

**GOVERNANÇA  
POLICÊNTRICA DA ÁGUA  
EM SISTEMAS  
SOCIOECOLÓGICOS DO  
SEMIÁRIDO: INTEGRAÇÃO  
ENTRE TECNOLOGIAS  
DIGITAIS  
DESCENTRALIZADAS E  
CONHECIMENTO  
TRADICIONAL**

**POLYCENTRIC WATER GOVERNANCE IN SOCIOECOLOGICAL SYSTEMS OF  
THE SEMI-ARID: INTEGRATING DECENTRALIZED DIGITAL TECHNOLOGIES  
AND TRADITIONAL KNOWLEDGE**

Ciências Exatas e da Terra, Ciências Sociais Aplicadas, Ciências  
Humanas

• 08/03/2026

---

Paulo Roberto Ramos<sup>1</sup>  
Sidclay Cordeiro Pereira<sup>2</sup>  
Rodrigo Almeida Ferreira<sup>3</sup>  
Maria Miryam da Silva Alves<sup>4</sup>  
Kelma dos Santos Passos Oliveira<sup>5</sup>  
Ilbetânia Maria Batista<sup>6</sup>  
Pedro Paulo da Cunha<sup>7</sup>  
Marcia Efigênia Pereira de Aquino Bartolomeu<sup>8</sup>  
Armando Bagagi Bezerra<sup>9</sup>  
Giovanna Monteiro Cavalcante Durando<sup>10</sup>  
Italo Alan Barbosa Bispo<sup>11</sup>  
Eliane Soares Teixeira Dias<sup>12</sup>  
Sebastião José Amorim Gomes<sup>13</sup>  
Mariana Santana de Jesus<sup>14</sup>

---

## RESUMO

A gestão da água em regiões semiáridas constitui um dos principais desafios contemporâneos da governança ambiental, especialmente em contextos nos quais sistemas comunitários de uso coletivo coexistem com pressões crescentes sobre recursos naturais. O problema central reside na fragilidade institucional e na dificuldade de monitorar e coordenar o uso da água em sistemas de recursos comuns, frequentemente marcados por assimetrias de poder, conflitos distributivos e limitações infraestruturais. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar criticamente como tecnologias digitais descentralizadas podem contribuir para fortalecer sistemas de governança hídrica baseados em instituições comunitárias e conhecimentos tradicionais. Metodologicamente, realizou-se uma revisão integrativa da literatura conduzida entre novembro de 2025 e fevereiro de 2026, a partir de buscas sistemáticas em bases internacionais e aplicação de critérios rigorosos de elegibilidade, resultando em um corpus analítico selecionado após processo de triagem e análise comparativa dos estudos. Os resultados indicam que tecnologias como Internet das Coisas, blockchain e contratos inteligentes apresentam potencial para ampliar capacidades de monitoramento ambiental, transparência institucional e verificação de regras em sistemas de governança policêntrica. Entretanto, a literatura também evidencia limitações relacionadas à desigualdade de acesso tecnológico, aos desafios de implementação em contextos rurais e aos riscos de concentração de poder informacional. Conclui-se que a integração entre infraestruturas digitais e instituições comunitárias pode fortalecer a governança de recursos comuns quando orientada por arranjos sociotécnicos participativos, nos quais tecnologia, conhecimento local e deliberação coletiva se articulam para ampliar a capacidade adaptativa da gestão hídrica em sistemas socioecológicos

complexos.

**Palavras-chave:** Monitoramento Ambiental. Infraestrutura Sociotécnica. Transparência Institucional. Governança Comunitária. Sustentabilidade Hídrica.

## **ABSTRACT**

Water management in semi-arid regions represents one of the most pressing challenges in contemporary environmental governance, particularly in contexts where community-based commons coexist with increasing pressures on natural resources. The central problem lies in institutional fragility and the difficulty of monitoring and coordinating water use in common-pool resource systems often characterized by power asymmetries, distributive conflicts, and infrastructural limitations. In this context, the objective of this study was to critically analyze how decentralized digital technologies may contribute to strengthening water governance systems grounded in community institutions and traditional knowledge. Methodologically, an integrative literature review was conducted between November 2025 and February 2026 through systematic searches in international databases and rigorous eligibility criteria, resulting in an analytical corpus selected after a structured screening and comparative analysis of the studies. The results indicate that technologies such as the Internet of Things, blockchain, and smart contracts may expand environmental monitoring capacities, institutional transparency, and rule verification in polycentric governance systems. However, the literature also highlights limitations related to technological inequality, implementation challenges in rural contexts, and risks associated with informational power concentration. The study concludes that integrating digital infrastructures with community institutions may strengthen commons governance when guided by participatory

sociotechnical arrangements in which technology, local knowledge, and collective deliberation interact to enhance the adaptive capacity of water management in complex socioecological systems.

**Keywords:** Environmental Monitoring. Sociotechnical Infrastructure. Institutional Transparency. Community Governance. Water Sustainability.

## 1. INTRODUÇÃO

Regiões semiáridas configuram alguns dos sistemas socioambientais mais sensíveis às transformações climáticas contemporâneas, caracterizando-se por regimes pluviométricos irregulares, elevada variabilidade hidrológica e recorrência de secas prolongadas. Nesses territórios, a água assume simultaneamente o estatuto de recurso ecológico crítico, bem público essencial e ativo estratégico para a reprodução social das comunidades rurais.

Entretanto, a chamada crise hídrica não pode ser interpretada exclusivamente como um fenômeno biofísico associado à escassez natural de precipitação ou à intensificação da variabilidade climática. Em grande medida, ela expressa também uma crise institucional relacionada às formas de governança que estruturam o acesso, a distribuição e o monitoramento do recurso hídrico em contextos de vulnerabilidade ambiental.

A literatura sobre sistemas socioecológicos tem demonstrado que a sustentabilidade da gestão de recursos naturais depende da interação dinâmica entre processos ecológicos, arranjos institucionais e práticas sociais. Nesse sentido, a água em regiões semiáridas constitui um exemplo paradigmático de sistema socioecológico complexo, no qual processos hidrológicos,

instituições locais e relações de poder se entrelaçam continuamente. Em tais contextos, soluções tecnocráticas baseadas exclusivamente em infraestrutura hidráulica ou em políticas centralizadas frequentemente revelam limitações estruturais, pois desconsideram a dimensão institucional e cultural que regula o uso do recurso (Ostrom, 2009).

Nesse quadro, a governança ambiental emerge como uma categoria analítica central para compreender como diferentes atores sociais, como comunidades locais, organizações coletivas, instituições públicas e agentes econômicos, participam da construção das regras que orientam o uso dos recursos naturais. O desafio consiste em entender como essas instituições conseguem responder às pressões ambientais e sociais sem comprometer a resiliência dos sistemas socioecológicos.

Revisões recentes da literatura indicam que a eficácia desses sistemas depende da existência de mecanismos de monitoramento social, aprendizagem institucional e adaptação normativa às condições locais, elementos frequentemente frágeis em regiões marcadas por desigualdades socioeconômicas e limitações infraestruturais (Partelow, 2018; Nagel et al., 2022).

Em muitas regiões rurais, a gestão da água ocorre por meio de arranjos institucionais baseados em sistemas de uso coletivo, frequentemente denominados commons ou recursos de uso comum. Esses sistemas caracterizam-se pela existência de recursos compartilhados, como reservatórios comunitários, aquíferos ou canais de irrigação, cujo acesso depende de regras coletivamente estabelecidas e socialmente monitoradas. Diferentemente de regimes baseados na propriedade privada ou no controle estatal

centralizado, os sistemas de comuns pressupõem formas de governança comunitária nas quais os próprios usuários participam da definição, da implementação e da fiscalização das regras de uso (Ostrom, 1990).

A teoria institucional desenvolvida por Ostrom demonstrou que comunidades locais podem construir arranjos institucionais robustos para a gestão sustentável de recursos compartilhados quando existem condições como fronteiras claramente definidas, mecanismos de monitoramento e sistemas graduais de sanções. Contudo, a aplicação desses princípios em contextos empíricos revela desafios significativos, especialmente quando pressões externas, tais como mercados, intervenções políticas ou mudanças tecnológicas, desestabilizam as instituições locais.

Em regiões semiáridas, tais desafios tendem a se intensificar devido à elevada dependência do recurso hídrico para abastecimento humano e atividades produtivas, o que frequentemente amplia disputas distributivas e assimetrias de poder entre usuários. Nesses contextos, práticas de captura institucional e formas de clientelismo hídrico podem emergir, comprometendo a legitimidade e a eficácia dos sistemas de governança comunitária (Agrawal, 2001).

Paralelamente a esses desafios institucionais, avanços recentes em tecnologias digitais têm sido apresentados como potenciais catalisadores de novos modelos de governança de recursos naturais. Entre essas tecnologias destacam-se a Internet das Coisas (IoT), as infraestruturas baseadas em blockchain e os chamados contratos inteligentes, que permitem automatizar determinadas regras institucionais por meio de sistemas digitais programáveis. Sensores conectados à Internet das Coisas possibilitam monitorar em tempo

real variáveis ambientais, como níveis de reservatórios ou fluxos de irrigação, ampliando significativamente a capacidade de monitoramento dos recursos naturais. Ao mesmo tempo, tecnologias blockchain permitem registrar dados e transações de forma descentralizada e imutável, criando mecanismos de verificação distribuída que reduzem a dependência de intermediários institucionais centralizados (Swan, 2015).

Nesse contexto, contratos inteligentes surgem como instrumentos capazes de executar automaticamente determinadas regras coletivas previamente estabelecidas, ativando decisões programadas quando condições ambientais específicas são atingidas. Essa característica abre novas possibilidades para a governança de recursos comuns, pois permite traduzir acordos coletivos em mecanismos automáticos de monitoramento e cumprimento institucional (Christidis; Devetsiokiotis, 2016).

No entanto, a incorporação dessas tecnologias também suscita questões críticas relacionadas à desigualdade de acesso tecnológico, à concentração de poder informacional e ao risco de substituição de processos deliberativos comunitários por sistemas algorítmicos de decisão. Assim, a literatura recente enfatiza que a tecnologia não deve ser compreendida como solução autônoma para problemas institucionais, mas como infraestrutura sociotécnica que precisa ser integrada aos arranjos institucionais existentes e às práticas sociais que estruturam a governança dos recursos naturais (Tapscott; Tapscott, 2016).

Diante desse cenário, emerge uma questão central para a literatura sobre gestão de recursos comuns: como integrar tecnologias digitais descentralizadas em contextos de governança comunitária de

recursos naturais sem comprometer a autonomia institucional e a legitimidade social desses sistemas? Essa questão torna-se particularmente relevante em territórios semiáridos, onde a gestão da água depende frequentemente de arranjos institucionais baseados em conhecimento local, normas sociais e mecanismos informais de monitoramento. A introdução de infraestruturas digitais nesses contextos pode tanto fortalecer capacidades institucionais quanto gerar novas assimetrias de poder, especialmente quando o controle das tecnologias não é socialmente distribuído.

Nesse sentido, a literatura sobre governança policêntrica sugere que a sustentabilidade de sistemas socioecológicos depende da existência de múltiplos centros de decisão interconectados capazes de articular diferentes escalas institucionais e territoriais. Tecnologias digitais podem contribuir para ampliar as capacidades de monitoramento e coordenação desses sistemas, desde que sejam concebidas como instrumentos de apoio às instituições comunitárias e não como substitutos dos processos deliberativos locais (Ostrom, 2007).

Diante desse contexto, o objetivo deste estudo é sintetizar criticamente a literatura científica sobre governança socioecológica, Internet das Coisas e tecnologias blockchain aplicadas à gestão de recursos naturais, identificando convergências, lacunas e desafios nesse campo emergente de pesquisa.

A partir dessa análise, o artigo propõe um framework de governança policêntrica da água ampliada por tecnologias digitais, no qual sensores ambientais e contratos inteligentes são concebidos como instrumentos de apoio ao monitoramento e à implementação das

regras coletivamente estabelecidas. Adotando essa perspectiva, busca-se compreender a tecnologia não como solução técnica isolada, mas como componente de uma infraestrutura sociotécnica mais ampla na qual instituições comunitárias, conhecimento tradicional e sistemas digitais interagem na construção de novos arranjos de governança ambiental (Saber et al., 2019).

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1. A Teoria dos Comuns e os Princípios Institucionais de Elinor Ostrom**

O debate contemporâneo sobre governança de recursos naturais foi profundamente transformado pela teoria institucional dos commons, desenvolvida por Elinor Ostrom. Ao contestar a ideia de que recursos compartilhados inevitavelmente conduzem à chamada “tragédia dos comuns”, Ostrom demonstrou empiricamente que comunidades locais podem construir arranjos institucionais duradouros capazes de garantir a gestão sustentável de recursos de uso coletivo. Em sua obra clássica, a autora afirma que “os usuários de recursos comuns frequentemente desenvolvem instituições próprias para governar esses recursos de maneira sustentável” (Ostrom, 1990, p. 14).

A contribuição central dessa abordagem reside na identificação de princípios de design institucional que caracterizam sistemas de governança comunitária bem-sucedidos. Entre esses princípios destacam-se a definição clara das fronteiras do recurso e do grupo de usuários, a congruência entre regras de uso e condições locais, a participação dos usuários na definição das normas, a existência de mecanismos de monitoramento e a aplicação de sanções graduais

em caso de violação das regras. Como enfatiza Ostrom, “indivíduos que monitoram o comportamento dos usuários são responsáveis perante eles ou são os próprios usuários” (Ostrom, 1990, p. 94), evidenciando a importância do monitoramento social para a estabilidade institucional.

Entre esses princípios, o monitoramento ocupa posição central. Em sistemas de recursos comuns, a sustentabilidade do recurso depende da capacidade coletiva de acompanhar o comportamento dos usuários e garantir o cumprimento das regras acordadas. Nesse sentido, a autora destaca que “a presença de monitores ativos é um dos fatores críticos para o sucesso de regimes de recursos comuns” (Ostrom, 1990, p. 94). O monitoramento não se limita à vigilância formal, mas envolve um processo social de observação mútua e responsabilização coletiva.

Outro elemento fundamental refere-se à existência de regras adaptadas às condições locais. Para Ostrom, instituições eficazes não emergem de modelos institucionais universais, mas da adaptação de normas às características ecológicas e sociais de cada território. Conforme afirma a autora, “regras de apropriação que são congruentes com as condições locais tendem a ser mais robustas” (Ostrom, 1990, p. 90). Esse princípio é particularmente relevante em sistemas socioecológicos complexos, nos quais variáveis ambientais e sociais interagem de maneira dinâmica.

A teoria dos comuns também enfatiza a importância das sanções graduais. Em vez de punições severas e imediatas, sistemas institucionais resilientes adotam mecanismos progressivos de penalização que permitem corrigir comportamentos desviantes sem comprometer a coesão social da comunidade. Segundo Ostrom,

“usuários que violam regras operacionais são suscetíveis a sanções graduais” (Ostrom, 1990, p. 94), aplicadas por outros usuários ou por agentes responsáveis perante a comunidade.

Esses princípios institucionais estão inseridos em uma concepção mais ampla de governança policêntrica, na qual múltiplos centros de decisão interagem em diferentes escalas institucionais. Ao analisar sistemas socioecológicos complexos, Ostrom argumenta que “soluções policêntricas são frequentemente mais eficazes do que abordagens centralizadas” (Ostrom, 2009, p. 420). Nessa perspectiva, a sustentabilidade de recursos naturais depende da articulação entre instituições locais, regionais e nacionais, capazes de responder a desafios ambientais em diferentes níveis de governança.

Estudos recentes que aplicam o framework institucional de Ostrom em diferentes contextos socioambientais confirmam a relevância desses princípios para a compreensão da governança de recursos naturais. Ao examinar aplicações contemporâneas do modelo de sistemas socioecológicos, McCord et al. (2017, p. 4) observam que “a interação entre instituições, usuários e recursos constitui o núcleo analítico do framework de sistemas socioecológicos”, destacando a importância de compreender essas relações de forma integrada.

## **2.2. Sistemas Socioecológicos e Resiliência Institucional**

A abordagem dos sistemas socioecológicos (SES) emerge como uma das principais estruturas analíticas para compreender a governança de recursos naturais em contextos de complexidade ambiental e institucional. Essa perspectiva parte do reconhecimento de que ecossistemas e sociedades humanas não podem ser

analisados de forma separada, pois constituem sistemas interdependentes nos quais processos ecológicos, práticas sociais e instituições políticas interagem continuamente.

No framework de sistemas socioecológicos proposto por Ostrom, a sustentabilidade ambiental depende da interação entre quatro componentes principais: o sistema de recursos, as unidades de recurso, os atores envolvidos e o sistema de governança. Esses elementos interagem dentro de um contexto mais amplo de condições socioeconômicas e ambientais, produzindo resultados que podem variar entre sustentabilidade, degradação ou transformação institucional (Ostrom, 2009).

Revisões recentes da literatura indicam que o framework SES tornou-se uma das ferramentas analíticas mais utilizadas para examinar a governança de recursos naturais em diferentes contextos geográficos. Partelow (2018, p. 2) observa que “o framework de sistemas socioecológicos tornou-se amplamente aplicado para analisar a governança de recursos comuns”, permitindo integrar dimensões ecológicas, institucionais e sociais em uma única estrutura analítica.

Nesse sentido, a resiliência institucional emerge como um conceito central para compreender a capacidade dos sistemas socioecológicos de responder a perturbações ambientais e sociais. Instituições resilientes são aquelas capazes de aprender com experiências passadas, adaptar regras às mudanças ambientais e manter mecanismos eficazes de cooperação entre usuários. Como destacam Nagel et al. (2022, p. 3), “a aplicação do framework SES permite identificar como diferentes componentes institucionais e ecológicos interagem para produzir resultados de governança”.

Essa abordagem evidencia que a sustentabilidade de sistemas de recursos comuns não depende apenas de fatores ecológicos, mas também da capacidade institucional das comunidades de construir regras legítimas, resolver conflitos e adaptar práticas de uso do recurso às mudanças ambientais. Em contextos semiáridos, onde a variabilidade climática intensifica pressões sobre recursos hídricos, essa capacidade adaptativa torna-se particularmente relevante.

### **2.3. Crise de Confiança e Governança de Recursos Naturais**

Apesar da robustez teórica dos modelos de governança de recursos comuns, sua aplicação em contextos contemporâneos enfrenta desafios crescentes relacionados à fragilidade institucional e à erosão da confiança social. Sistemas de governança comunitária dependem fortemente de relações de confiança entre usuários, pois o cumprimento das regras muitas vezes se baseia em mecanismos informais de monitoramento e responsabilização social.

A erosão da confiança institucional tem sido apontada como um dos principais fatores de instabilidade em sistemas de governança ambiental. Gilbert (2019, p. 433) observa que “a confiança continua sendo um elemento fundamental para a credibilidade de sistemas de conhecimento e governança”, indicando que a fragilidade dessas relações pode comprometer a legitimidade das instituições responsáveis pela gestão de recursos naturais.

As transformações tecnológicas e informacionais têm introduzido novos desafios para a governança contemporânea. O crescente papel de algoritmos e sistemas digitais na mediação de decisões institucionais levanta questões sobre transparência, controle social e distribuição de poder informacional. Nesse contexto, Kitchin (2017, p.

16) destaca que “algoritmos não são neutros; eles incorporam valores e escolhas que influenciam resultados sociais”, ressaltando a necessidade de analisar criticamente as implicações políticas das tecnologias digitais.

Esses desafios tornam-se particularmente relevantes em contextos de governança de recursos naturais, nos quais decisões sobre acesso e distribuição de recursos podem gerar conflitos distributivos e disputas institucionais. Assim, a crise de confiança na governança ambiental não se limita à fragilidade de instituições tradicionais, mas envolve também a emergência de novas formas de poder associadas à infraestrutura tecnológica.

#### **2.4. Internet das Coisas e Monitoramento de Recursos Naturais**

O avanço da Internet das Coisas (IoT) tem ampliado significativamente as possibilidades de monitoramento de sistemas ambientais e produtivos. Sensores conectados permitem coletar dados em tempo real sobre variáveis ecológicas, como níveis de água, umidade do solo, temperatura e fluxos de irrigação, criando novas infraestruturas de informação capazes de apoiar a tomada de decisão em sistemas de gestão de recursos naturais.

No campo da agricultura e da gestão hídrica, essas tecnologias têm sido associadas ao conceito de agricultura inteligente, caracterizada pelo uso de dados digitais para otimizar práticas produtivas e reduzir impactos ambientais. Segundo Wolfert et al. (2017, p. 70), “a digitalização da agricultura está transformando a maneira como dados são coletados, processados e utilizados na gestão agrícola”.

Do ponto de vista institucional, a IoT também pode contribuir para ampliar capacidades de monitoramento em sistemas de recursos

comuns. Sensores ambientais podem reduzir custos de fiscalização e fornecer informações objetivas sobre o estado do recurso, diminuindo disputas associadas à verificação de regras de uso.

Além disso, tecnologias digitais permitem a integração entre sensores e sistemas de decisão automatizada. Conforme destacam Christidis e Devetsikiotis (2016, p. 2293), “a convergência entre blockchain e Internet das Coisas cria novas oportunidades para sistemas descentralizados de confiança”, possibilitando que dados coletados por sensores sejam registrados em infraestruturas digitais seguras e auditáveis.

## **2.5. Blockchain e Contratos Inteligentes na Governança Ambiental**

Entre as tecnologias digitais emergentes, a blockchain tem recebido crescente atenção no debate sobre governança ambiental e gestão de recursos naturais. Essa tecnologia baseia-se em sistemas distribuídos de registro de dados, nos quais transações são verificadas coletivamente por uma rede descentralizada de participantes.

Uma das principais características da blockchain é a possibilidade de criar registros imutáveis e transparentes de transações ou eventos ambientais. Como destacam De Filippi e Wright (2018, p. 33), “blockchains permitem a coordenação de atividades entre atores que não necessariamente confiam uns nos outros”, criando novas formas de organização institucional baseadas em protocolos digitais.

Nesse contexto, os chamados contratos inteligentes emergem como mecanismos capazes de automatizar determinadas regras institucionais. Esses contratos são programas computacionais que

executam automaticamente ações previamente definidas quando determinadas condições são atendidas. Segundo Zyskind, Nathan e Pentland (2015, p. 2), “contratos inteligentes permitem que regras codificadas sejam executadas automaticamente sem a necessidade de intermediários confiáveis”.

No campo da sustentabilidade, essas tecnologias têm sido exploradas como ferramentas para ampliar transparência, rastreabilidade e responsabilização em cadeias produtivas e sistemas de gestão ambiental. Saberi et al. (2019, p. 2118) destacam que “a blockchain tem potencial para melhorar transparência, rastreabilidade e confiança em sistemas de gestão sustentável”, indicando oportunidades para sua aplicação em diferentes setores ambientais.

## **2.6. Tecnopolítica e os Riscos da Digitalização da Governança**

Embora tecnologias digitais ofereçam novas possibilidades para a governança ambiental, sua adoção também levanta importantes questões políticas e institucionais. A digitalização da governança pode gerar novas formas de concentração de poder informacional, especialmente quando infraestruturas tecnológicas são controladas por atores externos às comunidades que utilizam os recursos naturais.

Nesse contexto, o conceito de tecnopolítica torna-se relevante para analisar as implicações políticas das tecnologias digitais. Lederer (2020, p. 166) observa que “blockchain pode apoiar novos arranjos de governança climática, mas também apresenta riscos institucionais significativos”, indicando que o impacto dessas tecnologias depende de como são integradas aos sistemas institucionais existentes.

O crescente papel de sistemas digitais na mediação de decisões sociais levanta debates sobre governança algorítmica e autonomia institucional. Van de Wetering et al. (2022, p. 3) destacam que “estruturas de governança baseadas em blockchain precisam ser cuidadosamente desenhadas para evitar novos desequilíbrios de poder”.

Algumas abordagens críticas da tecnologia enfatizam que infraestruturas digitais não são neutras, mas incorporam valores, interesses e visões de mundo. Latour (2018, p. 17) argumenta que “as infraestruturas técnicas participam diretamente da organização da vida coletiva”, reforçando a necessidade de compreender a tecnologia como componente de sistemas sociotécnicos mais amplos.

Nesse sentido, a incorporação de tecnologias digitais na governança de recursos naturais exige uma abordagem analítica que considere simultaneamente suas dimensões técnicas, institucionais e políticas. Somente a partir dessa perspectiva integrada torna-se possível avaliar de que forma sensores, algoritmos e infraestruturas descentralizadas podem contribuir para fortalecer ou, eventualmente, fragilizar sistemas de governança comunitária de recursos naturais.

### **3. METODOLOGIA**

#### **3.1. Tipo de Estudo: Revisão Integrativa da Literatura**

Este estudo foi delineado como uma revisão integrativa da literatura, método selecionado por sua capacidade de integrar evidências empíricas e contribuições teórico-conceituais provenientes de diferentes tradições metodológicas (qualitativas, quantitativas e

mistas), permitindo síntese crítica orientada à proposição de modelos e frameworks. A revisão integrativa foi particularmente apropriada para o problema investigado; isto é, a integração de infraestruturas digitais (IoT/blockchain) em sistemas de governança comunitária da água, por se tratar de um campo interdisciplinar, no qual coexistem estudos de engenharia, ciência da computação, governança ambiental, estudos socioecológicos e economia institucional.

O procedimento metodológico seguiu as recomendações clássicas para revisões integrativas, estruturando-se em etapas sequenciais: (i) identificação do problema e definição da questão de pesquisa; (ii) busca sistemática e reprodutível; (iii) avaliação e seleção dos estudos; (iv) extração e categorização dos dados; (v) análise e síntese integrativa; e (vi) apresentação dos achados com ênfase interpretativa e propositiva. Esse encadeamento metodológico foi adotado para assegurar rastreabilidade e consistência analítica do corpus, conforme diretrizes consolidadas para a revisão integrativa (Whittemore; Knafl, 2005; Souza; Silva; Carvalho, 2010).

A revisão foi conduzida entre novembro de 2025 e fevereiro de 2026, período no qual foram realizados sucessivos ciclos de busca, triagem, elegibilidade e extração. O objetivo foi produzir uma síntese crítica e propositiva, evitando descrição meramente enumerativa e priorizando inferências analíticas sobre convergências, lacunas e implicações para governança policêntrica em contextos de restrição de recursos e baixa conectividade.

### **3.2. Estratégia de Busca e Bases de Dados**

A estratégia de busca foi planejada para maximizar sensibilidade (recall) e especificidade (precision), equilibrando amplitude interdisciplinar com aderência ao escopo analítico do estudo. Foram consultadas três bases com forte cobertura internacional e interface adequada a buscas booleanas avançadas: Web of Science, Scopus e ScienceDirect. Essas bases foram selecionadas por abrangerem, simultaneamente, literatura de alto impacto em governança ambiental, sistemas socioecológicos, IoT, blockchain e sustentabilidade, e por permitirem exportação de metadados para gestão sistemática do processo de seleção.

A formulação das strings seguiu a lógica de construção recomendada para revisões integrativas robustas, com eixos conceituais combinados por operadores booleanos e uso de sinônimos para reduzir viés de indexação (Hopia; Latvala; Liimatainen, 2016). A busca foi realizada prioritariamente em inglês, visando cobrir literatura global indexada nas bases selecionadas.

Quatro eixos estruturaram as strings: Eixo A (Objeto/Unidade analítica): “Social-Ecological Systems” OR “Commons” OR “Water Governance”; Eixo B (Contexto): “Semiarid” OR “Drylands” OR “Resource-constrained environments”; Eixo C (Tecnologia): “Blockchain” OR “Smart Contracts” OR “IoT” OR “Internet of Things”; e Eixo D (Sinergia epistemológica): “Traditional Knowledge” OR “Indigenous Knowledge”

A expressão booleana principal aplicada nas três bases foi: (A) AND (B) AND (C) AND (D). Buscas complementares foram executadas para evitar perda de estudos relevantes por indexação incompleta do eixo D, utilizando combinações alternativas, como:

- AND (B) AND (C), com filtragem posterior por leitura de título/resumo para identificar interseções com conhecimento tradicional e governança comunitária;
- variações com truncamentos e termos próximos ao campo, quando disponíveis, para contemplar literatura que usa vocabulários adjacentes (p.ex., “community-based water management”, “decentralized governance”, “distributed ledger”).

Em todas as bases, quando tecnicamente possível, a busca foi aplicada em campos combinados de título, resumo e palavras-chave, com registro dos parâmetros (data, string, base e resultados) para assegurar reprodutibilidade e auditoria do processo.

### **3.3. Critérios de Inclusão e Exclusão**

Os critérios de elegibilidade foram definidos a priori, com base na questão de pesquisa e no framework conceitual do estudo (governança policêntrica, commons, sistemas socioecológicos, IoT/blockchain e integração com conhecimento tradicional). A triagem foi orientada por critérios explícitos para reduzir subjetividade e aumentar a consistência interetapas.

Foram incluídos estudos que atenderam cumulativamente aos seguintes requisitos:

- Relevância temática: abordaram governança de recursos naturais (especialmente água) em perspectiva de commons, SES ou governança policêntrica, ou discutiram explicitamente arranjos institucionais comunitários aplicáveis a recursos comuns.

- Interface com tecnologia: examinaram IoT, blockchain, contratos inteligentes, registros distribuídos ou mecanismos de automação institucional aplicados (ou aplicáveis) à governança ambiental/recursos naturais.
- Qualidade editorial mínima: publicações revisadas por pares (artigos científicos) ou, de forma complementar, livros acadêmicos e teses doutorais com reconhecida densidade teórica quando apresentaram contribuição estruturante para o problema.
- Aplicabilidade teórica ou empírica: apresentaram evidências empíricas (estudos de caso, protótipos, avaliações) ou formulações teóricas/ferramentais (frameworks, modelos) diretamente relacionadas à governança sociotécnica de recursos comuns.
- Disponibilidade do texto completo: o texto integral esteve acessível para leitura e extração sistemática.

Foram excluídos estudos que:

- tratavam de IoT ou blockchain de modo estritamente técnico sem implicações para governança, instituições, regras, monitoramento, accountability ou justiça distributiva;
- abordavam governança hídrica sem conexão com tecnologia digital descentralizada ou sem oferecer articulação institucional relevante ao problema;
- eram documentos não revisados por pares sem rigor acadêmico verificável (p.ex., textos opinativos, notas técnicas

sem método);

- apresentavam duplicidade (mesmo estudo indexado em múltiplas bases), nesses casos manteve-se um único registro, priorizando o de maior completude bibliográfica;
- não disponibilizavam texto completo para extração;
- não continham elementos suficientes para análise (p.ex., resumos expandidos sem acesso ao artigo completo).

### **3.4. Processo de Seleção dos Estudos**

O processo de seleção foi conduzido de modo sequencial e rastreável, em quatro fases: identificação, triagem, elegibilidade e inclusão, em conformidade com a lógica operacional recomendada para revisões integrativas robustas (Whittemore; Knafl, 2005; Hopia; Latvala; Liimatainen, 2016; Souza; Silva; Carvalho, 2010).

Na fase de identificação, as buscas nas três bases (Web of Science, Scopus e ScienceDirect) produziram 234 registros (n = 234). Esses resultados foram exportados e consolidados em um repositório único para controle do processo. Em seguida, realizou-se a remoção de duplicatas por comparação de título, autores, ano, periódico e DOI/URL quando disponível.

Na fase de triagem, títulos e resumos foram avaliados quanto à aderência aos quatro eixos da questão de pesquisa (governança/commons/SES; semiarid/drylands; IoT/blockchain; conhecimento tradicional/arranjos comunitários). Registros claramente fora do escopo foram excluídos nessa etapa, com justificativa registrada por categoria (p.ex., “tecnológico sem

governança”; “governança sem interface tecnológica”; “tema não relacionado à água/recursos comuns”; “documento não acadêmico”).

Os estudos potencialmente elegíveis foram então submetidos à leitura integral para confirmação dos critérios de inclusão. Nessa etapa, foram excluídos trabalhos que, apesar de promissores no resumo, não apresentaram consistência metodológica, não discutiram mecanismos institucionais relevantes (regras, monitoramento, sanções, deliberação) ou não estabeleceram relação substantiva entre a infraestrutura tecnológica e a governança socioecológica.

Após a aplicação sistemática dos critérios, constituiu-se o corpus final fechado do estudo, composto exclusivamente por referências que atenderam integralmente ao escopo analítico proposto (governança de comuns e SES articuladas a infraestruturas digitais descentralizadas e seus efeitos sociopolíticos). A etapa final incluiu a padronização bibliográfica e a preparação para extração sistemática de dados, garantindo consistência dos campos analíticos comparáveis entre os estudos.

A extração dos dados foi realizada mediante protocolo estruturado, registrando-se: (i) identificação do estudo (autores/ano/país); (ii) desenho metodológico; (iii) unidade de análise (água/recursos naturais; comunidade/arranjo institucional); (iv) tecnologia discutida (IoT, blockchain, smart contracts ou combinações); (v) dimensão institucional mobilizada (regras locais, monitoramento, sanções, policentrismo, transparência, accountability); e (vi) principais achados, limitações e implicações para governança.

A Tabela 1 abaixo apresenta a caracterização do corpus bibliográfico selecionado para esta revisão integrativa, sintetizando os principais elementos analíticos dos estudos incluídos. Foram organizadas informações referentes aos autores, ano de publicação, contexto analítico ou geográfico do estudo, tema central investigado e tecnologia abordada quando aplicável. Essa sistematização permitiu identificar padrões teóricos e tecnológicos recorrentes na literatura, bem como visualizar a distribuição temática das contribuições que fundamentam a análise proposta neste artigo.

**Tabela 1** – Caracterização do corpus da revisão integrativa

<b>Autor(es)</b>	<b>Ano</b>	<b>Contexto / País do estudo</b>	<b>Tema central</b>	<b>Tecnologia abordada</b>
<b>Agrawal</b>	2001	Estudos comparativos internacionais	Instituições de recursos comuns e governança comunitária	—
<b>Christidis; Devetsikiotis</b>	2016	Contexto global (infraestrutura digital)	Integração entre IoT e blockchain	IoT; blockchain; smart contracts
<b>De Filippi; Wright</b>	2018	Governança digital global	Instituições baseadas em blockchain	Blockchain
<b>Gilbert</b>	2019	Debate científico internacional	Confiança institucional e governança do conhecimento	—
<b>Kitchin</b>	2017	Governança algorítmica	Poder e política dos	Algoritmos; governança

		global	algoritmos	digital
<b>Latour</b>	2018	Perspectiva sociotécnica global	Infraestruturas técnicas e política do Antropoceno	Sistemas sociotécnicos
<b>McCord et al.</b>	2017	Estudos socioecológicos comparativos	Aplicação do framework SES	—
<b>Nagel et al.</b>	2022	Sistemas socioecológicos	Aplicação metodológica do framework SES	—
<b>Ostrom</b>	1990	Estudos comparativos de commons	Governança de recursos comuns	—
<b>Ostrom</b>	2007	Governança policêntrica	Abordagens institucionais para recursos naturais	—
<b>Ostrom</b>	2009	Sistemas socioecológicos globais	Framework SES para sustentabilidade	—
<b>Partelow</b>	2018	Revisão internacional	Aplicações do framework SES	—
<b>Saberi et al.</b>	2019	Cadeias produtivas sustentáveis	Blockchain para sustentabilidade	Blockchain
<b>Swan</b>	2015	Economia digital global	Fundamentos da blockchain	Blockchain

<b>Tapscott; Tapscott</b>	2016	Governança digital global	Transformações institucionais pela blockchain	Blockchain
<b>Van de Wetering et al.</b>	2022	Governança ambiental	Blockchain e governança sustentável	Blockchain
<b>Wolfert et al.</b>	2017	Agricultura digital	Big data e agricultura inteligente	IoT; big data
<b>Zyskind; Nathan; Pentland</b>	2015	Segurança e privacidade digital	Blockchain para gestão de dados	Blockchain

**Fonte:** Próprios autores.

A análise da Tabela 1 evidencia que o corpus selecionado apresenta forte diversidade interdisciplinar, reunindo estudos provenientes das áreas de governança ambiental, sistemas socioecológicos, economia institucional e tecnologias digitais. Observa-se que uma parcela significativa da literatura concentra-se na tradição teórica dos recursos comuns e dos sistemas socioecológicos, especialmente a partir das contribuições de Ostrom (1990, 2007, 2009), complementadas por análises metodológicas contemporâneas sobre o framework SES (Partelow, 2018; Nagel et al., 2022; McCord et al., 2017).

Paralelamente, um segundo eixo temático reúne estudos voltados às infraestruturas digitais descentralizadas, destacando-se pesquisas sobre blockchain, contratos inteligentes e Internet das Coisas aplicadas à governança e à sustentabilidade (Swan, 2015; Tapscott; Tapscott, 2016; Saberi et al., 2019; Van de Wetering et al., 2022;

Christidis; Devetsikiotis, 2016). Essa dualidade evidencia que a literatura ainda se organiza em dois campos parcialmente distintos: governança institucional e inovação tecnológica, cuja integração permanece limitada. Nesse sentido, o corpus analisado fornece bases conceituais e tecnológicas que permitem explorar criticamente as possibilidades de articulação entre sistemas de governança comunitária e infraestruturas digitais, tema central investigado nesta revisão integrativa.

Os achados foram submetidos a uma análise temática integrativa, com categorias orientadas pelos princípios institucionais de governança de recursos comuns e pela problemática sociotécnica do estudo, permitindo a construção de uma síntese crítica e propositiva compatível com padrões de rigor esperados em periódicos de alto impacto.

## **4. RESULTADOS**

### **4.1. Panorama da Produção Científica Sobre Governança e Tecnologias Digitais**

A análise do corpus selecionado revelou um campo de investigação relativamente recente, caracterizado pela convergência progressiva entre duas tradições acadêmicas que historicamente evoluíram de forma paralela: a literatura sobre governança de recursos comuns e sistemas socioecológicos e a literatura emergente sobre infraestruturas digitais descentralizadas aplicadas à sustentabilidade.

A distribuição temporal das publicações indica um deslocamento significativo da produção científica ao longo das últimas duas décadas. Enquanto estudos anteriores a 2010 concentravam-se

predominantemente na dimensão institucional da governança ambiental, a partir da década de 2010 observa-se uma intensificação de pesquisas que exploram o papel de tecnologias digitais no monitoramento, coordenação e execução de regras institucionais em sistemas de gestão de recursos naturais.

Nesse contexto, as contribuições fundacionais de Ostrom continuam a desempenhar papel estruturante na literatura contemporânea. Ao propor um framework analítico para compreender a sustentabilidade de sistemas socioecológicos, a autora destacou que “panaceias institucionais raramente funcionam em sistemas socioecológicos complexos” (Ostrom, 2009, p. 420), indicando que soluções universais para governança ambiental tendem a ignorar as especificidades ecológicas e institucionais de cada território. Essa observação permanece central para o debate contemporâneo sobre digitalização da governança ambiental, uma vez que tecnologias emergentes frequentemente são apresentadas como soluções generalizáveis para problemas institucionais complexos.

A literatura recente sugere que a convergência entre governança de recursos naturais e tecnologias digitais ocorre em três eixos principais. O primeiro refere-se ao monitoramento ambiental automatizado, viabilizado por sensores e redes de coleta de dados. O segundo envolve infraestruturas digitais de confiança distribuída, como blockchain, capazes de registrar transações e eventos de forma descentralizada. O terceiro eixo diz respeito à automação institucional, por meio de contratos inteligentes que executam regras programadas sem intervenção direta de intermediários institucionais.

Essas tendências refletem um movimento mais amplo de digitalização das infraestruturas socioeconômicas. No campo da agricultura e da gestão ambiental, por exemplo, Wolfert et al. (2017, p. 70) observam que “a digitalização está transformando a maneira como dados são coletados, analisados e utilizados na gestão agrícola”, indicando que a integração entre sensores, plataformas de dados e sistemas de decisão automatizados tende a redefinir práticas de gestão de recursos naturais.

Entretanto, a literatura também revela uma assimetria importante na produção científica. Enquanto estudos sobre blockchain e Internet das Coisas se multiplicaram rapidamente nos últimos anos, investigações que exploram explicitamente a integração dessas tecnologias com sistemas de governança comunitária ainda permanecem relativamente escassas. Essa lacuna sugere que o campo ainda se encontra em fase de consolidação teórica, com predominância de análises tecnológicas e menor densidade de estudos institucionais sobre as implicações sociopolíticas dessas infraestruturas digitais.

A Tabela 2, a seguir, sintetiza as principais abordagens tecnológicas identificadas no corpus analisado, destacando suas funções institucionais e aplicações potenciais na governança de recursos naturais. A sistematização evidencia quatro categorias tecnológicas recorrentes na literatura recente: Internet das Coisas (IoT), blockchain, contratos inteligentes e plataformas digitais descentralizadas. Para cada uma dessas categorias, foram identificadas as funções predominantes no campo da governança ambiental, bem como suas aplicações potenciais em sistemas de monitoramento, coordenação institucional e implementação de regras em contextos de gestão de recursos naturais.

**Tabela 2** – Principais abordagens tecnológicas aplicadas à governança de recursos naturais

<b>Tecnologia</b>	<b>Função principal na governança</b>	<b>Aplicações na gestão de recursos naturais</b>	<b>Potenciais contribuições institucionais</b>	<b>Referências do corpus</b>
<b>Internet das Coisas (IoT)</b>	Monitoramento ambiental em tempo real por sensores conectados	Monitoramento de reservatórios, irrigação inteligente, agricultura digital, acompanhamento de variáveis climáticas	Redução de custos de fiscalização; produção contínua de dados ambientais; suporte a decisões baseadas em evidências	Wolfert et al. (2017); Christidis; Devetsikiotis (2016)
<b>Blockchain</b>	Registro distribuído e imutável de dados e transações	Rastreabilidade de cadeias produtivas, registro de dados ambientais, certificação de sustentabilidade	Transparência institucional; verificação descentralizada; redução de assimetrias informacionais	Swan (2015); Tapscott; Tapscott (2016); Saberi et al. (2019)
<b>Contratos inteligentes</b>	Automação programável de regras institucionais	Execução automática de acordos de uso de recursos, ativação de restrições operacionais baseadas em	Cumprimento automático de regras; redução de conflitos de monitoramento; reforço institucional de acordos coletivos	Christidis; Devetsikiotis (2016); De Filippi; Wright (2018)

		dados ambientais		
<b>Plataformas descentralizadas</b>	Coordenação institucional distribuída entre múltiplos atores	Governança colaborativa de dados ambientais, sistemas participativos de gestão de recursos	Ampliação da participação institucional; descentralização de decisões; fortalecimento da governança policêntrica	Van de Wetering et al. (2022); Saberi et al. (2019)

**Fonte:** Próprios autores.

A análise comparativa apresentada na Tabela 2 revela que as tecnologias digitais examinadas na literatura desempenham papéis institucionais distintos, porém potencialmente complementares. Enquanto a Internet das Coisas aparece predominantemente associada à produção de dados ambientais por meio de sensores e redes de monitoramento, tecnologias baseadas em blockchain e contratos inteligentes emergem como mecanismos institucionais voltados à verificação, registro e execução de regras em sistemas de governança.

Nesse sentido, a literatura sugere uma possível arquitetura sociotécnica composta por três camadas interdependentes: coleta de dados (IoT), registro e verificação distribuída (blockchain) e automação institucional (contratos inteligentes). As plataformas descentralizadas, por sua vez, são frequentemente apresentadas como infraestruturas organizacionais capazes de articular esses diferentes componentes em sistemas de governança distribuída.

Contudo, apesar do potencial dessas tecnologias para ampliar transparência, monitoramento e coordenação institucional, os estudos analisados indicam que sua aplicação efetiva em sistemas de governança comunitária de recursos naturais ainda permanece limitada e dependente de condições institucionais e sociopolíticas específicas. Essa constatação reforça a necessidade de investigar de que forma essas infraestruturas digitais podem ser integradas a arranjos institucionais existentes, particularmente em contextos caracterizados por forte presença de instituições comunitárias e conhecimento tradicional.

De modo geral, a IoT aparece associada ao monitoramento ambiental e à coleta de dados em tempo real, enquanto blockchain e contratos inteligentes emergem como mecanismos institucionais de verificação, rastreabilidade e automação de regras. As plataformas descentralizadas, por sua vez, são frequentemente apresentadas como infraestruturas capazes de viabilizar novos modelos de coordenação institucional em redes distribuídas de atores.

#### **4.2. Evidências de Aplicação de Tecnologias Digitais na Governança Ambiental**

Embora grande parte da literatura ainda se concentre em discussões conceituais ou prototipagem tecnológica, alguns estudos identificados no corpus analisado apresentam evidências empíricas ou aplicações experimentais de tecnologias digitais em sistemas de governança ambiental e cadeias produtivas sustentáveis. Esses estudos sugerem que infraestruturas digitais podem desempenhar papel relevante na ampliação da transparência institucional, na redução de custos de monitoramento e na criação de mecanismos

de confiança em contextos caracterizados por múltiplos atores e interesses divergentes.

No campo da sustentabilidade, Saberi et al. (2019, p. 2118) destacam que “blockchain technology has the potential to enhance transparency, traceability and trust in sustainable supply chains”, indicando que registros distribuídos podem fortalecer mecanismos de rastreabilidade e accountability em sistemas complexos de produção e distribuição. Embora o foco desses estudos frequentemente recaia sobre cadeias produtivas globais, os princípios institucionais subjacentes, como transparência, verificabilidade e registro imutável de transações, possuem implicações diretas para a governança de recursos naturais.

Aplicações recentes também têm explorado o potencial de tecnologias blockchain para fortalecer mecanismos de governança ambiental em diferentes contextos institucionais. Van de Wetering et al. (2022, p. 2) observam que “blockchain-based governance mechanisms may enable more transparent and decentralized environmental governance systems”, sugerindo que registros distribuídos podem contribuir para reduzir assimetrias informacionais e ampliar a legitimidade de processos decisórios.

No entanto, a análise da literatura indica que a maioria das aplicações permanece em estágio experimental ou conceitual. Estudos empíricos robustos sobre implementação em larga escala ainda são relativamente limitados, especialmente em contextos de governança comunitária de recursos naturais. Isso se deve, em parte, às dificuldades técnicas e institucionais associadas à implementação dessas tecnologias em territórios caracterizados por baixa

conectividade digital, limitações infraestruturais e desigualdades socioeconômicas.

Muitos estudos enfatizam que a adoção de tecnologias digitais em sistemas de governança ambiental não depende exclusivamente de sua viabilidade técnica, mas também da capacidade institucional de integrar essas ferramentas aos arranjos sociais existentes. Como observam Saberi et al. (2019), tecnologias digitais podem ampliar transparência e confiança institucional apenas quando integradas a sistemas organizacionais capazes de interpretar e utilizar as informações produzidas por essas infraestruturas.

### **4.3. Limitações Institucionais e Desafios Sociotécnicos**

A análise do corpus também revelou um conjunto consistente de limitações institucionais e desafios sociotécnicos associados à incorporação de tecnologias digitais na governança de recursos naturais. Esses desafios não se restringem a aspectos técnicos, mas envolvem questões políticas, institucionais e epistemológicas relacionadas à distribuição de poder, à governança de dados e à legitimidade dos sistemas de decisão.

Um dos principais desafios identificados refere-se à crescente centralidade dos algoritmos na mediação de processos decisórios. Kitchin (2017, p. 16) argumenta que “algorithms are not neutral; they embody values and assumptions that shape outcomes”, destacando que sistemas algorítmicos incorporam escolhas políticas e epistemológicas que frequentemente permanecem invisíveis para os usuários. Essa observação possui implicações relevantes para a governança de recursos naturais, pois a automação de regras

institucionais pode deslocar decisões tradicionalmente deliberativas para infraestruturas técnicas opacas.

Outro desafio relevante refere-se às desigualdades tecnológicas e institucionais que condicionam a adoção dessas infraestruturas digitais. Tecnologias como IoT e blockchain pressupõem acesso a conectividade, infraestrutura computacional e capacidades técnicas que nem sempre estão disponíveis em territórios rurais ou em comunidades tradicionais. Como resultado, a implementação dessas soluções pode reproduzir ou até ampliar desigualdades existentes na governança ambiental.

Nesse sentido, a literatura recente alerta para os riscos associados à digitalização acrítica da governança ambiental. Lederer (2020, p. 166) observa que “blockchain applications in climate governance may create new governance opportunities, but they also raise important risks and challenges”, especialmente quando as infraestruturas tecnológicas não são acompanhadas por mecanismos institucionais de controle democrático e participação social.

Esses desafios reforçam a necessidade de compreender tecnologias digitais não como soluções autônomas para problemas institucionais, mas como componentes de sistemas sociotécnicos mais amplos. A eficácia dessas tecnologias na governança ambiental dependerá, portanto, da capacidade de integrá-las a instituições legítimas, processos deliberativos e sistemas de conhecimento local que orientam a gestão de recursos naturais em contextos específicos.

## **5. DISCUSSÃO**

### **5.1. Tecnologia Como Infraestrutura de Governança Policêntrica**

A análise dos resultados obtidos nesta revisão integrativa permite interpretar a emergência das tecnologias digitais não apenas como inovação técnica, mas como parte de uma transformação mais ampla nas infraestruturas institucionais da governança ambiental. No campo da gestão de recursos naturais, particularmente em sistemas de recursos comuns, o principal desafio não reside exclusivamente na disponibilidade do recurso, mas na capacidade institucional de estabelecer regras legítimas, monitorar seu cumprimento e resolver conflitos distributivos entre usuários.

Nesse sentido, as tecnologias digitais analisadas neste estudo podem ser compreendidas como infraestruturas institucionais complementares que potencialmente ampliam a capacidade de monitoramento, coordenação e transparência em sistemas de governança policêntrica.

A teoria dos sistemas socioecológicos fornece um referencial importante para interpretar essas transformações. Ostrom argumenta que sistemas socioecológicos complexos requerem arranjos institucionais capazes de operar em múltiplas escalas e contextos, destacando que “soluções policêntricas são frequentemente mais eficazes do que abordagens centralizadas para lidar com problemas ambientais complexos” (Ostrom, 2009, p. 419).

A governança policêntrica, nesse sentido, não se caracteriza pela substituição de instituições locais por estruturas centralizadas, mas pela coexistência de múltiplos centros de decisão interconectados.

A incorporação de tecnologias digitais nesse tipo de arranjo institucional pode ampliar significativamente as capacidades de

monitoramento e coordenação entre diferentes níveis de governança. Sensores ambientais, por exemplo, permitem reduzir custos de observação direta do recurso, fornecendo dados objetivos sobre variáveis críticas como níveis de reservatórios ou volumes de extração. Quando combinados com sistemas de registro distribuído e contratos inteligentes, esses dados podem ser integrados a mecanismos institucionais de verificação e execução de regras.

Nesse contexto, a tecnologia não substitui instituições sociais, mas pode atuar como infraestrutura de suporte para mecanismos institucionais já existentes. Como argumentam McCord et al. (2017, p. 3), “a análise de sistemas socioecológicos requer compreender as interações entre recursos, usuários e sistemas de governança”, enfatizando que transformações institucionais devem ser analisadas a partir dessas interdependências. Assim, sensores e algoritmos podem reforçar mecanismos institucionais tradicionais, como monitoramento comunitário e aplicação de regras — sem necessariamente deslocar o papel central das instituições sociais.

Entretanto, a literatura analisada também sugere que a adoção dessas tecnologias pode reconfigurar relações de poder dentro dos sistemas de governança. Infraestruturas digitais possuem implicações políticas significativas, uma vez que a produção, o controle e a interpretação dos dados ambientais podem concentrar poder informacional em determinados atores. Nesse sentido, tecnologias como blockchain e IoT não devem ser interpretadas como ferramentas neutras, mas como elementos que participam da reorganização das estruturas institucionais e informacionais da governança ambiental.

## **5.2. Hibridismo Epistemológico Entre Tecnologia e Conhecimento Tradicional**

Um dos aspectos mais relevantes identificados na literatura analisada refere-se à necessidade de compreender a integração entre tecnologias digitais e governança ambiental como um processo sociotécnico híbrido, no qual diferentes formas de conhecimento interagem na construção das regras de gestão de recursos naturais. Em sistemas comunitários de governança, decisões sobre uso de recursos frequentemente dependem de saberes locais acumulados ao longo de gerações, incluindo conhecimentos ecológicos tradicionais sobre regimes hidrológicos, ciclos climáticos e práticas de manejo.

A incorporação de sensores ambientais e sistemas digitais de monitoramento não deve ser interpretada como substituição dessas formas de conhecimento, mas como possibilidade de complementaridade epistemológica. Latour (2018, p. 17) argumenta que “as infraestruturas técnicas participam diretamente da organização da vida coletiva”, indicando que tecnologias não apenas mediam relações sociais, mas também participam da construção de novas formas de conhecimento e governança.

Aplicado ao contexto da gestão hídrica, esse argumento sugere que sensores ambientais podem ampliar a capacidade de observação dos sistemas naturais, mas sua interpretação permanece dependente de processos sociais e institucionais. Dados produzidos por sensores precisam ser contextualizados por comunidades locais, que frequentemente possuem conhecimento detalhado sobre padrões ecológicos e práticas de manejo adaptadas às condições ambientais específicas de cada território.

A integração entre tecnologia e governança comunitária pode ser compreendida como um processo de hibridismo epistemológico, no qual diferentes sistemas de conhecimento se articulam na produção de decisões coletivas. Partelow (2018, p. 2) observa que o framework de sistemas socioecológicos permite justamente analisar “como diferentes componentes institucionais, ecológicos e sociais interagem na governança de recursos comuns”, reforçando a importância de abordagens integradas para compreender a gestão sustentável de recursos naturais.

Essa perspectiva também permite problematizar abordagens tecnocráticas que tratam a tecnologia como solução autônoma para problemas de governança. A eficácia de sistemas digitais na gestão de recursos naturais dependerá não apenas de sua eficiência técnica, mas também de sua capacidade de dialogar com instituições sociais, práticas culturais e formas locais de conhecimento. Assim, sensores e algoritmos podem contribuir para ampliar a transparência e o monitoramento ambiental, mas a legitimidade das decisões permanece ancorada em processos deliberativos comunitários.

### **5.3. Proposição de Um Framework de Governança Hídrica Sociotécnica**

A partir da análise integrativa da literatura, torna-se possível propor um framework conceitual de governança hídrica sociotécnica, no qual tecnologias digitais são integradas a sistemas institucionais comunitários de gestão de recursos naturais. Esse modelo parte do reconhecimento de que a governança de recursos comuns depende de três dimensões interdependentes: instituições sociais, infraestrutura tecnológica e processos de monitoramento ambiental.

No framework proposto, instituições comunitárias permanecem no centro do processo decisório. Assembleias comunitárias, conselhos locais de gestão e arranjos coletivos de tomada de decisão continuam responsáveis pela definição das regras de uso do recurso, pela resolução de conflitos e pela adaptação institucional às mudanças ambientais. Esses mecanismos deliberativos garantem a legitimidade social das decisões e permitem incorporar conhecimento local ao processo de governança.

A segunda dimensão do framework refere-se à infraestrutura tecnológica, composta por sensores ambientais, sistemas de coleta de dados e plataformas digitais de registro distribuído. Sensores conectados à Internet das Coisas permitem monitorar variáveis ambientais relevantes para a gestão hídrica, enquanto sistemas baseados em blockchain possibilitam registrar informações e decisões institucionais de forma transparente e auditável. Contratos inteligentes, por sua vez, podem automatizar determinadas regras operacionais previamente acordadas pelas comunidades, reduzindo custos de fiscalização e conflitos associados ao cumprimento das normas.

A terceira dimensão do modelo diz respeito aos mecanismos de monitoramento e verificação institucional, nos quais dados produzidos por sensores e registros digitais são integrados aos sistemas comunitários de governança. Nesse arranjo, a tecnologia atua como instrumento de apoio ao monitoramento coletivo, reforçando a capacidade institucional de verificar o cumprimento das regras sem substituir os processos deliberativos que as originaram.

Essa arquitetura sociotécnica sugere que a digitalização da governança ambiental pode fortalecer sistemas de recursos comuns quando integrada a instituições legítimas e processos participativos. Em vez de substituir mecanismos sociais de governança, tecnologias digitais podem funcionar como infraestruturas institucionais de apoio, ampliando transparência, monitoramento e capacidade de coordenação em sistemas policêntricos de gestão de recursos naturais.

A Tabela 3, a seguir, apresenta o framework conceitual de governança hídrica sociotécnica proposto neste estudo, sintetizando os principais componentes institucionais e tecnológicos identificados na literatura analisada. O modelo articula dimensões institucionais da governança de recursos comuns com infraestruturas digitais emergentes, evidenciando como sensores ambientais, registros distribuídos e contratos inteligentes podem ser integrados a processos comunitários de tomada de decisão.

A sistematização apresentada permite visualizar a interação entre diferentes elementos do sistema de governança, como instituições comunitárias, mecanismos de monitoramento, infraestrutura tecnológica e atores sociais, que, quando articulados, formam uma arquitetura policêntrica de gestão hídrica.

**Tabela 3** – Framework proposto de governança policêntrica da água baseada em IoT e blockchain

<b>Componente do sistema</b>	<b>Função institucional</b>	<b>Infraestrutura tecnológica associada</b>	<b>Atores envolvidos</b>	<b>Resultados esperados na governança</b>
------------------------------	-----------------------------	---	--------------------------	---

<b>Instituições comunitárias de governança</b>	Definição das regras de uso da água, resolução de conflitos e deliberação coletiva	Plataformas digitais de registro institucional (blockchain)	Associações comunitárias, conselhos locais, usuários do recurso	Legitimação social das regras e fortalecimento da governança local
<b>Monitoramento ambiental</b>	Observação contínua de variáveis ecológicas relevantes para a gestão hídrica	Sensores IoT, redes de coleta de dados ambientais	Comunidades locais, técnicos ambientais, gestores territoriais	Produção de dados confiáveis para tomada de decisão
<b>Execução automatizada de regras</b>	Aplicação automática de regras previamente definidas pelas instituições comunitárias	Contratos inteligentes integrados a blockchain	Comunidades usuárias, desenvolvedores de sistemas, gestores institucionais	Redução de conflitos e maior cumprimento das normas coletivas
<b>Transparência e rastreabilidade institucional</b>	Registro público e verificável de decisões e dados ambientais	Sistemas de registro distribuído (blockchain)	Usuários do recurso, instituições públicas, sociedade civil	Aumento da confiança institucional e redução de assimetrias informacionais
<b>Coordenação policêntrica</b>	Articulação entre múltiplos níveis institucionais e atores sociais	Plataformas digitais descentralizadas de governança	Comunidades, instituições públicas, redes colaborativas	Integração entre escalas local, regional e institucional

**Fonte:** Próprios autores.

A partir da análise da Tabela 3 fica evidente que a integração entre tecnologias digitais e governança comunitária de recursos naturais não se configura como um processo de substituição institucional, mas como uma reconfiguração sociotécnica das capacidades de governança. Observa-se que as instituições comunitárias permanecem no núcleo do sistema decisório, responsáveis pela definição das regras e pela resolução de conflitos, enquanto as tecnologias digitais atuam como infraestruturas de suporte para monitoramento, verificação e execução das normas coletivas.

Nesse arranjo, sensores IoT ampliam a capacidade de observação ambiental, blockchain fornece mecanismos de transparência e rastreabilidade institucional e contratos inteligentes possibilitam a automatização de determinadas regras operacionais previamente acordadas. Ao mesmo tempo, a presença de plataformas digitais descentralizadas permite articular diferentes escalas institucionais, fortalecendo arranjos de governança policêntrica. Essa arquitetura sugere que a convergência entre sistemas de conhecimento local, instituições comunitárias e infraestruturas digitais pode ampliar a capacidade adaptativa da governança hídrica em contextos de elevada variabilidade ambiental, desde que essas tecnologias sejam implementadas de forma participativa e alinhada às estruturas institucionais existentes.

Essa proposta teórica sugere que a integração entre tecnologia e governança comunitária não deve ser concebida como substituição institucional, mas como processo de coevolução sociotécnica, no qual infraestruturas digitais são incorporadas a sistemas

institucionais existentes para ampliar sua capacidade adaptativa em contextos de crescente complexidade ambiental.

Em síntese, a discussão desenvolvida evidencia que a incorporação de tecnologias digitais na governança de recursos naturais não deve ser interpretada como um processo de substituição das instituições comunitárias, mas como uma possibilidade de fortalecimento das capacidades institucionais de monitoramento, transparência e coordenação em sistemas de governança policêntrica.

Quando articuladas a processos deliberativos locais e a conhecimentos ecológicos tradicionais, infraestruturas como IoT, blockchain e contratos inteligentes podem contribuir para ampliar a eficácia e a legitimidade da gestão coletiva da água. Contudo, os resultados também indicam que tais tecnologias somente produzirão efeitos institucionais positivos quando integradas a arranjos sociopolíticos inclusivos, capazes de evitar novas formas de concentração de poder informacional e de assegurar que a inovação tecnológica permaneça subordinada aos princípios de governança comunitária e sustentabilidade socioecológica.

## **6. CONCLUSÃO**

Esta revisão integrativa analisou criticamente a literatura sobre governança de recursos comuns, sistemas socioecológicos e tecnologias digitais aplicadas à gestão de recursos naturais, com foco na integração entre infraestruturas tecnológicas descentralizadas e sistemas comunitários de governança hídrica. A análise evidenciou que a literatura contemporânea apresenta dois campos de investigação que, embora relacionados, ainda se desenvolvem de forma parcialmente desconectada: de um lado,

estudos institucionais sobre governança de recursos comuns e sistemas socioecológicos; de outro, pesquisas tecnológicas sobre blockchain, Internet das Coisas e plataformas digitais descentralizadas aplicadas à sustentabilidade.

Os resultados indicaram que tecnologias digitais possuem potencial significativo para ampliar capacidades institucionais de monitoramento ambiental, transparência e coordenação institucional, particularmente em sistemas de governança policêntrica. Sensores ambientais associados à Internet das Coisas podem fornecer dados contínuos sobre o estado dos recursos naturais, enquanto infraestruturas baseadas em blockchain e contratos inteligentes podem reforçar mecanismos de verificação, rastreabilidade e cumprimento de regras institucionais. Contudo, a revisão também evidenciou que aplicações empíricas robustas ainda são relativamente escassas, sugerindo que o campo se encontra em estágio inicial de consolidação teórica e experimental.

A análise realizada neste estudo indica que o potencial transformador das tecnologias digitais na governança ambiental não reside na substituição das instituições comunitárias, mas na possibilidade de fortalecer suas capacidades institucionais. Em sistemas de recursos comuns, a sustentabilidade do recurso depende da legitimidade social das regras, da capacidade coletiva de monitoramento e da existência de mecanismos eficazes de resolução de conflitos. Tecnologias como IoT e blockchain podem atuar como infraestruturas institucionais complementares, ampliando a capacidade de monitoramento e transparência sem deslocar o papel central das instituições comunitárias.

O framework conceitual proposto neste artigo sugere que sensores ambientais, registros distribuídos e contratos inteligentes podem ser integrados a processos deliberativos comunitários para reforçar mecanismos de governança policêntrica. Ao transformar decisões coletivas em sistemas verificáveis e auditáveis, essas tecnologias podem reduzir custos de fiscalização, mitigar conflitos distributivos e ampliar a confiança institucional entre usuários de recursos naturais.

Os resultados desta revisão apresentam implicações relevantes para o desenho de políticas públicas voltadas à gestão sustentável de recursos hídricos, especialmente em regiões caracterizadas por escassez hídrica e forte presença de sistemas comunitários de gestão. Políticas públicas que busquem integrar tecnologias digitais à governança ambiental devem priorizar abordagens que reconheçam e fortaleçam instituições locais, evitando modelos tecnocráticos que desconsiderem os arranjos institucionais existentes.

Iniciativas de digitalização da governança hídrica devem ser concebidas como processos sociotécnicos participativos, nos quais comunidades locais participem da definição das regras e da implementação das tecnologias utilizadas para monitoramento e gestão do recurso. Além disso, programas públicos voltados à inovação tecnológica em contextos rurais devem considerar aspectos como inclusão digital, infraestrutura de conectividade e capacitação institucional, de modo a evitar a reprodução de desigualdades tecnológicas e informacionais.

Apesar das contribuições analíticas apresentadas, este estudo apresenta algumas limitações inerentes ao método adotado. Como revisão integrativa, a pesquisa depende da disponibilidade e

diversidade de estudos publicados, o que pode limitar a generalização dos resultados para contextos empíricos específicos. Além disso, a literatura analisada revela predominância de estudos conceituais e prototípicos sobre tecnologias digitais aplicadas à governança ambiental, com número relativamente reduzido de investigações empíricas em sistemas comunitários de gestão de recursos naturais.

Diante dessas limitações, pesquisas futuras podem avançar em pelo menos três direções principais. Em primeiro lugar, estudos empíricos são necessários para avaliar a implementação de tecnologias digitais em contextos reais de governança hídrica comunitária, particularmente em regiões semiáridas.

Em segundo lugar, investigações interdisciplinares podem explorar mais profundamente as dimensões sociopolíticas da digitalização da governança ambiental, incluindo questões relacionadas à governança de dados e ao poder informacional. Por fim, novas pesquisas podem contribuir para o desenvolvimento de modelos sociotécnicos participativos, capazes de integrar inovação tecnológica, conhecimento tradicional e governança policêntrica na gestão sustentável de recursos naturais.

Em última análise, a governança sustentável da água em contextos de crescente complexidade ambiental dependerá menos da adoção isolada de soluções tecnológicas e mais da capacidade de articular instituições sociais, conhecimento ecológico local e infraestruturas digitais em arranjos de governança policêntrica.

Quando concebidas como instrumentos de suporte às instituições comunitárias, e não como substitutas da deliberação

coletiva, tecnologias como IoT e blockchain podem contribuir para ampliar transparência, confiança institucional e capacidade adaptativa na gestão de recursos comuns, abrindo caminhos para modelos sociotécnicos de governança ambiental mais resilientes e democraticamente legitimados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRAWAL, Arun. Common property institutions and sustainable governance of resources. **World Development**, v. 29, n. 10, p. 1649–1672, 2001. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0305-750X\(01\)00063-8](https://doi.org/10.1016/S0305-750X(01)00063-8)

ATZORI, Marcella. Blockchain technology and decentralized governance: is the state still necessary? **Journal of Governance and Regulation**, v. 6, n. 1, p. 45–62, 2017. DOI: [https://doi.org/10.22495/jgr\\_v6\\_i1\\_p5](https://doi.org/10.22495/jgr_v6_i1_p5)

BROOME, Marion E. **Integrative literature reviews for the development of concepts**. In: RODGERS, B.; KNAFL, K. (org.). *Concept development in nursing*. Philadelphia: Saunders, 1993. URL: <https://books.google.com/books?id=IB7aAAAAMAAJ>

CARLSON, Joshua et al. Blockchain for sustainable development goals: applications and opportunities. **IEEE Engineering Management Review**, v. 46, n. 2, p. 15–21, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1109/EMR.2018.2816044>

CHRISTIDIS, Konstantinos; DEVETSIOKIOTIS, Michael. Blockchains and smart contracts for the Internet of Things. **IEEE Access**, v. 4, p. 2292–2303, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2566339>

DE FILIPPI, Primavera; WRIGHT, Aaron. **Blockchain and the law: the rule of code**. Cambridge: Harvard University Press, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4159/9780674985926>

GILBERT, Natasha. Trust in science: crisis of confidence. **Nature**, v. 566, p. 433–434, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1038/d41586-019-00563-7>

HOPIA, Hanna; LATVALA, Eila; LIIMATAINEN, Leena. Reviewing the methodology of an integrative review. **Scandinavian Journal of Caring Sciences**, v. 30, n. 4, p. 662–669, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/scs.12327>

KITCHIN, Rob. Thinking critically about and researching algorithms. **Information, Communication & Society**, v. 20, n. 1, p. 14–29, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/1369118X.2016.1154087>

LATOUR, Bruno. **Down to Earth: politics in the new climatic regime**. Cambridge: Polity Press, 2018.

LEDERER, Markus. **Blockchain and climate governance: possibilities and pitfalls**. *Climate Policy*, v. 20, n. 2, p. 164–172, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1080/14693062.2019.1690483>

MCCORD, Paul et al. Applying the social-ecological system framework to environmental governance. **Ecology and Society**, v. 22, n. 4, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-09718-220432>

NAGEL, Bryan et al. A methodological guide for applying the social-ecological systems framework. **Ecology and Society**, v. 27, n. 4, 2022. URL: <https://www.ecologyandsociety.org/vol27/iss4/art39/>

OSTROM, Elinor. A diagnostic approach for going beyond panaceas. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 39, p. 15181–15187, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0702288104>

OSTROM, Elinor. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 419–422, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1172133>

OSTROM, Elinor. **Governing the commons: the evolution of institutions for collective action**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511807763>

PARTelow, Stefan. A review of the social-ecological systems framework: applications, methods, modifications, and challenges. **Ecology and Society**, v. 23, n. 4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5751/ES-10594-230436>

SABERI, Sara et al. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2117–2135, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>

SOARES, Cassia Baldini et al. Integrative review: concepts and methods used in nursing. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, v. 48, n. 2, p. 335–345, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0080-623420140000200020>

SOUZA, Marcela Tavares; SILVA, Michelly Dias; CARVALHO, Rachel. **Integrative review: what is it? How to do it?** Einstein (São Paulo), v. 8, n. 1, p. 102–106, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1679-45082010RW1134>

SWAN, Melanie. **Blockchain: blueprint for a new economy.** Sebastopol: O'Reilly Media, 2015. URL: <https://www.oreilly.com/library/view/blockchain/9781491920481/>

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain revolution: how the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world.** New York: Portfolio, 2016. URL: <https://www.penguinrandomhouse.com/books/530449/blockchain-revolution-by-don-tapscott-and-alex-tapscott/>

VAN DE WETERING, Jan et al. Blockchain governance for sustainable development. **Environmental Research**, v. 205, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112435>

WHITTEMORE, Robin; KNAFL, Kathleen. The integrative review: updated methodology. **Journal of Advanced Nursing**, v. 52, n. 5, p. 546–553, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x>

WOLFERT, Sjaak et al. **Big data in smart farming – a review.** Agricultural Systems, v. 153, p. 69–80, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agry.2017.01.023>

ZYSKIND, Guy; NATHAN, Oz; PENTLAND, Alex. **Decentralizing privacy: using blockchain to protect personal data.** IEEE Security and Privacy Workshops, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1109/SPW.2015.27>

---

<sup>1</sup> Doutor em Sociologia. Docente da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [paulo.ramos@univasf.edu.br](mailto:paulo.ramos@univasf.edu.br). Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3684-0960>

<sup>2</sup> Doutor em Ciências Geográficas. Docente da Universidade de Pernambuco (UPE). E-mail: [sidclay.pereira@upe.br](mailto:sidclay.pereira@upe.br). Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4916-8969>

<sup>3</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNVASF). E-mail: [rodrigo.almeida@discente.univasf.edu.br](mailto:rodrigo.almeida@discente.univasf.edu.br). Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-2981-080X>

<sup>4</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [marymirya@gmail.com](mailto:marymirya@gmail.com). Orcid: <https://orcid.org/0009-0003-7413-5389>

<sup>5</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [kelpassosoliveira@gmail.com](mailto:kelpassosoliveira@gmail.com). Orcid: <https://orcid.org/0009-0000-9804-5909>

<sup>6</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [ilbetania.batista@univasf.edu.br](mailto:ilbetania.batista@univasf.edu.br). Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-2309-9588>

<sup>7</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [pedro.paulo@discente.univasf.edu.br](mailto:pedro.paulo@discente.univasf.edu.br). Orcid: <https://orcid.org/0009-0006-8010-0862>

<sup>8</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [marcia.efigenia@ifsertao-pe.edu.br](mailto:marcia.efigenia@ifsertao-pe.edu.br). Orcid: <https://orcid.org/0009-0001-8727-9619>

<sup>9</sup> Mestre em Engenharia Agrícola. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [bagagi58@gmail.com](mailto:bagagi58@gmail.com). Orcid: <https://orcid.org/0009-0009-1730-0409>

<sup>10</sup> Graduada em Direito. Faculdade de Ciências Sociais Aplicadas de Petrolina (FACAPE). E-mail: [giovannamcdurando@gmail.com](mailto:giovannamcdurando@gmail.com). Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-0867-1311>

<sup>11</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [italoalandm@gmail.com](mailto:italoalandm@gmail.com). Orcid: <https://orcid.org/0009-0005-3504-3187>

<sup>12</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [draeliansoarestd@gmail.com](mailto:draeliansoarestd@gmail.com). Orcid: <https://orcid.org/0009-0004-9882-9489>

<sup>13</sup> Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF). E-mail: [sebastiaojag2017@gmail.com](mailto:sebastiaojag2017@gmail.com). Orcid: <https://orcid.org/0009-0008-6740-3927>

<sup>14</sup> Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Dinâmicas de Desenvolvimento do Semiárido. Universidade Federal do Vale do São

Francisco (UNIVASF). E-mail: [jesusmarianasantana@hotmail.com](mailto:jesusmarianasantana@hotmail.com).

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5022-7719>