25). Sem dúvida, esta é uma externalidade relevante ao

se planejar a utilização do blockchain para garantia da sustentabilidade.

Uma das decisões mais relevantes ao projetar um sistema público de *blockchain*, como o de controle de recursos naturais, é como equilibrar a centralização e a descentralização da validação de um novo bloco. Esse equilíbrio está diretamente ligado ao maior ou menor consumo energético.

Aqui há clara necessidade de se buscar novas arquiteturas de mineração de dados energeticamente mais eficientes. Por design, o Bitcoin usa bastante energia para mineração na implementação do protocolo *proof of work* (PoW). A segurança do blockchain depende de um algoritmo intensivo em computação para mineração de bitcoin, que evita o problema do duplo-gasto e a adulteração de transações confirmadas. Este algoritmo de "prova de trabalho" é exigente com a energia. O processo competitivo de adicionar blocos à cadeia é intensivo em computação e requer grande entrada de energia.

Por outro lado, existem outras moedas e outras aplicações blockchain que usam menos energia. Por exemplo, as transações da Ethereum consomem aproximadamente 12-14 vezes menos energia que a transação da Bitcoin, usando o protocolo *proof of stake* (PoS) (WORLD ECONOMIC FORUM, 2018, p. 25). Há, pois, a necessidade de buscar arquiteturas com protocolos seguros, mas não tão exigentes de energia.

Celine Herweijer e outros (Herweijer, Combes, & Jackson, 2017) sugerem para essa externalidade negativa, políticas públicas corretivas com a não utilização do sistema de mineração *proof of work* originário da moeda bitcoin e a utilização de outro que exige menos poder computacional e menos consumo de energia. Nesse aspecto, surge o protocolo "proof of authority", um protocolo consensual onde a autoridade de validação é um grupo pré-definido cuja tarefa de validação dos novos blocos pode ser feita de forma mais rápida e com menos gasto energético. No caso trazido para análise, foi usado o protocolo *proof of authority* no sistema de blockchain IBM HYPERLEDGER.

No sistema *proof of authority*, há a escolha prévia de um grupo de homologadores das transações baseado em um sistema de reputação de um grupo

baseado em um método consensual automatizado. Esses homologadores pré-definidos irão validar os novos blocos de informação de forma rápida e energeticamente eficiente. Ao contrário do grande poder computacional e do insustentável gasto energético da arquitetura *proof of work*, no protocolo *proof of authority* não há necessidade de resolução de um complexo problema matemático para a validação do novo elo da corrente de transações, o que o torna mais rápido e adequado para tarefas de controle de políticas públicas (Rashid, 2019).

Conclusão

A tecnologia blockchain inspirada em um problema econômico de duplo pagamento apresenta características que favorecem o seu uso para a consecução dos objetivos de desenvolvimento sustentável, como demonstra o caso analisado da gestão hídrica de água subterrânea em Sacramento na Califórnia com o uso protocolo “*proof of authority*” no sistema de blockchain IBM HYPERLEDGER.

A arquitetura original da tecnologia blockchain de Nakamoto converge para a proteção dos recursos naturais finitos e escassos, mostrando-se como instrumento eficiente para evitar a tragédia dos comuns prevista por Garret Hardin, diminuindo os custos de transação e facilitando a eficiência da gestão pública dos recursos naturais.

A diminuição dos custos de transação permite um modelo de gestão sustentável mais eficiente e eficaz que os tradicionais mecanismos de controle estatal da proteção dos recursos naturais

Ademais, a plataforma *blockchain* viabiliza a utilização integrada da internet das coisas e dos contratos inteligentes o que permite a gestão eficiente de tarefas complexas de forma sustentável.

As características de descentralização da arquitetura, de imutabilidade dos dados, da transparência e da segurança do *blockchain* o tornam ferramenta adequada para controle de bens ecológicos sujeitos à tragédia dos comuns.

No entanto, há necessidade de adequação da tecnologia *blockchain* para modelos de maior eficiência energética. Nesse aspecto, já existem novas arquiteturas

que propiciam melhor eficiência energética no processo de validação das transações escrituradas. Existe, pois a necessidade de adoção de arquitetura distinta da adotada no protocolo *proof of work* (PoW) do Bitcoin. Nesse contexto, surgem protocolos como o *proof of authority* que garante menor gasto energético e validação mais rápida.

Referências

- AQUAOSO. **SGMA California**. (AQUAOSO) Acesso em 29 de Outubro de 2021, disponível em SGMA California: the comprehensive guide for agriculture and land professionals: <https://info.aquaoso.com/sgma-ebook-lp>
- ARAGÃO, M. A. **Direito comunitário do ambiente**. Coimbra: Almedina, 2022.
- BANCO MUNDIAL. **World development report 1994: infrastructure for development**. Washington: World Bank, 1994.
- BATTISTELLI, F., & GALANTINO, M. (Janeiro de 2019). Dangers, risks and threats: an alternative conceptualization to the catch-all concept of risk. **Current Sociology**, p. 64 a 78. Acesso em 20 de março de 2021, disponível em <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/0011392118793675>
- CALIFORNIA WATER BOARDS. (1 de January de 2020). **Groundwater Management Program**. (California Government) Acesso em 30 de Outubro de 2021, disponível em The Sustainable Groundwater Management Act: https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/gmp/
- CHOHAN, U. W. (11 de February de 2019). Blockchain and Environmental Sustainability: Case of IBM's Blockchain Water Management. **Notes on the 21st Century (CBRI)**, 1(1), p. 9. Fonte: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3334154
- GOLDENBER, I. H., & CAFFERATA, N. A. (2001). **Daño ambiental: problemática de su determinación causal**. Buenos Aires: Abeledo -Perrot.
- HARDIN, G. (s.d.). **Garret Hardin Society**. Acesso em 03 de Outubro de 2021, disponível em The Tragedy of the Commons: http://www.garretthardinsociety.org/articles_pdf/tragedy_of_the_commons.pdf
- HERWIJER, C. e. (10 de December de 2020). **G20 INSIGHTS**. Acesso em 20 de Agosto de 2021, disponível em Enabling a sustainable Fourth Industrial Revolution: How G20 countries can create the conditions for emerging technologies to benefit people and the planet: https://www.g20-insights.org/policy_briefs/enabling-sustainable-fourth-

industrial-revolution-g20-countries-can-create-conditions-emerging-technologies-benefit-people-planet/

IBM. (8 de February de 2019). **IBM Newsroom**. Acesso em 10 de Setembro de 2021, disponível em The Freshwater Trust, IBM Research and SweetSense Inc. aim to make groundwater usage sustainable: <https://newsroom.ibm.com/2019-02-08-State-of-California-Tackles-Drought-with-IoT-Blockchain>

IBM Research. (8 de February de 2019). **YOUTUBE**. Acesso em 10 de Outubro de 2021, disponível em State of California Tackles Drought with IoT & Blockchain: <https://www.youtube.com/watch?v=jpWHjCY3yZU>

LUHMANN, N. (2005). **Risk: a sociological theory**. New York: Routledge.

MEDEMA, S. G. (1994). The myth of two Coases: what Coase is really saying. **Journal of Economic Issues**, 28(1).

NAKAMOTO, S. (s.d.). **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**. Acesso em 10 de Agosto de 2021, disponível em <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

O'DWYER, K. e. (2014). **Bitcoin Mining and its Energy Footprint**. Acesso em 30 de Agosto de 2021, disponível em ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/271467748_Bitcoin_Mining_and_its_Energy_Footprint

ONU. (13 de Outubro de 2015). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Acesso em 10 de Agosto de 2021, disponível em Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>

ONU(BRASIL). (27 de setembro de 2015). **Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Acesso em 20 de outubro de 2021, disponível em Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável: <https://brasil.un.org/pt-br/91863-agenda-2030-para-o-desenvolvimento-sustentavel>

PriceWaterHouse. (1 de January de 2017). **Harnessing technological breakthroughs for people and the planet** . Acesso em 20 de Agosto de 2021, disponível em Innovation for the Earth: <https://www.pwc.co.uk/sustainability-climate-change/assets/innovation-for-the-earth.pdf>

RASHID, A. Smart contracts integration between blockchain and internet of things: opportunities and challenges. **International Conference on Advancements in Computational Sciences**, 2019. Acesso em 20 de Novembro de 2021, disponível em https://www.academia.edu/38976441/Smart_Contracts_Integration_between_Blockchain_and_Internet_of_Things_Opportunities_and_Challenges

SACHS, I. Pensando sobre o desenvolvimento na era do meio ambiente. Em **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

SÉVE, Miriam Denis Le; Mason, Nathaniel; Nassiry, Darius. (3 de October de 2018). **ODI**. Acesso em 20 de Setembro de 2021, disponível em Delivering blockchain's potential for environmental sustainability: <https://odi.org/en/publications/delivering-blockchains-potential-for-environmental-sustainability/>

SILVA, P. M. **Aulas de Blockchain e Direito**. Acesso em 30 de Agosto de 2021, disponível em ITS/UERJ: <https://educacaoonlineitsrio.com.br/ng/student/courses/t1-blockchain-e-direito-2021-ponto-2/lectures/blockchain-e-direito/contents/60f0918c3723100020e77b64/>

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **O impacto da pandemia nos ODS**. Acesso em 20 de Agosto de 2021, disponível em Observatório do Futuro: <https://www.tce.sp.gov.br/observatorio/impacto-pandemia-ods>

WOLFSON, R. **FORBES**. Acesso em 29 de Agosto de 2021, disponível em IBM Pilots Blockchain and IoT Sensor Solution To Track Sustainable Groundwater Usage In California: <https://www.forbes.com/sites/rachelwolfson/2019/02/08/ibm-pilots-blockchain-and-iot-sensor-solution-to-track-sustainable-groundwater-usage-in-california/?sh=528e44a63edb>

WORLD ECONOMIC FORUM. **Fourth Industrial Revolution for the Earth Series**, 2018. Acesso em 20 de Outubro de 2021, disponível em Building Block(chain)s for a Better Planet : http://www3.weforum.org/docs/WEF_Building-Blockchains.pdf

YAMADA, E. **Os impactos da medição individualizada do consumo de água em edifícios residenciais multifamiliares**. São Paulo: EPUSP. Acesso em 20 de outubro de 2021, disponível em http://www.pcc.usp.br/files/text/publications/BT_00297.pdf