

Blockchain para o Bem Social: Governança Policêntrica e Responsiva para a Agenda de Impactos Positivos

Eliomar Araújo de Lima¹

¹Instituto de Informática, Universidade Federal de Goiás (UFG) CEP 74.690-900 – Goiânia – GO – Brazil

eliomar.lima@ifms.edu.br

Abstract. *This paper explores blockchain as a sociotechnical governance artifact for social good, drawing on systems thinking and social cybernetics. Building on the works of Forrester, Meadows, Senge, Beer, Ostrom, and Morin, as well as Ison and Straw's (2020) insights on governance in a climate emergency, we propose an archetype that reframes ESG beyond corporate compliance. The model integrates three critical lenses of evaluation 1) Anthropocene - responsibility toward planetary boundaries, 2) Symbiocene - cooperation and interdependence, and 3) Solastalgia - care in the face of socio-environmental crisis. Our analysis suggests that blockchain's emancipatory potential emerges only when embedded in polycentric, reflexive, and inclusive governance ecologies capable of aligning technological innovation with sustainability, social justice, and environmental regeneration.*

Keywords: *Systems Thinking; Social Cybernetics; ESG; Anthropocene; Symbiocene; Solastalgia.*

Resumo. *Este artigo investiga a blockchain como artefato sociotécnico de governança para o bem social, articulando aportes do pensamento sistêmico e da cibernética social. Com base em autores clássicos como Forrester, Meadows, Senge, Beer, Ostrom e Morin, bem como nas contribuições contemporâneas de Ison e Straw sobre governança em emergência climática, propomos um arquétipo que reconceitua a pauta ESG além da compliance corporativa. O modelo apresentado integra três lentes críticas de avaliação 1) Antropoceno - responsabilidade frente aos limites planetários, 2) Simbioceno - cooperação e interdependência, e 3) Solastalgia - cuidado diante da crise socioambiental. A análise sugere que a blockchain só adquire potencial emancipatório quando integrado a ecologias de governança policêntricas, reflexivas e inclusivas, capazes de alinhar inovação tecnológica com sustentabilidade, justiça social e regeneração ambiental.*

Palavras-chave: *Pensamento Sistêmico; Cibernética Social; ESG; Antropoceno; Simbioceno; Solastalgia.*

Área Temática: *Sistemas Complexos, Pensamento Sistêmico e Teorias Sistêmicas*

1. Introdução

O século XXI é marcado por uma dupla condição paradoxal: de um lado, a expansão vertiginosa das tecnologias digitais, que oferecem novas possibilidades de coordenação e confiança; de outro, a intensificação da crise socioambiental que caracteriza o Antropoceno - época em que a ação humana passou a remodelar processos planetários. Nesse cenário, a *blockchain* desponta não apenas como infraestrutura técnica para transações distribuídas, mas como potencial artefato sociotécnico de governança policêntrica, capaz de sustentar bens comuns digitais, fortalecer a confiança social e apoiar arranjos coletivos de sustentabilidade.

A difusão de tecnologias distribuídas recoloca a questão da confiança nas relações sociais e institucionais, dispensando a presença de um agente intermediário para legitimação. A *blockchain*, enquanto registro distribuído programável, desloca o locus de confiança de atores centralizados para protocolos e comunidades de governança. O desafio, contudo, é evitar reducionismos tecnocêntricos: tecnologias só geram valor social e ambiental quando combinadas a arranjos institucionais, competências e propósitos coletivos. Porquanto, a agenda global para produção de impactos positivos está atrelada a uma visão multidimensional da realidade que propicie a instrumentação de agentes humanos e cibernéticos para atuar frente à complexidade organizacional.

Ao lidar com as diferentes dimensões da complexidade sistêmica, ampliam-se os horizontes de análise e intervenção sobre a realidade percebida e sentida, forjados pelo pensar e o agir sistêmico. Ao longo das últimas décadas, o pensamento sistêmico consolidou-se como uma lente indispensável para compreender a complexidade social, ambiental e organizacional. Dentro desse campo, Jay Forrester (1969), Donella Meadows (2008) e Peter Senge (2013) compõem um eixo fundamental de autores que, embora com enfoques distintos, convergem na defesa de que problemas complexos não podem ser tratados de maneira linear ou fragmentada.

Construções humanas desencadeiam impactos sociais e ambientais de diferentes naturezas e graus de severidade. Nesse campo, a cibernética social, ao longo do século XX, buscou compreender como os sistemas humanos podem manter viabilidade, adaptabilidade e legitimidade em ambientes de crescente complexidade. Dentro desse esforço, as contribuições de Beer (1984), Ostrom (1990) e Morin (2005) dialogam em diferentes planos, compondo um amplo repertório para pensar os desafios da governança contemporânea.

Compreender a complexidade do mundo real - seja em organizações, economia, ecologia ou vida pessoal, transcende a visão reducionista e linear de causa e efeito. Para além de absorver a complexidade sistêmica, a busca por ferramentas que permitam ampliar os horizontes de análise e as estratégias de intervenção em sistemas de forma mais robusta e efetiva encontram nesses trabalhos seminais as rotas de viabilização.

Portanto, na ótica da complexidade sistêmica a adoção da *blockchain* para o bem social não pode ser compreendida pelo determinismo tecnológico. É necessário situá-la no campo do pensamento sistêmico e da cibernética social, reconhecendo que sua efetividade depende da articulação entre modelagem dinâmica (FORRESTER, 1969), consciência ecológica e pontos de alavancagem (MEADOWS, 2008), aprendizagem organizacional (SENGE, 2013), viabilidade estrutural (BEER, 1984), governança policêntrica (OSTROM,

1990) e complexidade dialógica (MORIN, 2005). A essas contribuições somam-se as reflexões contemporâneas de Ison e Straw (2020), que evidenciam a urgência de modelos de governança relacionais, reflexivos e inclusivos para lidar com a emergência climática.

Com base nessas perspectivas crítico-reflexivas e das próprias crenças sociais, valores e ações institucionalizados nas sociedades contemporâneas, visando o questionamento das suposições e a busca por um conhecimento mais profundo e transformador, com foco na ação coletiva e na transformação social, as seguintes questões são norteadoras para este estudo: (Q1) Quais componentes sistêmicos e cibernéticos são necessários para que *blockchains* gerem bem social e impacto positivo? (Q2) De que forma avaliar projetos de impacto positivo baseados em *blockchain*? (Q3) Quais princípios de projeto e políticas públicas favorecem escalabilidade, inclusão e responsabilização?

Este trabalho, portanto, investiga como a *blockchain* pode sustentar bens comuns digitais, participação social e transparência pública ao ser pensado como parte de sistemas complexos adaptativos. Para tanto, propõe-se um arquétipo sistêmico de governança que reposiciona a pauta ESG além da *compliance* corporativa, integrando três lentes críticas de avaliação: 1) Antropoceno - responsabilidade frente aos limites planetários, 2) Simbioceno - cooperação e interdependência entre humanos e não-humanos, e 3) Solastalgia - cuidado com as dimensões existenciais e afetivas da crise. Essa abordagem busca demonstrar que a *blockchain*, quando concebida dentro de ecologias de governança mais amplas, pode atuar como infraestrutura de regeneração socioambiental, ampliando a legitimidade, a transparência e a resiliência dos sistemas sociais.

As próximas seções abordam o quadro teórico delimitado pelas questões de pesquisa (seção 2), para em seguida posicionar metodologicamente o estudo (seção 3) e desenvolver as bases crítico-reflexivas sobre o modelo sistêmico-cibernetizista (seção 4). Em seguida, são apresentados estudos de caso que ilustram a aplicação da *blockchain* enquanto infraestrutura de rede para entregar soluções nos campos socioambientais (seção 5), culminando com as análises compreensivas e discussões, bem a proposta do arquétipo sistêmico ESG (seção 6) e a conclusão (seção 7).

2. Fundamentação Teórica

O pensamento sistêmico e a cibernética social constituem as bases conceituais que permitem compreender a *blockchain* como infraestrutura sociotécnica capaz de sustentar arranjos de confiança distribuída. Autores clássicos como Forrester (1969), Meadows (2008) e Senge (2013) estruturaram as primeiras camadas desse campo, ao passo que Beer (1984), Ostrom (1990) e Morin (2005) ampliaram os horizontes da cibernética social, da governança policêntrica e da epistemologia da complexidade. Mais recentemente, Ison e Straw (2020) trouxeram o debate para o contexto da emergência climática, reforçando a necessidade de abordagens integradas e relacionais de governança.

2.1. Pensamento sistêmico e dinâmica de sistemas

Jay Forrester desenvolveu a Dinâmica de Sistemas, uma metodologia baseada em modelos de estoques, fluxos, atrasos e retroalimentações. Algumas de suas obras seminais, *Urban Dynamics* (1969) e, posteriormente, *World Dynamics* (1971), demonstraram como políticas públicas produzem efeitos muitas vezes contraintuitivos quando aplicadas em sistemas complexos. O mérito de Forrester está em evidenciar que comportamentos sistêmicos emergem da estrutura interna dos sistemas, não meramente de atores isolados. As

contribuições instrumentais de Forrester são basilares para entenderem as dinâmicas das políticas públicas, urbanização, ecologia e economia.

Donella Meadows ampliou a tradição de Forrester ao enfatizar a dimensão ética e ecológica dos sistemas. Evidenciou em seus trabalhos a insustentabilidade do crescimento exponencial em um planeta finito. Em Meadows (2008), apresentou os pontos de alavancagem como locais estratégicos de intervenção sistêmica. Sua contribuição reside em propor uma ecologia política do pensamento sistêmico, que reconhece tanto os limites biofísicos quanto a necessidade de ação transformadora. Enquanto Forrester (1969) oferece a caixa de ferramentas, Meadows (2008) chama atenção para a dimensão ecológica e civilizatória das escolhas humanas.

Peter Senge, em *A Quinta Disciplina* (2013), trouxe o pensamento sistêmico para o cotidiano das organizações, integrando-o à noção de aprendizagem organizacional. Seus conceitos de modelos mentais, visão compartilhada, aprendizagem em equipe e domínio pessoal traduzem princípios sistêmicos em práticas de gestão. Senge (2013) enfatiza as disciplinas de aprendizagem organizacional e visão compartilhada, ambas dependentes de dados confiáveis e mecanismos de *feedback*. Soma-se, portanto à tradição da dinâmica de sistemas (FORRESTER, 1969), que evidencia os riscos estocásticos das políticas públicas e inovações tecnológicas, uma vez que podem afetar estoques e fluxos ao longo do tempo, com atrasos, efeitos não lineares e *loops* de retroalimentação. Por seu turno, Meadows (2008), ao destacar os pontos de alavancagem - regras, fluxos de informação, metas e paradigmas - como *locus* para intervenções de alto impacto, abre margem para a proposta de governança adaptativa e de mudança de paradigmas.

2.2. Cibernética social e governança policêntrica

A cibernética social, ao longo do século XX, buscou compreender como os sistemas humanos podem manter viabilidade, adaptabilidade e legitimidade em ambientes de crescente complexidade. Dentro desse esforço, as contribuições de Beer (1984), Ostrom (1990) e Morin (2005) dialogam em diferentes planos, compondo um arcabouço rico para pensar os desafios da governança contemporânea.

A cibernética organizacional de Stafford Beer, sintetizada no modelo de sistemas viáveis (*Viable Systems Model* – VSM), propõe cinco funções interdependentes: operações (S1), coordenação (S2/3), inteligência (S4) e metagovernança (S5). Sua obra (BEER, 1984) inspirou concepções de governança distribuída, aplicáveis inclusive a redes digitais. Ao oferecer um modelo que enfatiza a arquitetura funcional, Beer busca estabelecer o *nexo* de viabilização dos sistemas de atividades humanas.

Elinor Ostrom, em sua célebre obra *Governando os Comuns* (OSTROM, 1990), demonstrou empiricamente que comunidades podem gerir recursos comuns com arranjos policêntricos e regras locais eficazes. Sua contribuição revela a capacidade de auto-organização social, de forma responsiva, contrariando a dicotomia Estado *versus* mercado. Arranjos policêntricos de Ostrom (1990) sugerem múltiplos centros de decisão com regras claras de acesso, monitoramento e sanções proporcionais. Sua obra é nucleadora da proposição do modelo de governança sistêmica para lidar com a emergência ambiental de Ison e Straw (2020).

Edgar Morin, por sua vez, introduziu a epistemologia da complexidade, mostrando que ordem e desordem são forças complementares na organização dos sistemas. Sua proposta é repensar a governança como prática dialógica e integradora, em que certezas

absolutas cedem espaço a estratégias adaptativas (MORIN, 2005). De seu trabalho emerge o conceito de complexidade subjetiva, na qual se manifesta a ambiguidade, as incertezas e o imponderável.

Mais recentemente, Ison e Straw (2020) atualizam o pensamento sistêmico no contexto da crise climática e da governança pública. Em *The Hidden Power of Systems Thinking: Governance in a Climate Emergency*, os autores defendem que a governança contemporânea deve ser: (i) Relacional – priorizar conexões entre atores e dimensões do sistema; (ii) Reflexiva – incorporar aprendizagem contínua, revisão de políticas e adaptação permanente; e (iii) Inclusiva – reconhecer múltiplos centros de decisão e integrar vozes diversas.

A contribuição central de Ison e Straw (2020) está vinculada ao conceito de poder oculto do pensamento sistêmico, entendido como a capacidade de transformar não apenas políticas específicas, mas a forma como governamos a complexidade em si. Ao invés de buscar soluções lineares, Ison e Straw propõem ecologias de governança, em que instituições, comunidades e tecnologias se articulam policentricamente para enfrentar crises globais.

2.3. Confiança digital, identidade e contratos inteligentes

A confiança digital contemporânea requer um modelo de governança descentralizado que se define a partir de preceitos de rastreabilidade, imutabilidade e registros distribuídos. E envolve a implementação de identidade descentralizada (DIDs), credenciais verificáveis (VCs) e contratos inteligentes. Esses componentes permitem governança algorítmica auditável, alinhamento de incentivos (*tokens*, reputação) e proteção de dados pessoais flexíveis (consentimento granular, minimização e trilhas de conformidade) (SPORNY *et al.*, 2022).

As redes de *blockchain* podem sustentar modelos de desenvolvimento socioambiental capazes de emancipar coletivos sociais e organismos de articulação multissetoriais para o enfrentamento de dicotomias próprias da derivação de metas e da tragédia dos comuns (UNITED NATIONS WORLD FOOD PROGRAMME, 2020).

Ao destacar Morin (2005) como um dos principais autores que problematiza a relação ordem-desordem-organização, tomamos emprestado o seu corolário para pensar *blockchains* como sistemas que articulam diversidade (descentralização) e coesão (consenso e padronização). As *blockchains*, ao prover trilhas de auditoria imutáveis e interoperáveis, pode alterar estruturas de informação (NARAYANAN *et al.*, 2016) e, portanto, o comportamento sistêmico.

3. Metodologia

Adotamos uma abordagem qualitativa baseada em: (i) revisão narrativa de literatura; (ii) modelagem conceitual sistêmico-cibernética; (iii) análise de estudos de caso de múltiplos domínios; e (iv) proposição de métricas e desenho experimental (simulação) para avaliação *ex ante* e *ex post*. O enfoque é inspirado em *Design Science Research*, produzindo artefatos conceituais (modelo, quadro avaliativo e arquétipo) e orientações de projeto e política.

Sob a ótica da análise crítico-reflexiva, amparada pelas perspectivas compreensivas do conhecimento referenciado, o estudo busca tecer um quadro de referência que visa articular a instrumentação de Forrester (1969), a visão ética de Meadows (2008) e a prática

organizacional de Senge (2013), que subjaz a construção de sociedades e instituições capazes de lidar com a complexidade sem impor riscos de uma mera visão reducionista, mas também sem seduzir a ações que geram resultados impraticáveis. Do mesmo modo, busca apontar para uma visão de governança em que nenhuma instância isolada detém a resposta, fixando-se em modelos estruturais para manter viabilidade (BEER, 1984), de instituições comunitárias para sustentar cooperação (OSTROM, 1990) e de uma mentalidade complexa para enfrentar paradoxos e incertezas (MORIN, 2005).

4. Modelo sistêmico-cibernético

O modelo sistêmico-cibernético proposto a partir da confluência dos ecossistemas típicos de *blockchain* (NARAYANAN *et al.*, 2016; SPORNY *et al.*, 2022; TAPSCOTT e TAPSCOTT, 2020), orientados ao bem social de impacto positivo, apresenta um delineamento que combina os preceitos emancipatório, policêntrico e funcional.

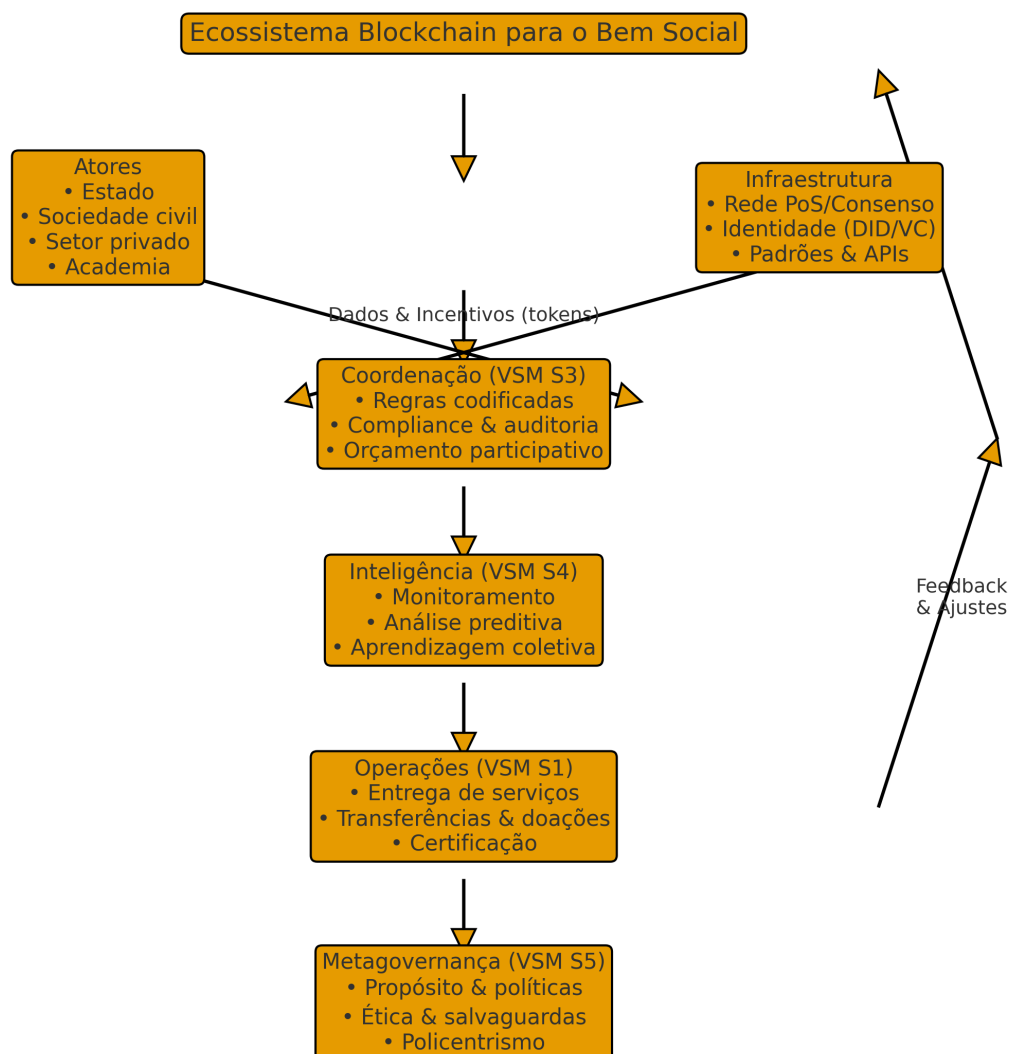


Figura 1. Modelo sistêmico-cibernético para ecossistemas de *blockchain* orientados ao bem social de impacto positivo.

Iniciamos com o mapeamento das funções do VSM (BEER, 1984) ao ecossistema

blockchain, conforme ilustrado na Figura 1: S1 (operações) - execução de serviços públicos/ONGs, transferências, certificações; S2/S3 (coordenação) - padronização, *compliance*, orquestração interorganizacional; S4 (inteligência) - monitoramento, análise preditiva, aprendizagem coletiva e avaliação de impacto; S5 (metagovernança) - definição de propósitos, salvaguardas éticas, critérios de legitimidade e alinhamento com políticas públicas. Fluxos de dados e incentivos atravessam os níveis, com *feedback* contínuo para ajuste de regras.

Os princípios de projeto que deverão ser observados para a implementação do modelo, incluem: (P1) propósito público explícito; (P2) governança policêntrica com participação significativa; (P3) identidade e consentimento soberanos; (P4) interoperabilidade (padrões abertos); (P5) proporcionalidade e minimização de dados; (P6) sustentabilidade energética; (P7) contabilização algorítmica; (P8) inclusão e acessibilidade; (P9) resiliência e segurança; (P10) mensuração/avaliação contínuas.

5. Estudos de caso e análise comparativa

Com o propósito de significar o conceito de *blockchain* enquanto infraestrutura aberta e descentralizada para subsidiar aplicações, serviços e inovação de impacto positivo, selecionamos quatro iniciativas frequentemente citadas em aplicações sociais baseado em *blockchain*, examinando-as segundo cinco dimensões: inclusão, governança, sustentabilidade, escalabilidade e ética. A Tabela 1 resume os aspectos essenciais e *trade-offs* observados.

Tabela 1. Dimensões de avaliação de aplicações sociais em *blockchains* públicas

Caso	Domínio	Resultados notáveis	Desafios	Lições de desenho
WFP Building Blocks	Ajuda humanitária	Transferências diretas, redução de custos transacionais, auditoria em tempo real.	Integração com fornecedores locais; governança interagências; dependência de infraestrutura.	Priorizar padrões abertos; acordos institucionais claros; UX simples para beneficiários.
ID2020	Identidade/cidadania	<i>Onboarding</i> de populações sem documentos; portabilidade de credenciais.	Prova de existência; riscos de exclusão; proteção de dados sensíveis.	Identidade autossobrana; consentimento granular; esquemas de confiança multicamadas.
Everledger	Cadeias produtivas	Rastreabilidade ponta-a-ponta; certificação de origem ética.	Qualidade/verdade de dados de origem; integração com IoT; custos.	Verificação independente; ancoragem em dispositivos/hardening; incentivos para <i>compliance</i> .
Moeda Seeds (BR)	Finanças solidárias	Microcrédito comunitário; inclusão financeira local.	Escala e liquidez; regulação; educação financeira.	<i>Tokenomics</i> prudente; parcerias com reguladores; capacitação comunitária.

A análise sugere que benefícios emergem quando o desenho combina padrões abertos (p.ex., DID/VC), governança policêntrica com contabilização e incentivos

alinhados à missão pública. Falhas recorrentes derivam de exclusão digital, dependências críticas e teatro de inovação sem mudanças institucionais correspondentes.

6. Resultados

Enfrentar problemas globais exige instrumentos analíticos, ética ecológica, práticas organizacionais, arranjos policêntricos e uma epistemologia integradora. A *blockchain*, visto por essa lente, não é apenas tecnologia, mas infraestrutura sociotécnica que precisa ser concebida e governada como parte de ecologias sistêmicas de confiança e sustentabilidade. Os estudos buscaram delinear uma proposta de governança capaz de lidar com a pluralidade e a incerteza.

6.1. Princípios de Projeto e Arquiteturas de Referência

A arquitetura de referência para a estruturação da *blockchain* para o bem social de impacto positivo é composta de 5 camadas funcionais:

- camada de identidade (DIDs/VCs);
- camada de contratos inteligentes (gestão de regras, pagamentos condicionais);
- camada de dados *off-chain* (repositórios compatíveis com LGPD e trilhas de consentimento);
- camada de orquestração/integração (APIs, gateways); e
- camada de monitoramento/avaliação (telemetria, *analytics* e painéis públicos).

Para fins de implementação, a *blockchain* deve apresentar (i) segregação de dados sensíveis *off-chain*; (ii) ancoragem criptográfica *on-chain*; (iii) uso de redes de baixo consumo (Prova de Participação); (iv) observabilidade e auditoria contínuas; (v) padrões W3C e HL7 FHIR em setores pertinentes; e (vi) *hardening* de *endpoints* para reduzir assimetrias de veracidade.

6.2. Métricas, avaliação de impacto e experimentação

Para assegurar o nível de confiança digital e os níveis de *compliance* da metagovernança, propomos um quadro de avaliação multidimensional baseado em:

1. inclusão (taxa de *onboarding*, usabilidade, acessibilidade);
2. eficiência (custo por transação, tempo até o benefício);
3. integridade/controlado (incidência de fraudes, desvios evitados, rastreabilidade);
4. sustentabilidade (consumo energético por transação, emissões relativas);
5. legitimidade (participação, transparência, mecanismos de recurso);
6. resultados/impacto (SROI, indicadores SDG).

Para avaliação *ex ante*, sugerimos modelos de dinâmica de sistemas com estoques (beneficiários ativos, fundos disponíveis) e fluxos (novos cadastros, desembolsos, auditorias) mais atrasos (verificação) e *loops* de *feedback* (incentivos e confiança). Para avaliação *ex post*, um desenho quase experimental com grupos de comparação e séries temporais, complementado por simulação baseada em agentes para explorar cenários de adoção e resiliência.

6.3. Arquétipo Sistêmico de Governança para o Bem Social

Os arquétipos sistêmicos são definidos a partir de um padrão de comportamento comum e

recorrente em organizações e sistemas para possibilitar a compreensão e a resolução de dilemas complexos através da identificação de estruturas causais e dos ciclos de feedback que os sustentam (FORRESTER, 1969; SENGE, 2013). A estrutura base do arquétipo sistêmico de governança se organiza em três camadas integradas:

- Camada Estrutural (Viabilidade e Dinâmica de Sistemas). Para manter sistemas sociais funcionando em equilíbrio adaptativo. Inspirada na modelagem de Forrester (1969), viabilidade de Beer (1984) e policentrismo de Ostrom (1990).
- Camada Ético-Ecológica (Sustentabilidade e Limites Planetários). Inspirada nos limites do crescimento de Meadows (2008), governança em emergência climática de Ison & Straw (2020) e a complexidade de Morin (2005).
- Camada de Aprendizagem e Cuidado (Organizações e Sentidos Humanos). Inspirada em organizações que aprendem de Senge (2013), dialógica de Morin (2005) e no conceito de solastalgia (vivência do sofrimento ecológico).

O arquétipo propõe quatro forças em tensão criativa:

- Governança policêntrica. Múltiplos centros de decisão, com limites globais e pontos de alavancagem (OSTROM, 1990; BEER, 1984; ISON E STRAW, 2020) e foco em intervenções estratégicas (MEADOWS, 2008; FORRESTER, 1969).
- Aprendizagem reflexiva. Capacidade contínua de adaptação (SENGE, 2013; ISON E STRAW, 2020), cuidado com o sentido e a dignidade (solastalgia) para preservar laços humanos diante da incerteza (MORIN, 2005).

O arquétipo reconceitua a pauta ambiental, social e de governança (ESG) da seguinte forma:

- Ambiental. Passa de mitigação de danos a reconhecimento do Antropoceno, ou seja, assumir a responsabilidade pela era em que a ação humana redefine processos geológicos.
- Social. Desloca-se para o Simbioceno, onde relações de cooperação, mutualismo e interdependência guiam a convivência entre humanos e não-humanos.
- Governança. Incorpora a noção de Solastalgia, que demanda governança não apenas técnica, mas também sensível ao sofrimento social e ecológico diante da perda de mundos habitáveis.

A avaliação dos sistemas, políticas ou projetos que se orientam por esse arquétipo deve ser feita em três dimensões críticas:

1. Antropoceno: Avaliar o grau em que a ação humana está agravando ou mitigando pressões globais (clima, biodiversidade, ciclos de materiais). Indicadores: pegada ecológica, emissões líquidas, integridade da biosfera.
2. Simbioceno: Avaliar se há fortalecimento de interdependências positivas (sociais, culturais, ecológicas). Indicadores: cooperação interinstitucional, inclusão de comunidades, diversidade de saberes e práticas sustentáveis.
3. Solastalgia: Avaliar a dimensão existencial e emocional da crise socioambiental, reconhecendo sofrimento, perdas e necessidades de cuidado. Indicadores: qualidade de vida, bem-estar psicológico, mecanismos de reparação e regeneração cultural/territorial.

A representação do arquétipo ESG é baseada em uma perspectiva em espiral tripla, conforme ilustrado na Figura 2. No eixo E-S-G (ambiental, social, governança), cada volta da espiral é tensionada pelos três horizontes: Antropoceno (responsabilidade), Simbioceno (cooperação), Solastalgia (cuidado). O movimento é ascendente e reflexivo: não se trata de estabilizar, mas de aprender e se transformar continuamente.

Arquétipo Sistêmico ESG
Espiral Tripla: Antropoceno - Simbioceno - Solastalgia

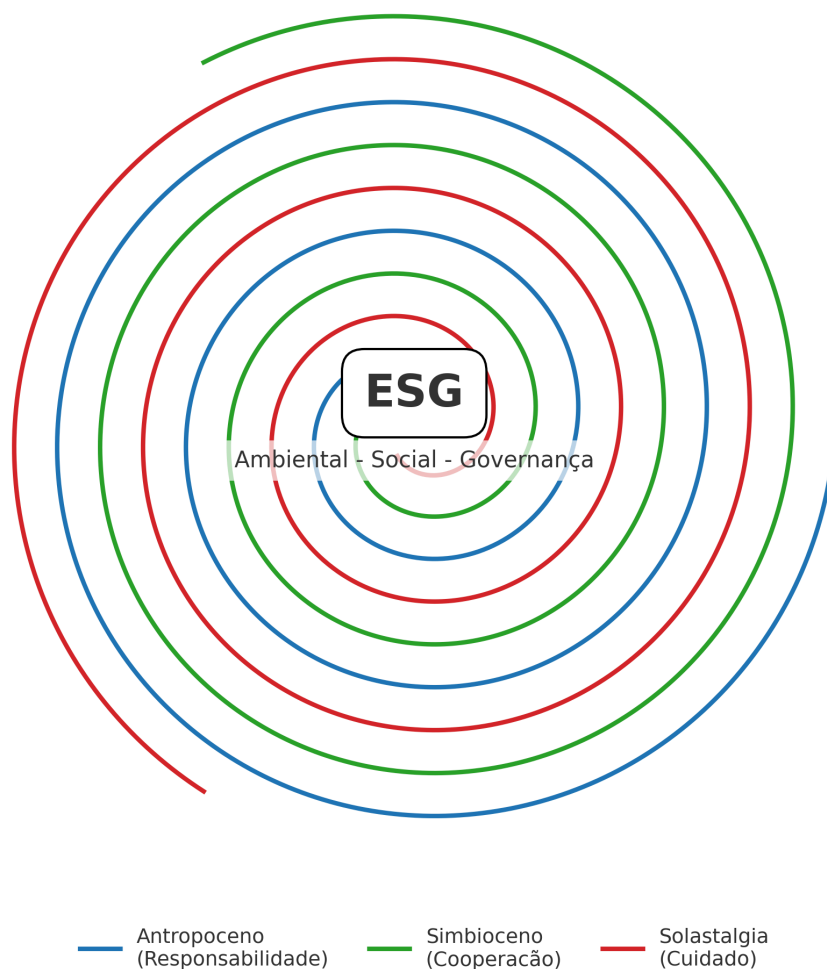


Figura 2. Arquétipo Sistêmico de Governança ESG.

6.4. Discussão

A análise sistêmica da *blockchain* para o bem social e a produção de impacto positivo exige avançar além das perspectivas tecnológicas e gerenciais usuais. As reflexões oriundas da tradição da dinâmica de sistemas (FORRESTER, 1969), da ecologia e ética dos sistemas (MEADOWS, 2008), da aprendizagem organizacional (SENGE, 2013), da cibernética organizacional (BEER, 1984), da governança policêntrica (OSTROM, 1990), da epistemologia da complexidade (MORIN, 2005) e das recentes propostas de governança sistêmica em emergência climática (ISON E STRAW, 2020) oferecem um arcabouço conceitual robusto para repensar as potencialidades e riscos da *blockchain*.

O quadro de referência estruturado a partir desse conjunto de teorias, conceitos e princípios ecossistêmicos que servem de base e orientação para a análise compreensiva, as

seguintes premissas foram identificadas para que *blockchains* pudessem gerar bem social e impacto positivo:

- Energia e sustentabilidade exigem redes de baixo consumo e métricas transparentes.
- Inclusão digital pede investimentos em conectividade, alfabetização e desenho centrado no usuário.
- Salvaguardas éticas incluem proporcionalidade de dados, avaliações de impacto algorítmico, acessibilidade e mecanismos de recurso.
- Evitar o determinismo tecnológico demanda governança plural com autoridade distribuída e auditorias independentes.

Nesse sentido, os componentes sistêmicos e cibernéticos são definidos por meio da estrutura de *blockchain*, que possibilita a governança policêntrica se estabelecer como resposta para o desafio principal de abordar formas de preparação para o desconhecido, lidar com problemas perversos (*wicked problems*) na agenda Ambiental, Social e de Governança (ESG) e desenvolver negócios criativos, pautados pelos preceitos social, aberto e sistêmico.

Implicações para políticas públicas e governança sugerem práticas que, de forma ilustrativa, podem alcançar benefícios sociais a partir da implementação de modelos de *sandboxes* regulatórios; diretrizes de compras públicas que privilegiem padrões abertos e auditoria; avaliação de impacto tecnológico e algorítmico; e arranjos policêntricos com conselhos multissetoriais. No Brasil, alinhar-se à Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), promover identidade digital com consentimento e fortalecer capacidades estatais e comunitárias de governança de dados.

7. Conclusão

A análise aqui desenvolvida mostrou que a *blockchain*, quando pensada apenas como solução técnica, corre o risco de ser reduzida a infraestrutura de eficiência em rede ou capturada por interesses corporativos. Entretanto, quando articulada ao pensamento sistêmico e à cibernética social, abre-se a possibilidade de concebê-la como artefato sociotécnico de governança policêntrica e de confiança digital orientada ao bem comum.

A crítica sistêmica parte da premissa que tecnologias e arranjos institucionais não bastam sem uma mudança de paradigma no pensamento. A governança do século XXI dependerá tanto de arquiteturas organizacionais robustas, quanto de comunidades empoderadas e de sujeitos capazes de pensar complexamente.

A integração entre os aportes de Forrester, Meadows e Senge reforça a importância de modelagem sistêmica, consciência dos limites globais e aprendizagem organizacional como pilares para o desenho de ecossistemas *blockchain*. Já a articulação entre Beer, Ostrom e Morin evidencia que a viabilidade organizacional, a autogovernança comunitária e a epistemologia da complexidade são condições necessárias para que tais ecossistemas sejam legítimos, resilientes e inclusivos. A contribuição mais recente de Ison e Straw (2020) aprofunda essa perspectiva ao enfatizar que, diante da emergência climática, a governança precisa ser relacional, reflexiva e inclusiva, indo além de modelos lineares e tecnocráticos.

Ao integrar pensamento sistêmico e cibernética social, posicionamos a *blockchain* como artefato de coordenação e confiança, condicionado a desenho institucional adequado. A utilidade pública emerge quando arquitetura, governança e métricas convergem para objetivos de inclusão, transparência, sustentabilidade e aprendizagem coletiva.

Nesse horizonte, o arquétipo ESG proposto emerge como síntese crítica, reconceituando as dimensões Ambiental, Social e de Governança a partir de três lentes avaliativas: Antropoceno (responsabilidade global), Simbioceno (cooperação e interdependência) e Solastalgia (cuidado e sentido de pertencimento diante da crise). Essa avaliação tripartite desloca o ESG de um exercício de *compliance* corporativo para um paradigma de regeneração socioambiental.

Concluimos, portanto, que o potencial emancipatório da *blockchain* não reside apenas em sua arquitetura descentralizada, mas sobretudo em sua capacidade de se integrar a ecologias de governança policêntricas, sensíveis à complexidade e orientadas à regeneração da vida. O desafio está em articular viabilidade institucional, limites ecológicos, aprendizagem social e cuidado humano para que essa tecnologia se torne, de fato, instrumento de transição rumo a futuros mais justos, sustentáveis e solidários.

Como trabalhos futuros, identificamos potenciais investigações acerca de (i) estudos longitudinais de impacto em políticas públicas; (ii) engenharia de *token* para incentivos pró-sociais; (iii) interoperabilidade prática entre DIDs/VCs e cadastros existentes; (iv) métodos híbridos de avaliação (qualitativos/quantitativos) com transparência de dados; (v) modelos de resiliência a ataques de integridade e manipulação informacional.

8. Referências

- BEER, S. *The viable system model: Its provenance, development, methodology and pathology*. Journal of the Operational Research Society, 35(1), 7–25, 1984.
- BRASIL. Lei nº 13.709, de 14 de agosto de 2018 (*Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais – LGPD*). Diário Oficial da União, 2018.
- EVERLEDGER. *Sustainable supply chains and provenance verification using blockchain*, 2021.
- FORRESTER, J. W. *Urban dynamics*. MIT Press, 1969.
- ISON, R.; STRAW, E. *The Hidden Power of Systems Thinking Governance in a Climate Emergency*. Routledge, 2020.
- MEADOWS, D. H. *Thinking in systems: A primer*. Chelsea Green Publishing, 2008.
- MORIN, E. *Introdução ao pensamento complexo*. Sulina, 2005.
- OSTROM, E. *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press, 1990.
- SENGE, P. M. *A quinta disciplina: Arte e prática da organização que aprende*. Best Seller, 38ª Ed., 2013.
- SPORNY, M.; LONGLEY, D.; CHADWICK, D.; REED, D.; STEELE, O.; ALLEN, C. *Decentralized Identifiers (DID) v1.0: Core architecture, data model, and representations*. W3C Recommendation, 2022.
- HL7 International. FHIR release 4 (HL7 FHIR R4). *Health Level Seven International*, 2019.
- NARAYANAN, A.; BONNEAU, J.; FELTEN, E.; MILLER, A.; GOLDFEDER, S. *Bitcoin and cryptocurrency technologies: a comprehensive introduction*. Princeton University Press, 2016.

TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. *Blockchain revolution: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world*. Portfolio, 2014.

UNITED NATIONS WORLD FOOD PROGRAMME. *Building Blocks project: Blockchain for humanitarian assistance*, 2020.