

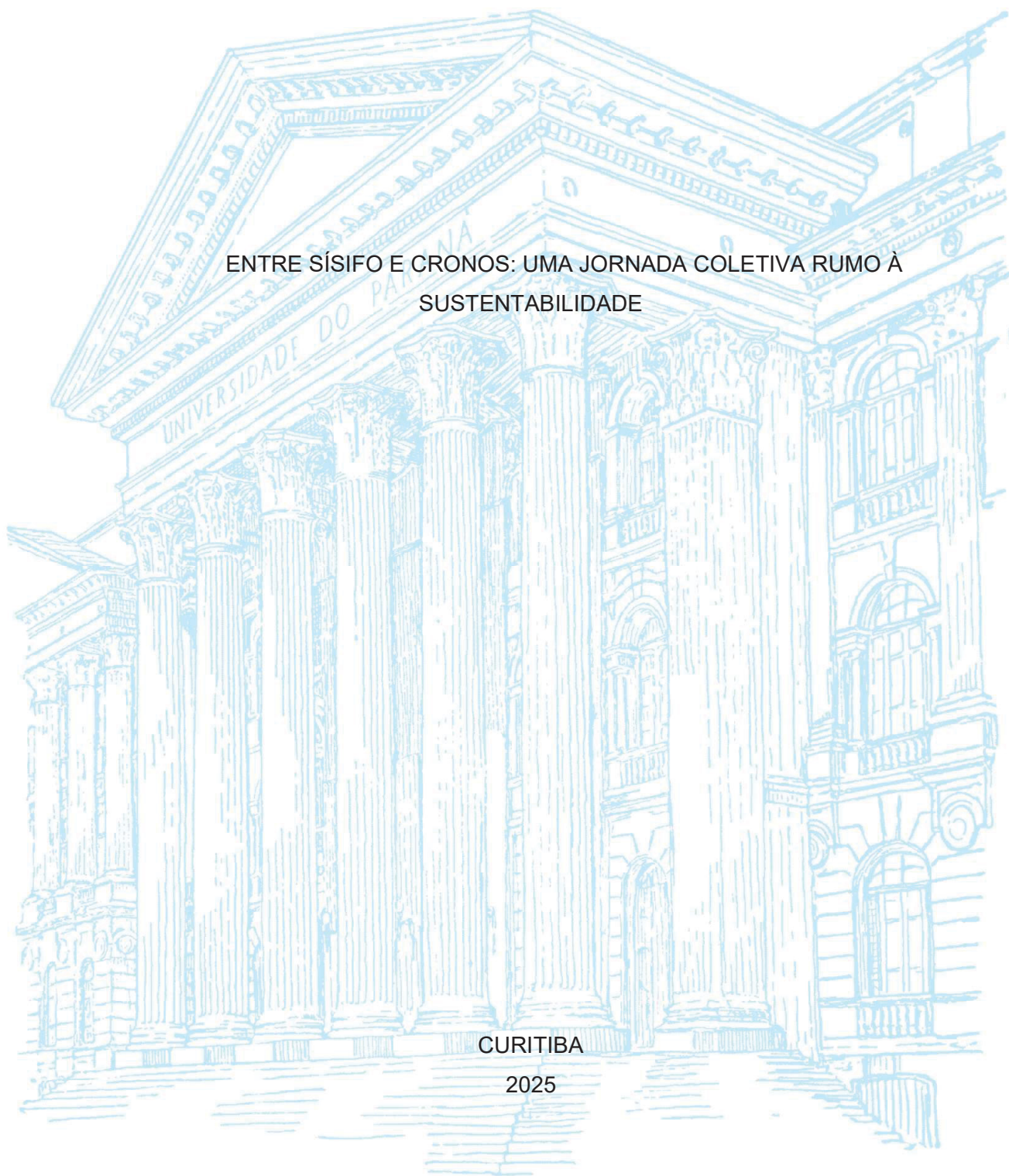
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NEWTON DE LIMA CARLINI

ENTRE SÍSIFO E CRONOS: UMA JORNADA COLETIVA RUMO À
SUSTENTABILIDADE

CURITIBA

2025



NEWTON DE LIMA CARLINI

ENTRE SÍSIFO E CRONOS: UMA JORNADA COLETIVA RUMO À
SUSTENTABILIDADE

Tese apresentada ao curso de Pós-Graduação em
Desenvolvimento Econômico, Setor de Ciências
Sociais Aplicadas, Universidade Federal do
Paraná, como requisito parcial para a obtenção do
título de Doutor em Desenvolvimento Econômico.
Orientador: Prof. Dr. Junior Ruiz Garcia
Coorientador: Prof. Dr. João Basilio Pereima Neto

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS

Carlini, Newton de Lima
Entre Sísifo e Cronos : uma jornada coletiva rumo à sustentabilidade /
Newton de Lima Carlini .- 2025.
1 recurso on-line: PDF.

Tese (doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Sociais Aplicadas, Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento Econômico.

Orientador: Profe. Dr. Junior Ruiz Garcia.

Coorientador: Profe. Dr. João Basílio Pereima Neto.

1. Desenvolvimento econômico. 2. Bens Comuns. 3. Poder (Ciências
sociais). 4. Processo decisório. I. Garcia, Junior Ruiz. II. Pereima Neto,
João Basílio. III. Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências
Sociais Aplicadas. Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento Econômico. IV. Título.

Bibliotecária: Kathya Fecher Dias – CRB-9/2198



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS SOCIAIS E APLICADAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DESENVOLVIMENTO
ECONÔMICO - 40001016024P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **NEWTON DE LIMA CARLINI**, intitulada: **Entre Sísifo e Cronos: uma jornada coletiva rumo à sustentabilidade**, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 26 de Fevereiro de 2025.

Assinatura Eletrônica
27/02/2025 14:29:43.0
JUNIOR RUIZ GARCIA
Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica
27/02/2025 15:39:15.0
VALDIR FRIGO DENARDIN
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - LITORAL)

Assinatura Eletrônica
27/02/2025 16:22:06.0
MANUELA DREYER DA SILVA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica
27/02/2025 15:04:07.0
LUCAS FERREIRA LIMA
Avaliador Externo (UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS)

Assinatura Eletrônica
27/02/2025 14:58:28.0
RICARDO LOBATO TORRES
Avaliador Externo (DEPARTAMENTO DE ECONOMIA - UFPR)

Dedico este trabalho a Deus, fonte de força e inspiração,
à minha mãe, luz que me guia,
à minha esposa, porto seguro em minha jornada.

AGRADECIMENTOS

A Deus, fonte inesgotável de força, inspiração e sabedoria, por guiar meus passos nesta jornada.

À minha mãe, **Marina Ercília de Lima**, cuja memória ilumina meu caminho e cujo amor incondicional me encorajou a perseguir meus sonhos.

À minha esposa, **Karina dos Santos Monteiro Carlini**, por sua paciência, carinho e apoio inabalável durante os desafios enfrentados.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Junior Ruiz Garcia**, pela orientação dedicada, paciência, sabedoria compartilhada e por agregar novas visões sobre o mundo, em especial sob a perspectiva de governança e sustentabilidade e por ferramentas para sua análise, elementos cruciais para a realização deste trabalho.

Ao coorientador, **Prof. Dr. João Basílio Pereima Neto**, pelo valioso apoio ao longo do curso e pelas contribuições essenciais a este estudo, especialmente no que tange aos mecanismos relacionados à complexidade e à modelagem de sistemas baseados em agentes.

Aos colegas e professores do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico da UFPR, meu profundo agradecimento pelo apoio, estímulo e compreensão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa que viabilizou meus estudos e esta pesquisa (Processo 88887.675234/2022-00).

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a concretização deste trabalho, minha sincera gratidão.

Defendei o fraco e o órfão; fazei justiça ao aflito e ao necessitado. Livrai o pobre e o necessitado; tirai-os das mãos dos ímpios.

Salmos 82:3-4

A injustiça em qualquer lugar é uma ameaça à justiça em todo lugar.

Martin Luther King Jr.

A verdadeira medida de uma sociedade pode ser encontrada na forma como ela trata seus membros mais vulneráveis.

Mahatma Gandhi

RESUMO

A água, recurso escasso, bem comum de acesso aberto, sofre constante degradação em virtude das assimetrias de poder, que podem conduzir ao esgotamento e tornar as perdas irreversíveis — o que exige com urgência a reinvenção de regras de governança que possam reverter seus efeitos. Nesse contexto desafiador, no qual tensões socioambientais se manifestam e disputas por um recurso vital são frequentes, esta tese investiga como as estruturas de poder impactam os processos decisórios e busca entender de que maneira uma governança renovada poderia contribuir para a redução dessas assimetrias de poder rumo à sustentabilidade. Para tanto, a pesquisa realiza uma análise teórica, inspirada em pensadores como Foucault, Bourdieu e na Economia Institucional Original, revelando as múltiplas facetas do poder e como ele condiciona as interações sociais e ambientais, orientando os processos decisórios e o desenvolvimento. Ao examinar modelos de governança voltados para a sustentabilidade de bens comuns de acesso aberto e avaliar casos como o de Mariana (Brasil) e da Cidade do Cabo (África do Sul), observa-se limitações das abordagens existentes no enfrentamento das assimetrias existentes. Em resposta a esses desafios, será proposta uma nova estrutura de governança construída a partir da interligação e integração sinérgica dos princípios da inclusão, equidade, participação, transparência, responsabilidade e adaptabilidade, desenhada com o objetivo de aprimorar as decisões coletivas sobre bens comuns de acesso aberto relacionados à água e promover a redução de assimetrias de poder. Para explorar a dinâmica e o potencial dessa estrutura em um contexto de complexidade, e ir além da análise estática, desenvolveu-se um modelo de simulação computacional baseado em agentes (ABM), implementado em Python. Os resultados das simulações indicam que a estrutura proposta pode gerar melhorias na qualidade decisória e atenuação das assimetrias de poder, em comparação com estruturas de governança tradicionais e sustentáveis mais consolidadas na literatura. No entanto, e, este é um resultado relevante, eles também apontam para a persistência das assimetrias de poder, mesmo em cenários com maior participação e adaptabilidade. Essa persistência sugere que o enfrentamento pleno dessas disparidades requer mudanças que vão além da reestruturação da governança formal, demandando transformações sociais e institucionais mais amplas e contínuas. A tese, portanto, oferece uma abordagem teórica e metodológica integrada – combinando análise conceitual, estudo de casos e simulação – para explorar a complexa interação entre poder e governança para a sustentabilidade, fornecendo perspectivas valiosas para a concepção de futuras intervenções e para a prática da gestão de bens comuns de acesso aberto.

Palavras-chave: Assimetrias de poder; bens comuns; governança hídrica; modelagem baseada em agentes; tomada de decisão.

ABSTRACT

Water, a scarce resource and open-access common good, suffers constant degradation due to power asymmetries that can lead to its depletion and render losses irreversibly, urgently demanding a reinvention of governance rules capable of reversing these effects. In this challenging context, where socio-environmental tensions flare and disputes over a vital resource are frequent, this thesis investigates how power structures shape decision-making processes and how renewed governance might help reduce these asymmetries on the path to sustainability. To that end, it undertakes a rigorous theoretical analysis inspired by Foucault, Bourdieu, and Original Institutional Economics, uncovering the multiple facets of power and how it conditions social and environmental interactions, guiding both decisions and development. By examining governance models designed for the sustainability of open-access commons and by evaluating case studies such as Mariana (Brazil) and Cape Town (South Africa), the research highlights the limitations of existing approaches in addressing entrenched inequalities. In response, it proposes a novel governance framework built on the synergistic integration of inclusion, equity, participation, transparency, accountability, and adaptability, aimed at improving collective decision-making over water commons and mitigating power imbalances. To explore the dynamics and potential of this framework in complex settings, the study develops and implements an agent-based computational simulation model (ABM) in Python. The results show that the proposed structure can enhance decision quality and attenuate power asymmetries compared to traditional, well-established governance models. Yet, and this is a key finding, the simulations also reveal the persistence of power imbalances even under conditions of greater participation and institutional flexibility. This suggests that fully overcoming these disparities requires changes beyond formal governance restructuring, calling for broader, sustained social and institutional transformations. Thus, by combining conceptual analysis, case studies, and simulation, this thesis offers an integrated theoretical and methodological pathway to explore the complex interplay between power and governance in sustainability. It provides valuable insights into the design of future interventions and for the practice of managing open-access commons.

Keywords: Agent-Based modeling; commons; decision making; power asymmetries; water governance.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA APLICÁVEIS A BENS COMUNS DE ACESSO ABERTO	33
QUADRO 2 – ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA PARCIALMENTE APLICÁVEIS A BENS COMUNS DE ACESSO ABERTO	35
QUADRO 3 – FALHAS DE GOVERNANÇA E PODER NO CASO MARIANA: SÍNTESE DA ANÁLISE.....	53
QUADRO 4 – MECANISMOS DE PODER E MANIFESTAÇÕES NA GOVERNANÇA HÍDRICA.....	62
QUADRO 5 – QUADRO-SÍNTESE DA PROPOSTA.....	69
QUADRO 6 – PARÂMETROS DE MODELAGEM.....	123
QUADRO 7 – PARÂMETROS VS. ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA.....	128

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Governança da Água – Dinâmica Geral da Governança – Base	131
FIGURA 2 – Qualidade da Decisão e Distribuição de Poder – Base	132
FIGURA 3 – Distribuição de Riquezas – Base	133
FIGURA 4 – Influência dos Agentes – Base	133
FIGURA 5 – Poder dos Agentes – Base	135
FIGURA 6 – Dinâmica Geral da Governança – Hierárquica	137
FIGURA 7 – Qualidade da Decisão e Distribuição de Poder – Hierárquica	138
FIGURA 8 – Distribuição de Riquezas – Hierárquica	139
FIGURA 9 – Influência dos Agentes – Hierárquica	140
FIGURA 10 – Poder dos Agentes – Hierárquica	140
FIGURA 11 – Dinâmica Geral da Governança – Rede	142
FIGURA 12 – Qualidade da Decisão e Distribuição de Poder – Rede	143
FIGURA 13 – Distribuição de Riquezas – Rede	145
FIGURA 14 – Influência dos Agentes – Rede	146
FIGURA 15 – Poder dos Agentes – Rede	147
FIGURA 16 – Dinâmica Geral da Governança – Adaptativa	148
FIGURA 17 – Qualidade da Decisão e Distribuição de Poder – Adaptativa.....	149
FIGURA 18 – Distribuição de Riquezas – Adaptativa	150
FIGURA 19 – Influência dos Agentes – Adaptativa	151
FIGURA 20 – Poder dos Agentes – Adaptativa.....	151
FIGURA 21 – Dinâmica Geral da Governança – Participativa	153
FIGURA 22 – Qualidade da Decisão e Distribuição de Poder – Participativa	153
FIGURA 23 – Distribuição de Riquezas – Participativa	155
FIGURA 24 – Influência dos Agentes – Participativa	156
FIGURA 25 – Poder dos Agentes – Participativa	156
FIGURA 26 – Dinâmica Geral da Governança – Proposta	157
FIGURA 27 – Qualidade da Decisão e Distribuição de Poder – Proposta	159
FIGURA 28 – Distribuição de Riquezas – Proposta	161
FIGURA 29 – Influência dos Agentes – Proposta	162
FIGURA 30 – Poder dos Agentes – Proposta	162

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABM	- Modelagem Baseada em Agentes (<i>Agent-Based Modeling</i>)
ANA	- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANM	- Agência Nacional de Mineração
ATI	- Assessorias Técnicas Independentes
BNDES	- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAPES	- Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CBH	- Comitê de Bacia Hidrográfica
CERP	- Plano Abrangente de Restauração dos Everglades (<i>Comprehensive Everglades Restoration Plan</i>)
CETESB	- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNPq	- Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
DNPM	- Departamento Nacional de Produção Mineral
DWS	- Departamento de Água e Saneamento (<i>Department of Water and Sanitation of South Africa</i>)
EPA	- Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (<i>Environmental Protection Agency</i>)
FAP	- Fundação de Amparo à Pesquisa
IBAMA	- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICPDR	- Comissão Internacional para a Proteção do Rio Danúbio (<i>International Commission for the Protection of the Danube River</i>)
ICT	- Tecnologia de Informação e Comunicação (<i>Information and Communication Technology</i>)
IPCC	- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
IPEA	- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAB	- Movimento dos Atingidos por Barragens
MPF	- Ministério Público Federal
MPMG	- Ministério Público de Minas Gerais
MRC	- Comissão do Rio Mekong (<i>Mekong River Commission</i>)
OIE	- Economia Institucional Original (<i>Original Institutional Economics</i>)

ONG	- Organizações Não Governamentais
PCE	- Comissário Parlamentar para o Meio Ambiente (<i>Parliamentary Commissioner for the Environment</i>)
PPP	- Parcerias Público-Privadas
PRH-SF	- Plano de Recursos Hídricos da Bacia do São Francisco
SEMAD	- Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais
TCE-MG	- Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais
TMDL	- Carga Máxima Diária Total (<i>Total Maximum Daily Load</i>)
TTAC	- Termo de Transação e Ajustamento de Conduta
UE	- União Europeia
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UN-Water	- Organização das Nações Unidas Água (<i>United Nations Water</i>)
WCED	- Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (<i>World Commission on Environment and Development</i>)
WWF	- Fundo Mundial para a Natureza (<i>World Wide Fund for Nature</i>)

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ - somatório de números

π - produtório de números

$\ln$ - logaritmo natural

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
2 ECOS DO PASSADO, VOZES DO FUTURO: UMA EXPLORAÇÃO DAS TEORIAS DE GOVERNANÇA.....	23
2.1 O PODER E SUAS ASSIMETRIAS: UMA PERSPECTIVA TEÓRICA.....	24
2.2 ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA.....	30
3 ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA EM AÇÃO: UMA ANÁLISE CRÍTICA A PARTIR DE CASOS REAIS	48
3.1 O CASO MARIANA	49
3.2 A CRISE HÍDRICA NA CIDADE DO CABO: DESIGUALDADES, GOVERNANÇA FRAGMENTADA E INCAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO.....	54
3.3 GOVERNANÇA DE BENS COMUNS DE ACESSO ABERTO NA PRÁTICA: PODER, CONTEXTO E LIÇÕES	57
4 REIMAGINANDO A GOVERNANÇA	64
4.1 PRINCÍPIOS DA PROPOSTA.....	64
4.2 ESTRUTURA DA PROPOSTA.....	68
4.3 IMPLEMENTAÇÃO: AVANÇOS, LIMITAÇÕES E DESAFIOS.....	73
5 AVALIANDO A MUDANÇA: UMA NOVA GOVERNANÇA PARA A SUSTENTABILIDADE	89
5.1 APLICABILIDADE DA PROPOSTA AOS CASOS DE MARIANA E CIDADE DO CABO	89
5.2 POR QUE A PROPOSTA É SUPERIOR ÀS ABORDAGENS EXISTENTES? ...	91
5.3 CONDIÇÕES, TEMPO DE TRANSIÇÃO E DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO	92
6 DESVENDANDO A DINÂMICA DO AMBIENTE	95
6.1 DA TEORIA DE ABM À MODELAGEM.....	96
6.2 O MODELO	100
6.2.1 Probabilidade de Participação na Governança	106
6.2.2 Dinâmica da Influência	108
6.2.3 Capital Social do Agente	111
6.2.4 Dinâmica dos Recursos Ambientais e Degradação	114
6.2.5 Qualidade da Decisão	116
6.2.6 Satisfação.....	117

6.2.7 Qualidade Estrutura de Governança	119
6.2.8 Dinâmicas de Poder	120
6.3 DAS ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA	129
6.3.1 Modelo Base: Uma Análise da Governança Tradicional	130
6.3.2 Modelo para Governança Hierárquica.....	136
6.3.3 Modelo para Governança em Rede	142
6.3.4 Modelo para Governança Adaptativa	148
6.3.5 Modelo para Governança Participativa.....	152
6.3.6 Modelo para Governança Proposta.....	157
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	164
REFERÊNCIAS.....	170

1 INTRODUÇÃO

A noção de divisão do mundo em compartimentos – com atividades humanas restritas a fronteiras nacionais, setores econômicos como agricultura ou indústria ou disciplinas acadêmicas isoladas como economia ou ecologia – revela-se cada vez mais inadequada em um mundo cada vez mais interligado e caracterizado por fluxos transnacional de capital, informação, energia e matéria que erodem fronteiras que anteriormente eram consideradas intransponíveis (Castells, 2000; Steffen et al., 2011).

Soma-se a isso o fato de que os ecossistemas, essenciais à sobrevivência humana, vêm sendo convertidos em ativos econômicos de forma acelerada, seguindo um paradigma de crescimento que frequentemente trata o capital natural como se fosse renda inesgotável, em vez de um estoque a ser mantido e que pode levar a um “crescimento antieconômico” onde os custos superam os benefícios, muitas vezes sem a devida consideração de seus encargos reais e impactos socioambientais, através de uma lógica de apropriação que tem contribuído para a degradação e eventual “esgotamento” da biodiversidade em uma escala sem precedentes (Daly, 1996; Morin; Orsini, 2020; Wilson, 2002).

Essa lógica de apropriação, contudo, não opera no vácuo; sendo, frequentemente, imposta e sustentada, geralmente, por indivíduos ou entidades com interesses estabelecidos – como grandes empresas ou elites econômicas – ou mesmo segmentos específicos do governo que possuem poder para ditarem as “regras do jogo” (North, 1990). Eles buscam lucros com a exploração enquanto transferem os custos ambientais e sociais para outros – um processo conhecido como “acumulação por espoliação” (Harvey, 2005), ou seja, no qual o acesso a bens comuns de acesso aberto, como a água, é efetivamente negado ou degradado a fim de permitir a acumulação de capital por grupos dominantes. Essa dinâmica remete, em parte, ao diagnóstico pessimista da “Tragédia dos Comuns” (Hardin, 1968), que postulava a inevitabilidade da degradação de recursos compartilhados na ausência de propriedade privada ou do controle estatal centralizado. Visão que foi extensamente criticada e tratada com várias nuances por trabalhos posteriores, especialmente os de Ostrom (1990), todavia, serviu como um ponto de partida importante ao destacar os

riscos inerentes à gestão de bens comuns em contextos com interesses individuais conflitantes e ausência de governança eficaz.

Processos frequentemente agravados em razão de disputas por recursos escassos e por profundas assimetrias de poder — compreendidas, aqui, como a capacidade desigual dos atores de definir agendas, influenciar decisões e apropriar-se dos benefícios gerados (Lukes, 2005; Bourdieu, 1986). Eventos que são sintomas de uma governança — entendida como a ação coletiva que regula, organiza e limita a ação individual, refletindo arranjos institucionais historicamente construídos e moldados por disputas de poder, interesses conflitantes e mudanças sociais (Commons, 1934) — cada vez mais inadequada à preservação da sustentabilidade — entendida aqui como a capacidade de “atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades” (Brundtland, 1987).

Dentre as várias deficiências identificadas como problemáticas estão questões de desorganização institucional – seja por falta de coordenação entre os setores, como, por exemplo, os de gestão hídrica, agrícola ou energética – ou ausência de integração vertical entre diferentes níveis de governança (Hooghe; Marks, 2003) – ou ainda falhas no compartilhamento epistêmico resultante da desconexão entre conhecimento técnico-científico e saberes locais/tradicionais (Wynne, 1996; Berkes; Folke; Colding, 2000).

Essa estrutura fragmentada, muitas vezes, resulta em lacunas nas regulamentações e na sobreposição de competências, que tornam o processo decisório mais lento (Biermann et al., 2009; Imperial, 2005). Esses elementos podem criar condições favoráveis para que atores com mais habilidade de mobilização e influência direcionem as agendas conforme seus interesses (Kingdon, 1984), explorando ambiguidades e moldando políticas em seu próprio benefício e prejudiciais à sustentabilidade (Stigler, 1971; Ostrom, 1990).

Portanto, a jornada rumo a um mundo mais sustentável — à semelhança do mito de Sísifo, condenado a empurrar uma pedra montanha acima apenas para vê-la rolar de volta — apresenta ciclos de progresso e retrocesso que refletem disputas recorrentes por recursos e poder na sociedade (Dryzek, 2013). O grande desafio, dessa forma, reside em desenvolver uma estrutura institucional capaz de não só adotar práticas sustentáveis, mas também de manter tais práticas de forma

consistente ao longo do tempo. Isso pressupõe, portanto, reimaginar os arranjos sociais e econômicos atuais, que ainda se pautam em lógicas fragmentadas e assimétricas.

Para tanto, é necessário que a governança seja estruturada sobretudo com base em valores como equidade (intra e intergeracional) e a cooperação multilateral – princípios essenciais para lidar com a complexidade dos problemas ambientais e sociais no contexto do mundo contemporâneo e fundamentais ao espírito do Relatório Brundtland (World Commission on Environment and Development, 1987). E complementarmente, é preciso considerar que os desafios relacionados à falta de saúde, segurança, água potável, ar puro ou solos férteis, em múltiplos níveis – local, regional e nacional – devem também ser tratados por qualquer modelo de governança que tencione ser, em alguma medida, adotado (Fischer, 2006; Sen, 1999).

Dessa forma, torna-se imperativo compreender como as assimetrias de poder afetam a governança para a sustentabilidade, particularmente no que concerne à gestão de bens comuns (*common-pool resources sob open-access regimes*) de acesso aberto¹ designados como recursos que, embora rivais no consumo (*rivalry*), carecem de mecanismos eficazes de exclusão (*low excludability*). Elementos que podem levar ao risco de sobreexploração e dessa forma são marcados pela tensão entre sua capacidade de renovação ecológica e os processos socioeconômicos de apropriação e extração, para que seja possível propor uma nova estrutura de governança que integre mecanismos capazes de melhorar a tomada de decisão e reduzir assimetrias de poder (Biermann; Pattberg, 2012; Najam; Christopoulou; Moomaw, 2004).

Entender os fatores que levam a essas assimetrias e à inadequação presente nas estruturas de governança existentes implica, de fato, o estudo de sistemas complexos multidimensionais, como: ecológico, econômico e social. (Ekins; Usubiaga, 2019). A partir de uma abordagem mais ecológica e equânime de governança, que reconheça a interdependência entre sociedade, economia e ecossistemas. Isso porque, para que seja possível rumar de forma coletiva para a sustentabilidade, é

¹ São recursos que combinam duas características principais: a rivalidade no consumo, onde o uso por um indivíduo diminui a disponibilidade (em quantidade ou qualidade) para outros, e a dificuldade de exclusão, que torna custoso ou impraticável impedir que usuários potenciais acessem o recurso (Ostrom, 1990).

necessário promover um senso de cidadania ecológica – compreendida aqui como o exercício ativo de direitos e deveres socioambientais e a capacidade dos indivíduos e comunidades de participarem efetivamente na definição e fiscalização de políticas que afetem seus territórios e recursos – e que possa guiar a tomada de decisões em todos os níveis (Fischer, 2006; Sen, 1999).

Como esses problemas não podem ser solucionados apenas com iniciativas isoladas, é necessário um esforço coordenado e abrangente que envolva todos os níveis da sociedade na implementação, através de processos participativos. Todavia, embora processos democráticos sejam necessários, eles não serão suficientes, por si só, para alcançar a sustentabilidade. Da mesma forma, as boas práticas de governança, isoladamente, não produzirão os resultados necessários a essa viabilização, para que isso se concretize, o conceito de governança deve reconhecer que o sistema social e econômico está em uma trajetória insustentável e compreender as razões para tal fato. Para tanto, um forte senso de ética é basilar na busca por soluções mais sustentáveis, uma vez que a humanidade deve promover a conservação de recursos, o “desenvolvimento sustentável”, as economias ecológicas, as comunidades sustentáveis e assim por diante (Brundtland, 1987), ou seja, implica gerir as tensões inerentes entre interesses privados e coletivos, reconhecendo que a sociedade e a economia são totalmente dependentes dos ecossistemas (Leach; Mearns; Scoones, 2012).

Nessa gestão de tensões, as assimetrias de poder desempenham um papel central. Atores com maior influência econômica ou política frequentemente conseguem exercer o poder, não apenas na tomada de decisões explícitas, mas também controlando a agenda e, crucialmente, moldando percepções e preferências (Lukes, 2005). Isso se manifesta na capacidade de construir e disseminar narrativas e discursos que legitimam seus interesses (Dryzek, 2013; Hajer, 1995), cooptar processos decisórios através de lobby e outras formas de influência política (Levy; Newell, 2005), e inclinar a balança regulatória a favor de seus interesses privados – fenômeno conhecido como captura regulatória (Dal Bó, 2006) –, muitas vezes em detrimento da conservação dos ecossistemas e do bem-estar coletivo de longo prazo.

Portanto, a análise precedente sugere que para solucionar tais problemas, será necessária a incorporação de uma estrutura de governança mais holística que possibilite a alteração da forma como as pessoas interagem entre si e com o meio

ambiente. Contudo, a viabilidade e eficácia de tal estrutura depende da capacidade desta em lidar com as persistentes assimetrias de poder, que permeiam os processos decisórios, enquanto reconfigura as interações socioambientais no sentido de melhorar a qualidade das decisões dos agentes (Leach; Mearns; Scoones, 1999; Kenis, 2008).

Nesse sentido, a presente tese partirá de uma visão abrangente sobre relações de poder e suas assimetrias para, posteriormente, aprofundar-se nos debates relativos à governança para a sustentabilidade, considerando seus múltiplos níveis (do local ao regional) e arranjos institucionais, com especial atenção à sustentabilidade de bens comuns de acesso aberto e estruturas de governanças mais adequadas a esse fim. Para só então aprimorar, elaborar e integrar elementos teóricos e metodológicos, considerados como mais relevantes em uma proposta de estrutura de governança, cujo propósito específico é oferecer ferramentas analíticas e os mecanismos de acompanhamento e mitigação das assimetrias de poder na tomada de decisão voltada à operacionalização do desenvolvimento sustentável.

Tais avaliações resultaram no seguinte problema de pesquisa: como a sociedade poderia superar as assimetrias de poder na operacionalização do desenvolvimento sustentável? Isso porque esse tipo de desenvolvimento requer um modo de governança que promova os processos sociais de forma a proteger os valores da sustentabilidade. Uma intervenção consciente e coletiva – ou seja, política – é necessária para alterar a trajetória de desenvolvimento da sociedade para linhas mais sustentáveis.

Para responder ao problema de pesquisa, o objetivo geral deste trabalho é apresentar uma proposta de estrutura de governança que auxilie na redução das assimetrias de poder na tomada de decisões visando a operacionalização do desenvolvimento sustentável em contextos de gestão de bens comuns e de acesso aberto, onde a capacidade de renovação ecológica frequentemente colide com processos de apropriação e extração socioeconômica.

Para isso, os seguintes objetivos específicos são: identificar na literatura propostas de estruturas de governança que possam auxiliar no processo decisório; avaliar as limitações dessas propostas no contexto do desenvolvimento sustentável à luz das assimetrias de poder discutidas; selecionar elementos a serem incorporados em uma estrutura de governança que minimizem essas assimetrias no contexto da

operacionalização do desenvolvimento sustentável; avaliar a potencialidade da estrutura de governança proposta – tanto teórica como através de simulação computacional – realizada a partir de uma abordagem baseada em agentes e combinada com sistemas dinâmicos e interações em redes, de forma a simular o processo decisório e mensurar sua qualidade e eficiência em termos de qualidade de decisão, redução de assimetrias de poder e, a potencial contribuição para o desenvolvimento sustentável.

Devido às limitações epistemológicas e metodológicas das abordagens estritamente normativas ou puramente empíricas para compreender a intricada dinâmica e as múltiplas interdependências (ecológica, econômica, social) da governança para a sustentabilidade, este estudo mobiliza a metodologia de Modelagem Baseada em Agentes (ABM, na sigla em inglês), notavelmente bem-sucedida na simulação de macrossistemas a partir da emergência de interações fundamentadas entre agentes heterogêneos dotados de iniciativa, operando sob restrições institucionais específicas, de acordo com a complexidade elucidada por Edgar Morin e as dinâmicas de poder teorizadas por Steven Lukes (2005) e Bourdieu (1986).

Com o uso da biblioteca Mesa, implementada na linguagem Python, vários cenários hipotéticos de governança foram recriados por meio de modelos computacionais, nos quais agentes autônomos tiveram seu comportamento configurado para refletir diferentes habilidades e lógicas de ação, sob diversas estruturas institucionais. As regras de interação e o comportamento dos agentes foram baseados em variáveis-chave, anteriormente apontadas como centrais para a análise das assimetrias de poder e da governança rumo à sustentabilidade, tais como capacidade de influência, capital social acumulado, participação e acesso desigual a recursos escassos. Isso com o objetivo de examinar como as distintas arquiteturas de governança impactam as decisões individuais e coletivas e determinam a formação e a intensidade das assimetrias de poder (Dryzek, 2013; Biermann; Pattberg, 2012).

Nesse contexto, no próximo capítulo serão avaliadas as diversas perspectivas e abordagens que moldaram o campo da governança, desde as teorias clássicas até as mais contemporâneas, a fim de identificar os elementos-chave que podem ser incorporados em uma nova estrutura de governança, capaz de mitigar as assimetrias de poder e promover um desenvolvimento sustentável.

2 ECOS DO PASSADO, VOZES DO FUTURO: UMA EXPLORAÇÃO DAS TEORIAS DE GOVERNANÇA

Com base nos desafios relacionados às assimetrias de poder e governança inadequada apresentadas na introdução como obstáculos centrais à sustentabilidade, este capítulo visa fornecer os fundamentos teóricos necessários para as análises que se seguirão. Para isso, primeiramente, será aprofundada a compreensão das diversas dimensões inerentes às dinâmicas de poder, que servirão como ferramentas analíticas para, posteriormente, examinar de forma crítica diferentes estruturas de governança que podem ser aplicadas à gestão de bens comuns de acesso aberto.

O propósito desta análise é compreender como as relações de poder desempenham um papel essencial nos ciclos de avanço e retrocesso (Dryzek, 2013) e em como podem impactar a capacidade dessas estruturas de promover o desenvolvimento sustentável de maneira equitativa e eficiente e, como essas dinâmicas influenciam a qualidade, legitimidade e robustez do próprio processo decisório em diferentes estruturas de governança. Ao longo da tese será investigada a ideia fundamental de que a redução de assimetrias de poder pode melhorar tanto o processo de tomada de decisão quanto os resultados relacionados à sustentabilidade.

Para tanto, o presente capítulo, empreende uma análise crítica das perspectivas teóricas fundacionais que elucidam a natureza e os mecanismos da assimetria de poder com o objetivo de forjar um arcabouço analítico mais robusto, capaz de revelar como as disparidades na capacidade de direcionar agendas, influenciar decisões e apropriar-se de benefícios (Lukes, 2005; Bourdieu, 1986).

Nessa perspectiva, serão avaliadas as contribuições seminais de: Michel Foucault, com ênfase na intrínseca relação saber-poder, nos dispositivos disciplinares e na mentalidade de governar como racionalidade política; Max Weber, focando na sua tipologia da dominação legítima, no papel da burocracia racional-legal e na análise das fontes de poder social; Robert Dahl, cuja análise do poder decisório em conflitos observáveis serve como ponto de partida; a influente tipologia tridimensional de Steven Lukes, que expande a análise para incluir o controle de agenda (segunda dimensão) e a moldagem de percepções e preferências (terceira dimensão); e, complementarmente, a lente da Economia Institucional Original (OIE), que esclarece como as instituições – entendidas como regras, normas e hábitos de pensamento –

incorporam, estabilizam e perpetuam relações de poder, contribuindo para a resiliência de lógicas fragmentadas e assimétricas (Commons, 1934; Hodgson, 2004). A exploração conjunta dessas lentes teóricas visa fornecer uma compreensão multidimensional das dinâmicas de poder, essencial para a subsequente avaliação das estruturas de governança.

Após a conclusão desta base teórica sobre as dinâmicas de poder, o foco da análise volta-se para as estruturas de governança propostas ou observadas na literatura e na prática, com aplicabilidade à gestão de bens comuns de acesso aberto. A escolha dessas estruturas para análise crítica não é feita ao acaso. Ela se baseia em critérios bem definidos que visam assegurar a relevância e a abrangência da avaliação. Estes incluem: a relevância temática, que prioriza arranjos explicitamente concebidos ou frequentemente discutidos no contexto da gestão sustentável de recursos de uso comum; a significância teórico-empírica, incluindo modelos paradigmáticos ou abordagens influentes na literatura especializada juntamente a exemplos empíricos; a diversidade de abordagens, buscando contemplar uma variedade de lógicas institucionais; e, crucialmente, a pertinência à problemática central do poder, focando no tratamento explícito ou implícito das assimetrias.

Utilizando as lentes analíticas multidimensionais do poder discutidas anteriormente, essas estruturas serão avaliadas quanto à sua capacidade de fomentar processos decisórios melhores – capazes de lidar com a complexidade, a incerteza e os interesses conflitantes de forma adaptativa, e se contribuem para a redução das assimetrias de poder nesse processo. A análise buscará identificar ao longo do processo elementos e mecanismos que possam ser aplicados na criação de novos arranjos institucionais que possam lidar com os desafios contemporâneos da governança para a sustentabilidade de bens comuns de acesso aberto.

2.1 O PODER E SUAS ASSIMETRIAS: UMA PERSPECTIVA TEÓRICA

Empreende-se agora uma análise crítica aprofundada das teorias fundacionais que explicam a natureza e os mecanismos inerentes à assimetria de poder, com a finalidade de forjar um arcabouço analítico robusto e capaz de revelar como as diferenças na capacidade de definir agendas, influenciar decisões e se apropriar de benefícios, se manifestam e se reproduzem nos arranjos institucionais

que regem recursos comuns e de acesso aberto. A elucidação destas dinâmicas é um pressuposto indispensável para avaliar e propor modelos de governança mais eficazes e equitativos (Lukes, 2005; Bourdieu, 1986).

A partir de uma abordagem relacional e microscópica da questão, Michel Foucault (1977) apresenta ferramentas analíticas potentes ao pensar o poder não como uma entidade para ser possuída, mas sim como uma teia intrincada de relações de poder inerentes a todas as relações sociais e que, simultaneamente, limitam e moldam indivíduos, conhecimentos e práticas. Para Foucault, o poder é produtivo e está intimamente entrelaçado com o conhecimento, e não existe exercício de poder sem que um campo de saber seja formado, assim como não há saber que não envolva e constitua relações de poder. Essas relações, para Foucault, são dinâmicas e fluidas, constantemente negociadas e reconfiguradas, não sendo um atributo fixo de indivíduos ou grupos (Foucault, 1977).

Entender esta imbricação saber-poder é essencial na governança de bens comuns. A própria definição do que constitui “conhecimento válido” ou “expertise relevante” é um ato de poder, no qual muitas vezes os conhecimentos de natureza técnico-científica (como hidrológicos, agrônômicos e econômicos) são tratados como verdades absolutas que validam certas formas de intervenção – por exemplo, projetos hidráulicos de grande escala ou modelos específicos de gestão, ao mesmo tempo em que desvalorizam os saberes locais tradicionais ou alternativos, que são frequentemente detidos por comunidades indígenas, camponesas ou ribeirinhas. Isso acaba estabelecendo disparidades significativas no campo do conhecimento que têm impactos diretos no acesso e controle dos recursos disponíveis. Além disso, o poder foucaultiano se manifesta por meio de dispositivos disciplinares – métodos sutis de vigilância, normatização e punição que buscam otimizar e regular as condutas individuais e coletivas, tal como visto em regras de consumo de água ou procedimentos de licenciamento ambiental.

Ademais, a noção foucaultiana de governamentalidade é fundamental. Ela refere-se à racionalidade política e ao conjunto de tecnologias utilizadas para “conduzir a conduta” das populações em relação a certos objetivos, como segurança hídrica, eficiência econômica e sustentabilidade. Tecnologias que não apenas guiam ações externas, mas operam profundamente na constituição dos próprios sujeitos, moldando identidades e subjetividades que frequentemente transformam a ordem

existente em algo natural, ocultando os conflitos e relações de poder subjacentes à própria definição do “problema” a ser gerido e dos agentes legítimos (Foucault, 1977), elementos que se conectam à terceira dimensão do poder de Lukes (2005) e podem levar à autoexclusão ou à falta de contestação. Contudo, cabe frisar que onde há poder, para Foucault, há também potencial para resistência, manifestada, por exemplo, na persistência de práticas comunitárias ou na reafirmação de saberes marginalizados, indicando a necessidade de estruturas de governança capazes de reconhecer e dialogar com essas múltiplas formas de saber e agir.

Por outro lado, a análise de Max Weber (2019) oferece ferramentas fundamentais para compreender as estruturas formais de autoridade e o papel das instituições na manutenção das relações de poder estáveis. Ao diferenciar poder (*Macht*), que é a capacidade de impor a própria vontade; da dominação (*Herrschaft*), que é a probabilidade de obter obediência; Weber explora as bases da legitimidade que sustentam a dominação de forma duradoura.

Embora sejam reconhecidos os estilos tradicional e carismático de liderança em diferentes contextos organizacionais e políticos, é a dominação racional e legal que é a principal característica da modernidade. Forma de dominação que se baseia na aceitação e na aplicação de leis e regulamentos específicos por meio de estruturas burocráticas estabelecidas. Tanto a administração pública quanto as agências reguladoras, e até mesmo os comitês de gestão da bacia hidrográfica, operam principalmente sob essa lógica racional e legalmente fundamentada. Através da perspectiva weberiana pode-se levantar a questão central: Qual é o fundamento de legitimidade prevalecente (e contestado) numa determinada esfera de gestão dos recursos hídricos? Como atores distintos podem mobilizar diferentes fontes de legitimidade (a legalidade formal, a tradição comunitária, o carisma de uma liderança local, a expertise técnica) gerando conflitos sobre quem tem o direito de decidir e segundo quais critérios? Como a estrutura burocrática – com sua organização hierárquica e especializada e sua aderência à normas impessoais – afeta a capacidade de adaptação e inclusão de diferentes intervenientes e a própria equidade das decisões? De que maneira a racionalidade técnica da burocracia pode ser utilizada ou manipulada por interesses privados para fortalecer disparidades sob uma aparência de neutralidade e eficiência; contribuir para a própria fragmentação

institucional previamente identificada como um obstáculo à governança para a sustentabilidade?

A tradição pluralista norte-americana, inaugurada por Robert Dahl (1957), concentrou-se na dimensão mais visível do poder, procurando identificá-lo na capacidade de um ator (A) fazer com que outro ator (B) faça algo que B não faria de outra forma, observável em processos decisórios sobre questões em conflito. Na gestão hídrica, isso se manifestaria, por exemplo, na capacidade de um grupo de agricultores, que irrigam suas terras, de vetar uma proposta de alocação de água para abastecimento urbano em uma votação no comitê de bacia. Nesta visão, o poder seria relativamente disperso e as assimetrias resultariam da distribuição desigual de recursos mobilizáveis na competição política. Contudo, esta “primeira face” do poder foi incisivamente criticada por Peter Bachrach e Morton S. Baratz (1962) por ignorar a “segunda face”: o poder de controlar a agenda política, definindo quais questões são consideradas legítimas para debate e decisão e quais são suprimidas ou marginalizadas (as “não-decisões”). Esta dimensão é fundamental para a análise da governança de bens comuns, pois muitas das questões mais críticas para grupos vulneráveis ou para a sustentabilidade ecológica de longo prazo podem ser sistematicamente excluídas das pautas formais dos órgãos decisórios (como comitês de bacia ou conselhos gestores) por atores com capacidade de controlar a agenda.

Ampliando consideravelmente essa crítica de forma abrangente Steven Lukes (2005) apresentou sua conceituação influente e tridimensional do poder que vai além das duas primeiras facetas (decisão e não-decisão), que ainda implicam em algum nível de conflito (real ou potencial), Lukes (2005) introduz a “terceira dimensão”, a forma mais efetiva e insidiosa de poder: a capacidade de influenciar, moldar ou determinar as próprias percepções, desejos e preferências das pessoas, fazendo com que aceitem ou até desejem situações que são contrárias aos seus “interesses genuínos”. O poder muitas vezes se manifesta por meio de ideologias e da manipulação de informações para estabelecer e naturalizar discursos e práticas dominantes sem permitir que os conflitos sejam reconhecidos conscientemente. Esse poder de moldar preferências pode criar “silêncios” profundos – questões que não são apenas excluídas da agenda, mas que se tornam impensáveis ou inquestionáveis para os próprios sujeitos dominados (Lukes, 2005).

Na governança em prol da sustentabilidade é essencial compreender como o “paradigma do crescimento”, que negligencia os custos sociais e ambientais (Daly, 1996), persiste na sociedade; a resistência em questionar os modelos tecnológicos dominantes; ou a aceitação das desigualdades no acesso aos recursos como algo intrínseco e inevitável. Um objetivo central de estruturas de governança mais democráticas e inclusivas, como a vislumbrada nesta tese, seria precisamente romper esses silêncios, tornando audíveis e politicamente relevantes as questões e os interesses previamente obscurecidos pelo poder. O desequilíbrio na distribuição de capital simbólico (Bourdieu, 1986), como prestígio, reconhecimento e autoridade epistêmica é crucial neste contexto, atribuindo mais influência e legitimidade às histórias e escolhas de grupos que possuem mais poder.

Complementarmente à análise de Bourdieu, a análise do capital social desenvolvida por James Coleman (1990) oferece outra lente relevante ao defender que o capital social reside nas relações sociais, redes de confiança e obrigações mútuas que facilitam a coordenação de ações, além de enfatizar que normas sociais eficazes e estruturas de rede densas possibilitariam que grupos pudessem superar dilemas de ação coletiva e alcançassem objetivos comuns, como os da sustentabilidade. Contudo, Coleman também reconheceu que o capital social não é uniformemente distribuído e que certas estruturas podem beneficiar alguns atores em detrimento de outros, conectando-se assim às assimetrias de poder (Coleman, 1990).

Além disso, a Economia Institucional Original (OIE em inglês) e abordagens relacionadas se concentram em como o poder é integrado, mantido e perpetuado pelas próprias instituições – as regras formais (leis, regulamentos, estatutos), as normas sociais não formais e os “hábitos de pensamento” ou “rotinas” compartilhadas (Commons, 1934; Hodgson, 2004) que moldam as interações sociais e econômicas, suas percepções e ações. Esses hábitos mentais (por exemplo, naturalizar o crescimento econômico ilimitado, ver a natureza primordialmente como um conjunto de recursos a serem explorados) são profundamente arraigados e reproduzidos através das práticas institucionais, tornando-se barreiras cognitivas à adoção de paradigmas alternativos como o da sustentabilidade. Longe de serem locais neutros de atuação social desimpedida ou equitativa, as instituições são moldadas por relações de poder historicamente enraizadas e que resistem a mudanças que ameacem seus privilégios, mesmo que essas sejam benéficas para a coletividade;

como exemplificado por Thorstein Veblen (1899) ao analisar o consumo e a “emulação pecuniária”. Fatores que, uma vez estabelecidos, tendem a privilegiar certos interesses em detrimento de outros, limitando assim as possibilidades de atuação individual ou coletiva dentro desses contextos específicos criando distorções sistemáticas que se perpetuam (*path dependency*).

No âmbito da gestão de bens comuns, as normas específicas para atribuição da água, os processos para obter licenciamento ambiental, os critérios para representação em órgãos decisórios e as tradições culturais acerca do valor da natureza exemplificam as estruturas institucionais que distribuem desigualmente o poder. Complementarmente, considerando a perspectiva de John Rogers Commons (1934) sobre a “transação” como unidade de análise e a necessidade de “regras operacionais” (*working rules*) para a ação coletiva, torna-se central questionar: como as assimetrias de poder influenciam a definição e a negociação dos termos das transações envolvendo bens comuns (quem define o preço da água, quem pode poluir, quem tem direito de acesso)? E como essas assimetrias moldam quais regras operacionais são de fato estabelecidas, implementadas e fiscalizadas, podendo perpetuar estruturas institucionais enviesadas que reforçam desigualdades (Dugger, 1988).

Essas análises aprofundadas sobre o poder que exploram aspectos como as interações interpessoais e discursivas (Foucault, 1977), as estruturas institucionais e formas legítimas de dominação (Weber, 2019), bem como as várias facetas da influência política. Dahl (1957) e Lukes (2005) destacam a sua complexidade e presença generalizada na sociedade. Isso nos leva a compreender que a desigualdade de poder está estreitamente relacionada a disparidades em várias dimensões – sejam elas de recursos materiais ou simbólicos – demonstrando uma visão multidimensional das relações de poder. Essas discrepâncias influenciam não apenas quem possui o poder, mas também como ele é usado e discutido em contextos institucionais específicos.

Dessa forma, esta tese adota uma definição multidimensional da desigualdade de poder, entendida como a habilidade diferenciada entre os atores – proveniente da distribuição desigual de recursos – para impactar resultados através de três dimensões interligadas: controle da pauta de discussões; prevalência de decisões explícitas; e moldagem de percepções e preferências dentro das estruturas

institucionais específicas que regulam bens comuns de acesso aberto. Cabe ressaltar que para Foucault (1977), essa habilidade não é fixa, mas fluida e relacional.

Identificar essas nuances de influência de forma mais abrangente (como controlar agendas e influenciar preferências por meio do discurso) requer uma análise detalhada das normas explícitas e implícitas e dos padrões de pensamento dos envolvidos. Reconhecer os desafios metodológicos inerentes a essa tarefa apenas reforça a importância de compreender como o poder se manifesta em suas diversas formas. Este entendimento aprofundado é, portanto, um passo essencial, que não pode ser negligenciado, pois servirá de base para a análise crítica das estruturas de governança existentes (a ser realizada na próxima seção) e guiará a proposta subsequente de mecanismos institucionais e processuais capazes de melhorar a tomada de decisão, reduzir assimetrias de poder e promover uma governança eficaz para o desenvolvimento sustentável.

2.2 ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA

A governança de bens comuns de acesso aberto adquire importância crítica no desenvolvimento sustentável, particularmente em sistemas socioecológicos complexos como bacias hidrográficas. Nesses sistemas complexos, a interdependência dos diversos usuários com a natureza compartilhada e vulnerável do recurso hídrico, especialmente em contextos com necessidades frequentemente conflitantes, como agricultura, indústria, abastecimento urbano e geração de energia, torna indispensável a criação de arranjos institucionais eficazes para coordenar ações, mediar conflitos e reduzir o risco de sobreuso do recurso, decorrentes de tais necessidades (Ostrom, 1990)

Gerenciar essa interdependência e complexidade é um desafio muitas vezes intransponível para modelos de governança convencionais, em virtude destes serem usualmente orientados por racionalidades burocráticas que podem priorizar a eficiência formal em detrimento da equidade efetiva (Weber, 2019) ou condicionados por interesses econômicos investidos e consolidados (*“vested interests”*) (Veblen, 1899), mostram-se inadequados, tendendo a intensificar conflitos distributivos e favorecer a degradação ambiental – refere-se ao impactante desequilíbrio causado quando as atividades humanas excedem os limites naturais para a regeneração dos

ecossistemas (Georgescu-Rogen, 1971). Em seu estudo pioneiro sobre o assunto, ele destacava como o uso implacável e irrestrito dos recursos naturais resultava em danos significativos à integridade e diversidade dos sistemas naturais (Martinez-Alier, 2002; Abers; Keck, 2013).

No cenário brasileiro, por exemplo, mesmo a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997) estabelecendo um marco legal avançado, ao incorporar princípios participativos e mecanismos de gestão como os Comitês de Bacia, como esta tese argumentará, não garante sua implementação efetiva ou a superação das assimetrias de poder historicamente consolidadas, ou seja, a mera existência desse arcabouço formal não é suficiente para isso.

Considerando esse contexto, e com o propósito de ir além de ajustes meramente incrementais na busca de estruturas capazes de lidar com a complexidade dos sistemas socioecológicos e, sobretudo, de enfrentar as assimetrias de poder multidimensionais (conforme abordadas na Seção 2.1), apresenta-se a seguir uma análise crítica das principais estruturas de governança discutidas na literatura, com o exame de premissas, potencialidades declaradas e especial atenção às vulnerabilidades e falhas que podem perpetuar relações de poder e mecanismos que sejam capazes de reconfigurar essas relações, utilizando-se exemplos empíricos para ancorar e problematizar o debate teórico.

Reconhece-se a amplitude do campo da governança, que inclui abordagens diversas como a governança pública focada na responsabilização (Bovens, 2007b), a governança experimentalista baseada em aprendizado e revisão de metas (Sabel; Zeitlin, 2012), ou a governança metropolitana voltada para desafios urbanos complexos (Heinelt; Kübler, 2005), entre muitas outras. No entanto, para os fins desta tese – centrada na sustentabilidade de bens comuns de acesso aberto sujeitos à extração, na mitigação de assimetrias de poder e informada por contextos como o brasileiro, cujo arcabouço de gestão hídrica, por exemplo, estabelece um diálogo particular com modelos internacionais como o francês (Barraqué, 1995). Para tanto, impõe-se um recorte analítico específico, que considera que uma governança eficaz de bens comuns de acesso aberto demanda, consensualmente, abordagens que fomentem a colaboração entre atores diversos, com o intuito de melhorar a inclusão de múltiplos interesses e saberes, promovam a participação cidadã efetiva e que

permitam a integração adaptativa entre diferentes escalas espaciais e temporais (Ostrom, 1990; Dietz; Ostrom; Stern, 2003).

Assim, a seleção das estruturas de governança a serem examinadas criticamente nesta seção recai sobre aquelas (sintetizadas no Quadro 1) que atendem aos seguintes critérios: sua proeminência na discussão ou aplicação prática em contextos de bens comuns de acesso aberto; a presença, em seu desenho teórico, de mecanismos potencialmente capazes de aprimorar a qualidade dos processos decisórios coletivos (como colaboração, inclusão ou adaptação); e, decisivamente, a pertinência desses mecanismos para a questão central desta tese: investigar se e como a melhoria na qualidade da tomada de decisão pode efetivamente contribuir para a mitigação das assimetrias de poder (exploradas na Seção 2.1).

QUADRO 1 – ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA APLICÁVEIS A BENS COMUNS DE ACESSO ABERTO

Estrutura de Governança	Propósito	Características Principais	Estruturas Utilizadas	Contribuições	Referências
Governança de Rede	Visa responder a problemas complexos através da colaboração.	Relações horizontais, colaboração, inovação.	Organizações interconectadas, parcerias, alianças.	Promove inovação, inclusão e resiliência.	(Powell, 1990)
Governança Participativa e Colaborativa	Responder à necessidade de inclusão e colaboração em tomadas de decisão.	Inclusão, retroalimentação, colaboração ativa.	Assembleias públicas, fóruns comunitários, parcerias público-privadas.	Fortalece a voz da comunidade, promove a transparência e inclusão.	(Fung, 2006; Ansell; Gash, 2007)
Governança Baseada em Ecossistemas	Realizar a gestão integrada de recursos, levando em consideração ecossistemas inteiros.	Gestão holística, de integração de componentes ecológicos.	Zonas de conservação, sistemas de gestão ambiental integrada.	Apoia a conservação, promove o uso sustentável dos recursos.	(Leslie; Mcleod, 2007)
Governança Polárquica Multinível	Coordenar sistemas onde o poder é distribuído entre vários níveis ou centros. Responde à complexidade da governança em múltiplas escalas.	Distribuição de poder, interação entre diferentes níveis de governo.	Conselhos regionais, comitês de gestão em diferentes níveis, redes de autoridades.	Promove a coesão entre níveis de governança, apoia a descentralização.	(Dahl, 1957; Marks 2004)
Governança Adaptativa	Centra-se na capacidade de se adaptar a mudanças, especialmente em sistemas ecológicos.	Flexibilidade, aprendizado contínuo, resposta à mudança.	Sistemas de monitoramento e retroalimentação, grupos de trabalho adaptativos.	Promove a flexibilidade e a aprendizagem, apoia a gestão resiliente.	(Folke <i>et al.</i> , 2005)
Governança Ambiental	Responde à necessidade de gestão e conservação ambiental.	Foco no ambiente, conservação, sustentabilidade.	Conselhos de sustentabilidade, tratados ambientais, convenções.	Apoia a conservação, promove políticas sustentáveis.	(Young, 2010)
Governança Cívica Digital	Responde à digitalização da sociedade e à necessidade de inclusão digital nas tomadas de decisão.	Plataformas digitais, participação online, inclusão digital.	Plataformas digitais, fóruns online, sistemas de votação digital.	Promove a inclusão digital, fortalece a democracia digital.	(Noveck, 2015; Margetts, 2017)

FONTE: O autor (2024).

Por outro lado, embora o Quadro 2 apresente outras estruturas e perspectivas relevantes como governança hierárquica, parcerias público-privadas entre outras, foi considerado como secundário em virtude de oferecer menos oportunidades diretas para tratar a relação entre processos decisórios aprimorados e a mitigação de assimetrias de poder. Ainda assim, serão utilizadas de forma complementar à discussão sobre as estruturas de governança apresentados no Quadro 1.

QUADRO 2 – ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA PARCIALMENTE APLICÁVEIS A BENS COMUNS DE ACESSO ABERTO

Estrutura de Governança	Origem	Propósito	Estruturas Utilizadas	Características Principais	Referências
Governança Hierárquica	Tradicionalmente originada da estrutura de organizações e instituições.	Organizar e coordenar atividades de maneira ordenada, com clareza de autoridade e responsabilização	Organização de cima para baixo, centralização de autoridade.	Centralização, clareza de responsabilidade, ordem e eficiência.	(Weber, 2019; Simon, 1947)
Governança de Código Aberto	Surgiu com o advento do movimento do software livre e aberto	Promover a colaboração e inovação coletiva na criação de software.	Comunidades de código aberto, licenças de software.	Transparência, colaboração, e licenciamento flexível.	(Raymond, 2001)
Governança da Internet	Surgiu com o crescimento e globalização da internet.	Garantir a operação estável e segura da internet.	ICANN, IETF, W3C.	Decentralização, colaboração entre múltiplos interessados	(DeNardis, 2014)
Governança por Resultados	Surge da necessidade de melhorar a eficiência e eficácia nas organizações públicas e privadas.	Promover a responsabilidade e eficácia através da mensuração e avaliação de resultados.	Métricas de desempenho, sistemas de avaliação.	Orientação a resultados, retroalimentação contínua, melhoria contínua.	(Behn, 2014)
Governança Pública-Privada	Desenvolveu-se como uma resposta à necessidade de colaboração entre setores público e privado.	Aproveitar os pontos fortes de ambos os setores para alcançar objetivos comuns.	Parcerias público-privadas (PPP).	Colaboração, compartilhamento de recursos, cogerência.	(Hodge; Greve, 2007).
Metagovernança	Surge da necessidade de coordenar diversas formas de governança.	Alinhar e coordenar sistemas de governança.	Mecanismos de coordenação e alinhamento.	Supervisão, coordenação, alinhamento.	(Jessop, 2009)
Governança Transgovernamental	Surge da necessidade de coordenação entre diferentes níveis de governo e setores.	Promover a colaboração e coordenação entre governos locais, regionais, nacionais e internacionais.	Acordos intergovernamentais, redes de políticas.	Colaboração horizontal entre entidades governamentais.	(Slaughter, 2009)
Governança Distribuída	Emergiu com o advento de tecnologias descentralizadas, como blockchain.	Facilitar a tomada de decisão e operação em redes distribuídas.	Tecnologias blockchain, Organizações Autônomas Descentralizadas (DAOs).	Descentralização, transparência, resistência à censura.	(Tapscott; Tapscott, 2016)
Governança de Inteligência Artificial (IA)	Surge com o rápido desenvolvimento e adoção de tecnologias de IA.	Garantir o uso ético, seguro e responsável da IA	Comitês de ética em IA, regulamentos, diretrizes e políticas.	Ética, segurança, transparência.	(Russell; Norvig, 2016)

FONTE: O autor (2024).

Com o objetivo de realizar uma análise crítica coesa e incisiva, o procedimento analítico consistirá em: apresentar as premissas, mecanismos chave e potencialidades declaradas das estruturas de governança selecionadas e na avaliação de suas limitações e vulnerabilidades, interpretadas através do arcabouço multidimensional do poder estabelecido na Seção 2.1, com o uso de exemplos empíricos para ancorar a discussão sobre essas potencialidades e fragilidades estruturais frente às assimetrias de poder apresentadas.

Em estruturas de Governança como as em Rede (Powell, 1990; Sørensen; Torfing, 2016) e as Participativa/Colaborativa (Fung, 2006; Ansell; Gash, 2007; Innes; Booher, 2018) se destacam como alternativas à rigidez hierárquica ao propor arranjos mais flexíveis, policêntricos e com interações horizontais – ou não mediados por uma autoridade central – teoricamente, podem aprimorar o fluxo de informações, o aprendizado mútuo e a legitimidade decisória, e têm o potencial de desafiar a concentração de poder. Todavia, a análise crítica, apresentada em estudos empíricos realizados por autores como Agranoff (2007) e, Klijn e Koppenjan(2016), indica a importância de analisar a topologia da rede e a distribuição de recursos entre os nós, pois atores com maior centralidade (Burt, 2005a), ou que controlem recursos materiais ou informacionais críticos, ou com maior capital social e cultural (Bourdieu, 1986) podem alcançar posições que lhes permitam, potencialmente, direcionar os fluxos na rede, capturar desproporcionalmente os benefícios da colaboração ou mesmo excluir atores menos conectados ou com menos recursos (Newman, 2010).

De forma semelhante, a mera criação de arenas deliberativas ou consultivas não assegura, por si só, uma influência equitativa sobre as decisões. A literatura sobre participação (e.g., Arnstein, 1969; Fung, 2006a) há muito alerta para o risco dessa se tornar meramente simbólica ou ritualística, nos quais processos decisórios são muitas vezes cooptados com as decisões efetivas tendo sido tomadas em outros fóruns ou locais. Isso porque a dinâmica interna desses espaços também é permeável ao poder, com atores com maior capacidade retórica, tempo disponível, ou acesso à informação técnica potencialmente dominar os debates. No contexto brasileiro, a experiência dos Comitês de Bacia (Lei nº 9.433/1997), embora representem um avanço institucional, frequentemente, podem ilustrar esses desafios, com relatos sobre representatividade

desigual e dificuldades para grupos mais vulneráveis exercerem influência efetiva frente aos setores mais organizados e influentes (Abers; Keck, 2013).

Adicionalmente, e talvez de forma mais crítica para ambas as abordagens, tem-se as dimensões do: controle da própria agenda (Lukes, 2005 – 2ª dimensão), no qual agentes poderosos podem influenciar ou definir quais tópicos são considerados legítimos para discussão e quais são marginalizados; do poder de se moldar percepções e preferências (Lukes, 2005) através da mobilização de conhecimento técnico (Foucault, 1977), capital simbólico (Bourdieu, 1986), no qual certos atores podem enquadrar o problema de uma forma específica, naturalizar certas soluções como as únicas “viáveis” e levar outros participantes a internalizar visões que podem não atender aos seus próprios interesses ou inviabilizar perspectivas alternativas. Quando fatos como esses ocorrem, o consenso alcançado, mesmo que aparente, pode mascarar e cristalizar assimetrias de poder (Mouffe, 2000).

As dinâmicas de poder, mesmo reconfiguradas em um novo arranjo institucional com a criação de entidades como a Fundação Renova – uma entidade privada estabelecida pelas empresas responsáveis pelo desastre, com supervisão intergovernamental, para gerenciar a reparação os danos decorrentes do desastre –, seguiram assimétricas no período pós-desastre, pois apesar de um projeto que poderia sugerir maior colaboração e participação, estudos como os de Abers e Keck (2013) e de Milanez et al. (2019) indicam que o controle sobre as decisões estratégicas e a alocação de recursos permaneceu, na prática, fortemente influenciado pelos interesses das empresas causadoras do dano, com a marginalização da participação efetiva dos atingidos na definição de prioridades e na fiscalização das ações de reparação, resultando em processos contestados e na dificuldade de garantir uma reparação considerada justa pelas comunidades afetadas, como documentado em relatórios das Áreas de Interesse Territorial (ATI) e análises como a de Santos e Milanez (2021).

O caso do Rio Doce ilustra como a mera existência de estruturas de participação formais, tanto na gestão pré-desastre (Comitês) quanto na resposta a desastres (Renova), podem ser insuficientes para garantir resultados equitativos, evidenciando como as assimetrias de poder – seja pela via do conhecimento, da influência econômica ou do controle da agenda decisória – podem limitar severamente a capacidade de influência de grupos vulneráveis e diluir a responsabilização de

atores dominantes, fatos que reforçam a necessidade de mecanismos complementares para que a participação se traduza em poder real.

O Orçamento Participativo de Porto Alegre frequentemente celebrado como um exemplo paradigmático de sucesso na promoção da inclusão cidadã e na redistribuição de recursos com mecanismos, como as assembleias regionais e temáticas, demonstrou a viabilidade da inclusão de setores historicamente marginalizados na contestação de assimetrias de poder por meio da influência direta na priorização orçamentária (Baiocchi, 2005). No entanto, uma análise mais aprofundada e equilibrada revela que, mesmo essa experiência emblemática, não esteve imune a interferências como mostrado em estudos diversos (e.g. Fung; Wright, 2003; Baiocchi, 2005; Wampler, 2007) que identificaram desafios persistentes, como: riscos de captura do processo decisório por grupos de interesse mais organizados; a necessidade contínua de mecanismos de mitigação de assimetrias; e os limites impostos ao escopo deliberativo pela agenda política e pelas restrições fiscais mais amplas. Portanto, a experiência de Porto Alegre ilustra que arranjos participativos, ainda que potencialmente transformadores, exigem vigilância constante e adaptação para enfrentar as assimetrias de poder internas e externas, de modo a sustentar e aprofundar o empoderamento cidadão ao longo do tempo (Wampler, 2007).

A Governança Baseada em Ecossistemas (GBE) (Grumbine, 1994; Leslie; Mcleod, 2007) e a Governança Polárquica Multinível (GPM) (Ostrom, 2010; Hooghe; Marks, 2003; Hooghe; Marks, 2004) apresentam estruturas e abordagens conceituais relevantes para tratar desafios complexos de gestão da sustentabilidade. A GBE busca superar a fragmentação setorial através de uma visão ecológica integrada, enquanto a GPM visa a coordenação entre múltiplos níveis e centros de poder em sistemas com autoridade dispersa. Ambas propõem princípios valiosos para uma gestão mais integrada e coordenada.

Entretanto, a implementação dessas estruturas frequentemente encontra obstáculos relacionados a assimetrias de poder, como por exemplo na GBE, na qual a literatura (e.g., Agrawal; Gibson, 1999; Scott, 1998) aponta que existem riscos na própria definição de limites ecossistêmicos e no estabelecimento de prioridades, os quais podem ser influenciados ou dominados por perspectivas técnico-científicas – um exercício de poder-saber (Foucault, 1977), que, frequentemente precisam estar alinhadas à tendência estatal de simplificação para fins de legibilidade e controle

(Scott, 1998), podem acabar marginalizando saberes e práticas locais. Similarmente, na GPM, a dispersão da autoridade nem sempre se traduz em maior resiliência ou equidade na prática, como mostrado em estudos como os de Biermann et al. (2009), que indicam que atores com maior capacidade de influência podem: explorar a complexidade de estruturas multinível para dificultar a responsabilização, bloquear políticas contrárias aos seus interesses, ou selecionar os contextos decisórios mais favoráveis ("forum shopping"). Desta forma, a coordenação necessária em ambas as estruturas se torna um processo político no qual assimetrias de poder podem influenciar significativamente os resultados (Grumbine 1994, Leslie; Mcleod 2007; Scott 1998).

A Bacia do Rio Chesapeake, nos Estados Unidos, exemplo de aplicação das estruturas de Governança Baseada em Ecossistemas e da Governança Poliárquica Multinível, com a criação do Chesapeake *Bay Program* e o desenvolvimento de metas ambiciosas de redução de poluição, conhecidas como metas de Carga Máxima Diária Total (TMDL em inglês), representaram um esforço notável e demonstram o potencial de modelos colaborativos em mobilizar múltiplas esferas governamentais como estados, agências federais (como a EPA) e atores locais em torno de um objetivo comum de restauração ecológica.

Entretanto, estudos sobre a implementação desse programa e seus objetivos, como os realizados por Ernst (2003) e Orth et al. (2017) documentaram a contínua e forte resistência de setores como os da agroindústria (incluindo a avicultura e grandes produtores de grãos) e imobiliário, que ao assumirem que as regulamentações ambientais seriam uma ameaça aos seus modelos de negócios, e que passaram a empregar diversas estratégias com o objetivo de influenciar o processo decisório e regulatório a seu favor. Estratégias essas que incluem pressão política direta, realizada através de *lobby* sobre legisladores, contestação judicial das metas do TMDL e da própria autoridade da agência reguladora, além do financiamento de campanhas e estudos que pudessem questionar a base científica das metas e enfatizar a desproporcionalidade dos custos econômicos da implementação. Elementos e táticas que podem ser interpretados como manifestações da segunda (o controle da agenda regulatória) e terceira (tentativa de moldar a percepção pública e as políticas relacionadas à viabilidade e a necessidade da ação proposta) dimensões do poder (Lukes, 2005).

A própria complexidade da estrutura de governança envolvendo seis estados e o Distrito de Colúmbia – cada qual com seus interesses e capacidades institucionais únicas – pode exacerbar os desafios existentes. No caso de Chesapeake, isso sugere que, mesmo arranjos colaborativos formais e bem estruturados, podem ter sua eficácia limitada quando confrontados com fortes assimetrias de poder e com os desafios inerentes à coordenação em sistemas complexos com múltiplos níveis. (Ernst, 2003; Orth et al., 2017).

A vasta bacia hidrográfica do rio Danúbio, que corta dezenove países, representa um dos maiores desafios de gestão transfronteiriça de recursos hídricos em todo o mundo. A criação da Comissão Internacional para a Proteção do Rio Danúbio (ICPDR) representa um marco na busca por uma coordenação multinível entre as nações banhadas pelo curso d'água (Schmeier, 2013). A instituição formal de um fórum para diálogo, monitoramento conjunto da qualidade das águas e harmonização de normas técnicas constitui, por si só, um avanço significativo nos esforços de preservação desta extensa bacia hidrográfica europeia.

Contudo, apesar desses arranjos formais, a implementação efetiva esbarra em profundas assimetrias de poder econômico e político entre os estados-membros. Pesquisadores como Susanne Schmeier (2013) e Andrea K. Gerlak e Jessica T. Grant (2010) apontam para uma tendência persistente de países localizados a montante, ou aqueles com maior poder de barganha (influência na UE, capacidade econômica), priorizarem seus interesses nacionais estratégicos. Esses podem incluir o desenvolvimento da navegação fluvial, a geração de energia hidrelétrica ou a expansão agrícola intensiva – interesses que nem sempre se alinham com os objetivos de conservação ecológica ou com as necessidades de abastecimento e controle de poluição dos países a jusante.

Apesar das normas acordadas, a efetiva implementação das políticas acordadas frequentemente esbarra em profundas assimetrias de poder econômico e político entre os estados-membros. Pesquisadores como Schmeier (2013) e Gerlak e Grant (2010) apontam para uma tendência persistente de países localizados a montante, ou mais próximos à nascente do rio, ou aqueles com maior poder de barganha (influência na União Europeia, capacidade econômica), normalmente tendem a priorizar seus interesses nacionais estratégicos como o aprimoramento da navegação fluvial, a produção de energia hidrelétrica ou a expansão agrícola

mecanizada. Interesses esses que nem sempre estão alinhados com metas de preservação ecológica ou com as necessidades de abastecimento, controle de poluição ou desenvolvimento dos países a jusante, mais próximos da foz do rio.

Nesse cenário de interesses divergentes e poder desigual, a própria definição e aplicação de princípios como "uso equitativo e razoável" da água tornam-se campos de intensa disputa política e discursiva. Cada país pode mobilizar narrativas nacionais (Dryzek, 2013) e dados técnicos seletivos para justificar suas demandas e contestar as dos outros. O poder relativo dos estados nas negociações, mais do que critérios puramente técnicos ou ecológicos, pode acabar determinando os resultados da alocação de água e da distribuição de responsabilidades pela poluição. A experiência do Danúbio ilustra, assim, os limites inerentes a abordagens estritamente colaborativas ou técnicas quando confrontadas com as realidades da geopolítica e das assimetrias de poder entre nações soberanas (Schmeier, 2013).

A Governança Adaptativa (GA), tal como conceituada originalmente por Crawford S. Holling (1973) e desenvolvida por autores como Carl Folke et al. (2005), oferece um arcabouço importante para lidar com incertezas e dinâmicas inerentes aos sistemas socioambientais através de um enfoque baseado em ciclos iterativos de monitoramento, avaliação e aprendizado que visam ampliar a resiliência e a capacidade de resposta desses sistemas. Expandindo essa lógica, Maria Carmen Lemos e Arun Agrawal (2006) propuseram uma Governança Ambiental que também enfatiza processos contínuos de acompanhamento, análise de impacto e aprimoramento de políticas com base em experiências (Young, 2010).

Entretanto, a implementação prática da gestão adaptativa revela que, os processos de "aprendizado" e "adaptação" não são neutros, mas sim permeados por relações de poder. Questões cruciais emergem sobre quem define o que é conhecimento válido para orientar as avaliações – privilegiando a especialização científica em detrimento de saberes locais ou indígenas, numa manifestação do poder-saber Foucaultiano (Foucault, 1977), no qual temos questões como: quem efetivamente controla a coleta, a interpretação e a divulgação dos dados de monitoramento e quem estabelece os critérios de sucesso ou fracasso que determinam os ajustes nas estratégias de gestão? Estes são pontos nodais onde o poder pode se expressar, direcionando o processo adaptativo.

Adicionalmente, como aponta a teoria institucional em análises como as realizadas por Veblen (1899) sobre interesses estabelecidos ("*vested interests*"), no qual atores que têm seus interesses ameaçados pelo aprendizado ou pelos ajustes propostos podem ter fortes incentivos para resistir à mudança. Isso pode ocorrer através do bloqueio de informações, do questionamento da validade dos dados ou do uso estratégico da retórica da "incerteza" como justificativa para a inação ou manutenção de práticas insustentáveis, estratégias que se conectam ao controle de agenda e à moldagem de percepções (Lukes, 2005). Fatos que implicam que a flexibilidade inerente à GA, se não for acompanhada por princípios claros de equidade e mecanismos robustos de responsabilização, apresenta risco de ser instrumentalizada por atores poderosos, transformando a adaptação em um processo que beneficia poucos em detrimento da sustentabilidade coletiva. De forma análoga ao observado nas análises da GBE e GPM, a implementação da GA também se revela, portanto, um processo intensamente político, onde as relações de poder podem condicionar significativamente os resultados.

Diante do exposto sobre as abordagens de Rede, Participativa, Ecossistêmica, Multinível e Adaptativa, percebe-se que, embora representem avanços conceituais importantes e tenham alcançado sucessos parciais em contextos específicos (como ilustrado pelos casos de Porto Alegre em seu auge ou pelos avanços institucionais no Danúbio e Chesapeake), frequentemente esbarram em limites impostos pelas assimetrias de poder. O "fracasso" em alcançar plenamente os objetivos de equidade e sustentabilidade, nesses casos, parece residir menos no desenho conceitual da abordagem em si e mais na sua incapacidade, tal como implementada na prática, de neutralizar ou reconfigurar eficazmente as dinâmicas de poder preexistentes. Fatores como a captura por elites, a marginalização de saberes locais, o controle de agendas, a resistência de interesses estabelecidos e as limitações impostas por contextos institucionais e políticos mais amplos emergem como obstáculos recorrentes que impedem essas estruturas de atingir todo o seu potencial transformador. Isso reforça a necessidade de investigar não apenas quais estruturas são propostas, mas como elas interagem com o poder em contextos reais e quais mecanismos adicionais poderiam fortalecê-las contra essas vulnerabilidades.

Os Everglades da Flórida constituem um caso extensamente documentado da aplicação (e dos desafios) da Governança Adaptativa (GA) em um sistema

socioecológico de grande escala e complexidade (Gunderson; Holling, 2002; Olsson et al., 2006) para corrigir severos impactos ecológicos causados por décadas de drenagem e engenharia hidráulica voltadas para o desenvolvimento agrícola e urbano através do Plano Abrangente de Restauração dos Everglades (*CERP – Comprehensive Everglades Restoration Plan*). O objetivo era utilizar o conhecimento científico acumulado e um processo iterativo de monitoramento e controle para restabelecer fluxos hídricos mais naturais, melhorar a qualidade da água e recuperar habitats degradados, buscando assim a resiliência do ecossistema no longo prazo.

Contudo, a implementação do CERP, com uma estrutura composta por múltiplas agências federais e estaduais, foi constantemente confrontada por interesses conflitantes – como os da indústria açucareira (um dos maiores proprietários de terras e fonte significativa de poluição por fósforo) e do setor de desenvolvimento imobiliário, que mobilizaram consideráveis recursos políticos e legais para resistir a mudanças e moldar o escopo e a abrangência das intervenções quando ocorressem, pois essas poderiam afetar o uso da terra ou exigir práticas agrícolas mais custosas, o que os impactava. Autores como Lance H. Gunderson e Stephen S. Light (2006) argumentam que esses grupos exerceram influência significativa sobre as decisões relativas à quantidade, qualidade e temporalidade dos fluxos de água a serem restaurados, muitas vezes atrasando ou diluindo medidas consideradas cientificamente necessárias.

Nesse contexto, mesmo os mecanismos formais para incorporar a retroalimentação tanto de bases científicas quanto comunitária, enfrentaram limitações. Isso porque o conhecimento científico sobre o ecossistema, embora avançado, precisou ser constantemente negociado com interesses políticos e econômicos, com relatos que indicam que a "retroalimentação" realizada por comunidades locais como as das Tribos Seminole e Miccosukee (com direitos históricos na região), tiveram capacidade limitada de alterar as decisões estratégicas tomadas. Assim, embora a GA forneça um arcabouço conceitual valioso com suas ferramentas de aprendizado e ajuste, podem ser significativamente condicionadas, retardadas ou até mesmo cooptadas pelas relações de poder preexistentes na arena de intervenção almejada.

A Bacia do Rio São Francisco, no Brasil, constitui um caso ilustrativo para a análise da Governança Ambiental, especialmente após a implementação da Lei das

Águas (Lei nº 9.433/1997). Essa bacia, de enorme importância estratégica e socioeconômica, abriga uma complexa teia de usos múltiplos da água, frequentemente em competição: desde a geração hidrelétrica em larga escala e grandes projetos de irrigação para agroexportação, até o abastecimento de importantes centros urbanos, a pesca artesanal e as necessidades de comunidades tradicionais ribeirinhas (indígenas, quilombolas).

A bacia do Rio São Francisco serve como um exemplo representativo para a análise da Governança Ambiental, especialmente após a introdução da Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997), por ser vital em termos estratégicos e socioeconômicos e por abrigar uma intrincada rede de usos diversos da água que frequentemente competem entre si: indo desde a produção de energia hidrelétrica em larga escalas e grandes projetos de irrigação para exportação agrícola até o fornecimento de água para importantes centros urbanos e atendimento às necessidades das comunidades tradicionais ribeirinhas (indígenas e quilombolas) incluindo a pesca artesanal.

Apesar dessa arquitetura institucional avançada, sua efetividade na prática é baixa devido à assimetria existente com setores intensivos em água – notavelmente o setor hidrelétrico com muitas barragens na bacia e a agroindústria de irrigação, especificamente nos polos de fruticultura – que continuam moldando significativamente a agenda da gestão da bacia. Isso se manifestaria, por exemplo, na vigorosa resistência e frequentemente bem-sucedida em evitar implementação efetiva da cobrança pelo uso da água para esses setores, ou na dificuldade em priorizar ações voltadas para a revitalização de afluentes ou o saneamento básico em detrimento de grandes projetos de infraestrutura hídrica (Abers; Keck, 2013; Empinotti et al., 2019)

Nesse contexto de assimetrias de poder, levantam-se sérias preocupações sobre se a participação formal de representantes de comunidades tradicionais (indígenas, quilombolas, pescadores) e de pequenos usuários nos comitês se traduz em capacidade real de influenciar as decisões estratégicas. Frequentemente, esses grupos enfrentam barreiras relacionadas ao acesso à informação técnica, à disponibilidade de tempo e recursos para participação, e à dificuldade em ter seus conhecimentos locais (poder-saber foucaultiano) e suas demandas por justiça hídrica e reconhecimento de direitos territoriais (terceira dimensão do poder) levados em conta frente aos discursos técnicos e econômicos dominantes. A experiência do São

Francisco parece indicar, portanto, uma desconexão persistente entre a arquitetura participativa formal preconizada pela lei e as dinâmicas de poder reais que continuam a operar na bacia, dificultando a reversão de padrões históricos de apropriação desigual dos recursos hídricos e a plena implementação de uma gestão verdadeiramente integrada e sustentável.

Por fim, a governança cívica digital visa aprimorar a gestão de bens comuns por meio do uso de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) por meio da ampliação do número de canais de participação dos cidadãos e aumento da transparência e acessibilidade dos dados governamentais com a expectativa de os processos decisórios e de monitoramento sejam agilizados. Nesse contexto, as mídias sociais e plataformas online, abririam novas vias para o debate público e para a fiscalização social, viabilizando assim uma ampliação do controle social (Noveck, 2015).

Essa promessa, todavia, enfrenta desafios significativos e amplamente debatidos na literatura especializada como: a persistência da exclusão digital, que pode marginalizar grupos vulneráveis sem acesso adequado à tecnologia ou às habilidades necessárias para seu uso (Norris, 2001; Helsper, 2012); a emergência de novas formas de concentração de poder ligadas ao controle, muitas vezes privado ou estatal, sobre as infraestruturas digitais, os algoritmos que medeiam a informação e os vastos conjuntos de dados (Big Data), levantando preocupações sobre vigilância e manipulação (DeNardis, 2014; Zuboff, 2019).

O próprio ambiente online apresenta desafios à deliberação racional e à formação de opinião pública uma vez que fenômenos como: a rápida disseminação de desinformação; a criação de "bolhas" que limitam a exposição a visões diversas; e a intensificação da polarização que podem minar o debate informado e facilitar a manipulação (Sunstein, 2017; Benkler et al., 2018). Além disso, a própria arquitetura das plataformas digitais – os algoritmos de recomendação, o design das interfaces – pode, intencionalmente ou não, introduzir vieses, direcionando a atenção e privilegiando certas vozes ou formas de participação em detrimento de outras (Margetts; Dunleavy, 2013).

Fatores que indicam que as tecnologias digitais, por si só, não são uma garantia de democratização ou um caminho para a superação de assimetrias de poder, uma vez que sua contribuição depende substancialmente de como essas

ferramentas são desenhadas, implementadas, reguladas e, fundamentalmente, de quem detém o controle sobre elas e sobre os dados que geram.

Assim, é fundamental ressaltar, contudo, que a análise crítica das vulnerabilidades ao poder não implica uma condenação universal ou inevitável da ineficácia dessas estruturas e suas abordagens, porque ao compararmos a literatura discutida e os estudos de caso apresentados chega-se à conclusão de que a efetividade de qualquer estrutura de governança é altamente dependente do contexto sociopolítico, histórico e institucional existente. Modelos como os comitês de bacia na França, por exemplo, que inspiraram a legislação brasileira, demonstram maior capacidade de implementação e de garantir o cumprimento devido a fatores como tradição participativa consolidada na sociedade, fontes estáveis de financiamento e um quadro legal robusto (Barraqué, 1995; Kuks, 2002).

Cabe ressaltar que o modelo francês não está livre de críticas e ainda enfrenta desafios significativos como apresentado em estudos recentes que apontam para debates sobre: a representatividade real de certos atores nos comitês de bacias, dificuldades crescentes na gestão de secas que estão se tornando cada vez mais frequentes, a persistência da poluição difusa de origem agrícola, indicando que mesmo sistemas considerados maduros necessitam de adaptações contínuas (Molle; Wester, 2009; Berland; Bertille, 2021; Lejars et al., 2022). Ainda assim, o contraste com o Brasil é instrutivo, porque apesar de um desenho legal inspirado no modelo francês, a implementação dos comitês frequentemente enfrenta maiores desafios que estão geralmente relacionados à fragmentação federativa, a uma menor capacidade financeira e técnica dos órgãos gestores e a uma maior intensidade de conflitos de poder não mediados eficazmente pelas instâncias formais (Abers; Keck, 2013).

Esta análise crítica das diferentes abordagens sugere um padrão recorrente: embora cada estrutura de governança examinada represente, em teoria ou em certos aspectos, potenciais avanços em relação a modelos puramente hierárquicos, todas parecem apresentar vulnerabilidades à persistência ou à reconfiguração das assimetrias de poder. Observa-se que, em determinados contextos ou sob certas condições, a colaboração pode ser capturada, a inclusão tende a se revelar mais simbólica do que efetiva, a adaptação corre o risco de ser enviesada e a tecnologia pode contribuir para a reprodução de desigualdades preexistentes. As diferentes dimensões do poder – desde o controle de recursos e decisões (governança *ex ante*)

até a influência sobre agendas, saberes e preferências, bem como sobre o monitoramento e a aplicação das regras (governança *ex post*) (Lukes, 2005; Foucault, 1977) – aparentemente operam dentro e através dessas estruturas. Tal constatação reforça a ideia de que talvez não exista uma única estrutura de governança ótima *à priori*; a eficácia parece depender não apenas do desenho formal, mas também da capacidade de incorporar mecanismos que ativamente busquem contestar e mitigar as diversas assimetrias de poder Dryzek (2013).

Portanto, a busca por superar as limitações identificadas parece exigir mais do que a simples adoção de um modelo específico. Sugere-se a necessidade de uma combinação estratégica de elementos, adaptados ao contexto, com um foco explícito em abordar as assimetrias de poder em suas múltiplas formas. Elementos como maior transparência, mecanismos mais robustos de responsabilização (Bovens, 2007b), garantia de recursos para a participação de grupos marginalizados, valorização da pluralidade de saberes e a criação de espaços que possam servir de contrabalança a relações de poder existentes emergem da literatura como ingredientes potencialmente essenciais (Fung; Wright, 2003). Assim, a presente tese se propõe, nos capítulos seguintes, a desenvolver e avaliar uma estrutura de governança inovadora, que busque integrar de forma mais coesa os elementos identificados como potencialmente essenciais com transparência, responsabilização, pluralidade de saberes entre outros com o objetivo de se investigar se tal integração pode oferecer um caminho mais promissor para mitigar assimetrias e aprimorar a tomada de decisão. Contudo, antes disso, é indispensável aprofundar a compreensão sobre como as limitações teóricas, aqui apontadas, se manifestam na prática. Por isso, o próximo passo (Capítulo 3) será dedicado à análise empírica da materialidade do poder em casos concretos.

3 ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA EM AÇÃO: UMA ANÁLISE CRÍTICA A PARTIR DE CASOS REAIS

Este capítulo segue a análise teórica empreendida no anterior, que explorou as raízes e os mecanismos inerentes às assimetrias de poder e suas manifestações em diversas estruturas de governança socioambiental como: participativa, adaptativa e em redes. E, mesmo oferecendo avanços conceituais e sucessos notáveis em determinados contextos e certos aspectos, essas estruturas seguem apresentando persistentes vulnerabilidades frente às dinâmicas de poder em suas múltiplas dimensões.

Assim, como a compreensão dessas interações e do equilíbrio entre potencialidades e limitações permanece incompleta, sem um exame mais aprofundado, que possa revelar como essas vulnerabilidades se manifestam de forma mais concreta nos processos decisórios reais – incluindo tanto as decisões explícitas quanto as “não-decisões” (Bachrach; Baratz, 1962) – que mantêm certas questões fora da agenda. Para tanto, serão analisados a seguir contextos específicos nos quais a materialidade das relações de poder, ou seja, as disputas por recursos, as estratégias de influência, a captura de instituições, as tensões inerentes aos arranjos institucionais específicos (leis, normas, órgãos gestores), os limites práticos das estruturas formais de participação (comitês, audiências, consultas) e as estratégias de invisibilização de determinados conhecimentos que influenciam a tomada (ou não tomada) de decisão se tornam mais explícitos.

Para tanto, este capítulo, busca complementar à análise teórica do capítulo anterior ao examinar casos emblemáticos – como de Mariana (Brasil) e da Cidade do Cabo (África do Sul) – e em menor medida, alguns outros casos internacionais, com o objetivo de investigar, com maior profundidade, os acertos (mesmo que parciais), as falhas e, principalmente, por que e em que medida as dinâmicas de poder, específicas de cada contexto, influenciaram atores e moldaram os processos decisórios e condicionam os resultados, de forma a revelar os desafios concretos e as possíveis janelas de oportunidade que uma proposta alternativa (Cap. 4) precisaria enfrentar.

Os casos de Mariana (Brasil) e da Cidade do Cabo (África do Sul) foram selecionados por representarem desafios estruturais na governança que dada a documentação existente, possibilitam uma análise de processos decisórios (e suas

falhas) como a captura regulatória, a fragilidade dos mecanismos participativos presentes, fragmentação institucional que afetam o planejamento da gestão da extração de bens comuns de acesso aberto no longo prazo.

Ao analisar os processos decisórios e os eventos contidos nesses dois casos, é possível observar um distanciamento significativo entre as intenções normativas ou declaradas das estruturas de governança – sejam elas formalmente hierárquicas (como a relação agência-empresa), multiníveis (governo nacional-provincial-municipal), participativas (comitês, consultas) ou adaptativas (planos de risco hídrico/gestão de escassez) – e seus resultados efetivos. Fatos que não significam, contudo, uma ausência total de resultados positivos ou de mecanismos com alguma efetividade, mesmo que parcial em etapas específicas ou para determinados atores, como será detalhado adiante.

3.1 O CASO MARIANA

O rompimento da barragem do Fundão em Mariana, no estado de Minas Gerais, ocorrida em 2015, expôs as vulnerabilidades na governança de bens comuns de acesso aberto frente às atividades mineradoras de grande porte. Isso porque, embora não se enquadre nessa categoria, a Bacia Hidrográfica do Rio Doce subjacente a essa – por ser um sistema socioecológico de vital importância para múltiplos usuários e ter inúmeros usos – sim e foi o receptáculo final dos rejeitos e palco da tragédia. Processo resultante de falhas sistêmicas em uma estrutura de governança incapaz de reduzir as assimetrias de poder e garantir a preservação dessa bacia.

O desastre, que liberou aproximadamente 43 milhões de m³ de rejeitos tóxicos na bacia – essencial tanto no abastecimento de água, irrigação e pesca quanto para a manutenção da biodiversidade regional – ceifou, segundo dados oficiais, 19 vidas, desalojou centenas de famílias e causou poluição massiva e danos socioambientais de difícil reparação ao longo dos 650 km de seu caminho até o mar (IBAMA, 2016; Fernandes et al., 2016; MPF, 2017), com custos de recuperação estimados em dezenas de bilhões de reais (IBAMA, 2018).

A dificuldade persistente na reparação dos danos à bacia e às comunidades dependentes da água, com críticas à atuação da Fundação Renova, com menos de

40% das famílias recebendo compensação integral até 2021, segundo dados da própria Fundação Renova, evidencia que essas falhas se estendem também à governança *ex post* da crise hídrica e ambiental. (IBAMA, 2016; Fernandes et al.; 2016; MPF, 2017; Milanez et al., 2019).

Formalmente, a governança existente antes do desastre era complexa e fragmentada, envolvendo tanto a regulação da mineração quanto a gestão de recursos hídricos. A responsabilidade pela segurança da barragem era da empresa mineradora (Samarco/Vale/BHP), que deveria ser fiscalizada tecnicamente pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) da Agência Nacional de Mineração (ANM). A responsável por avaliar os impactos ambientais, incluídos aqui, sobre as bacias era a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento, órgão estadual responsável pelo licenciamento ambiental.

Com regulamentações como a Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010), a qual definia protocolos de segurança, e a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997), como medidas de governança como os Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) – com instâncias colegiadas e participativas – com mandato para discutir o uso, a conservação e a recuperação dos recursos hídricos na bacia do Rio Doce. Esses comitês poderiam discutir a aprovação dos Planos de Bacia e deliberar sobre instrumentos como a cobrança pelo uso da água.

Elementos e regulamentações no papel apresentavam um sistema com potencial de integração, que todavia, na prática, mostrou-se um arranjo pouco integrado e no qual a governança setorial da mineração operava com maior influência e poder do que a governança participativa da água (Zhour, 2018; Losekann, 2017; Milanez; Santos, 2015). Essa desconexão permitiu que decisões críticas que poderiam afetar a segurança da bacia fossem tomadas com limitada consideração quanto aos múltiplos usos da água e dos riscos para os ecossistemas e comunidades a jusante.

A amplitude desse desastre revela a presença marcante de assimetrias de poder que permearam o processo decisório regulatório *ex ante*. Conforme discutido no Capítulo 2, o poder se manifesta na capacidade de moldar agendas, narrativas e percepções de risco (Lukes, 2005; Foucault, 1977). Em Mariana, evidências contundentes apontam para a influência considerável das mineradoras sobre órgãos reguladores e o licenciamento, configurando um quadro de captura regulatória (Dal

Bó, 2006). Práticas como lobby político, financiamento de campanhas e a "porta giratória" (*revolving door*) (Abers; Keck, 2013; Siqueira-Gay; Sánchez; Luiz, 2019) contribuíram para um ambiente normativo percebido como leniente. A investigação do Tribunal de Contas do Estado (TCE-MG, 2019) listou 32 casos de corrupção ligados ao licenciamento ambiental, o que reforça a percepção de um ambiente onde a influência indevida era possível. Nesse contexto, a segurança da barragem e a proteção da bacia parecem não ter recebido o rigor necessário. Exemplos incluem a aparente negociação de multas ambientais irrisórias e relatos de corrupção em processos de licenciamento. Decisões técnicas cruciais, como a opção pelo método de alteamento a montante (mais barato, porém mais arriscado)² e sua contínua expansão, sugerem uma priorização de interesses econômicos sobre a segurança socioambiental, podem ter sido influenciadas por uma racionalidade econômica que subestimou ou externalizou os riscos socioambientais (MPMG, 2020).

O discurso técnico da engenharia, responsável por atestar a segurança das barragens, monopolizou a definição do risco considerado "aceitável", enquanto os saberes locais das comunidades ribeirinhas sobre alterações no rio ou sinais de instabilidade na barragem foram desqualificados (Ministério Público de Minas Gerais, 2016; Losekann, 2017). Os Comitês de Bacia do Rio Doce que deveriam ser o palco principal para a discussão dos múltiplos usos e riscos relacionados à água, mostraram-se marginalizados e ineficazes em influenciar ou alterar as decisões sobre a segurança da barragem do Fundão (Abers; Keck, 2013). Embora atas formais possam não registrar explicitamente as discussões sobre a segurança da barragem do Fundão, estudos sobre a dinâmica dos CBHs no Brasil como o de Jacob (2005) frequentemente apontam para a dificuldade desses órgãos em lidar com temas de alta complexidade técnica sob forte pressão econômica, o que limita sua capacidade de influência real em decisões críticas (Jacobi; Fracalanza, 2005; Abers; Keck, 2013).

A disparidade de recursos e informações entre as mineradoras e os demais membros do comitê transformou a participação em um processo simbólico e incapaz de exercer um contrapeso efetivo aos interesses da mineração, no que tange à priorização da segurança da bacia (Arnstein, 1969).

² reconhecidamente mais barato para a empresa em comparação com métodos alternativos (como o a jusante ou linha de centro), porém com histórico de maior instabilidade e risco, especialmente em condições de saturação

Após o colapso da barragem, uma crise socioambiental sem precedentes se instalou e a governança para a reparação tornou-se um novo campo de disputa pelo controle dos recursos e do processo decisório. A criação da Fundação Renova, medida descrita no Termo de Transação e Ajustamento de Conduta (TTAC) – acordo extrajudicial negociado rapidamente entre as empresas e os governos, com limitada participação inicial dos atingidos ou do Ministério Público – estabeleceu um modelo privado de governança da reparação que foi amplamente criticado por sua alegada falta de independência em relação às empresas poluidoras e pela marginalização dos atingidos – aqueles que dependiam diretamente da água e dos ecossistemas da bacia para sua subsistência e modo de vida. Contudo, mesmo nesse cenário adverso, algumas iniciativas pontuais de resiliência e contrapoder emergiram, como: a organização dos atingidos via Movimento dos Atingidos por Barragens (MAB) e Assessorias Técnicas Independentes (ATI), o desenvolvimento de redes de monitoramento comunitário da água e a criação de plataformas digitais para denúncias e compartilhamento de informação, embora com alcance e impacto ainda limitados frente à estrutura dominante da Renova (Losekann, 2017; Milanez et al., 2019).

Na mesma linha, Zhouiri (2018) argumenta que o controle decisório sobre a alocação dos recursos de reparação e a definição das ações prioritárias (incluindo a recuperação da qualidade da água, o reassentamento e as indenizações) permaneceu fortemente influenciado pelas empresas, o que limitou a responsabilização e gerou contestações devido à percepção de injustiça pelas comunidades afetadas pela contaminação do rio (IBAMA, 2018; Zhouiri, 2018). A governança da reparação, assim, parece ter reproduzido as assimetrias que levaram ao desastre, agora no contexto da gestão da crise hídrica e ambiental (Milanez et al., 2019; Acseirad, 2010).

Em síntese, o caso Mariana ilustra tragicamente como o colapso da governança – da Bacia do Rio Doce – frente às pressões da atividade mineradoras, no qual mecanismos de poder (captura, influência política, poder epistêmico, controle de agenda e narrativa) operaram tanto na fase *ex ante*, fragilizando a regulação e a prevenção de riscos à bacia, quanto na fase *ex post*, comprometendo a justiça e a efetividade da reparação dos danos socioambientais, ocorreu mesmo com arranjos institucionais formais em vigor. Uma síntese das principais falhas de governança

identificadas, dos mecanismos de poder associados e de suas consequências é apresentada no Quadro 3.

QUADRO 3 – FALHAS DE GOVERNANÇA E PODER NO CASO MARIANA: SÍNTESE DA ANÁLISE

Fase / Dimensão	Falha de Governança Central	Mecanismo de Poder Associado	Consequência Principal Observada (Impacto no Bem Comum/Sociedade)
Regulação / Licenc. (Ex Ante)	Ambiente normativo leniente; Aprovação de riscos elevados (alteamento); Baixa exigência.	Captura Regulatória; Influência Política/Econômica; Poder de Agenda.	Segurança comprometida; Externalização de riscos para a bacia e comunidades.
Fiscalização (Ex Ante)	Insuficiência de recursos/autonomia estatal; Dependência de auditorias privadas.	Fragilidade Institucional; Captura; Não-Decisão (manter fiscalização frágil).	Deficiente na aplicação; Incapacidade de prevenir ou agir sobre alertas; Risco não mitigado.
Participação (Ex Ante)	Comitês de Bacia marginalizados; Participação comunitária simbólica; Exclusão de saber local.	Assimetria de Informação/Recursos; Poder Epistêmico	Alertas locais ignorados; Falta de contrapoder; Decisões desalinhadas das necessidades da bacia.
Transparência (Ex Ante)	Dificuldade de acesso à informação sobre riscos pela comunidade.	Controle da Informação/Narrativa; Assimetria Informacional.	Controle social limitado; Aumento da vulnerabilidade comunitária.
Reparação (Ex Post)	Governança da Renova com alegada falta de independência e participação limitada dos atingidos.	Poder Econômico na definição da reparação; Déficit de responsabilização	Processo lento e contestado; Reparação percebida como injusta/incompleta; Reprodução de assimetrias.
Geral	Fragmentação institucional; Falta de visão ecossistêmica; Baixa capacidade adaptativa.	Inércia Institucional Racionalidade Burocrática Limitada	Subestimação de riscos sistêmicos; Resposta reativa e não preventiva ao risco na bacia.

FONTE: O autor (2025).

As lições extraídas deste caso apontam diretamente para a necessidade de mecanismos de governança que incluam, por exemplo, auditorias de segurança verdadeiramente independentes, sistemas de transparência de dados em tempo real acessíveis às comunidades, fortalecimento da capacidade técnica e política dos comitês de bacia e dos atingidos, e modelos de reparação com maior controle social e foco na justiça restaurativa – elementos que serão considerados na proposta do Capítulo 4.

3.2 A CRISE HÍDRICA NA CIDADE DO CABO: DESIGUALDADES, GOVERNANÇA FRAGMENTADA E INCAPACIDADE DE ADAPTAÇÃO

A crise hídrica que assolou a Cidade do Cabo na África do Sul, entre 2015 e 2018, é outro exemplo emblemático de como vulnerabilidades socioambientais podem ser amplificadas por falhas na governança e por assimetrias de poder existentes. Isso porque, embora localizada em uma região de clima mediterrâneo com vulnerabilidade hídrica conhecida, a cidade não foi capaz de implementar, a tempo, um planejamento estratégico minimamente adequado para lidar com secas, em virtude de disputas políticas e prioridades conflitantes. Tal fato deixou a cidade despreparada para enfrentar os três anos consecutivos de chuvas muito abaixo do esperado que ocorreram entre 2015 e 2017, que tiveram como resultado uma queda acentuada dos níveis dos reservatórios e na deflagração de uma emergência hídrica sem precedentes (Enqvist; Ziervogel, 2019a; Savelli et al., 2021).

À medida que se aproximava o “Dia Zero” — momento em que o sistema municipal de abastecimento seria interrompido para a maior parte da população —, o governo municipal foi sendo forçado a adotar medidas cada vez mais extremas de restrição de consumo ao limite de apenas 50 litros de água por pessoa por dia, o que se mostrou crucial para se evitar o colapso hídrico (South Africa, Department of Water and Sanitation, 2019),

O episódio da crise hídrica na Cidade do Cabo expôs não apenas fragilidades na infraestrutura hídrica e na coordenação intergovernamental, como também problemas estruturais mais profundos na governança existente à medida que revelava como as persistentes assimetrias de poder e a herança da segregação espacial influenciavam a própria capacidade de resposta do sistema (Enqvist; Ziervogel, 2019a; Savelli et al., 2021).

Problema estrutural que ficou cada vez mais evidente à medida que se contrastava a narrativa oficial – de “esforço coletivo” de economia de água – com a realidade na qual os impactos eram bem desiguais. Isso porque a capacidade de resposta e adaptação era bem maior em áreas afluentes e com mais infraestrutura em virtude de seus moradores mobilizarem recursos para mitigar a escassez, com investimento em soluções privadas como: poços, o que levantou, inclusive, questões sobre a sustentabilidade dos aquíferos (Muller, 2018); coleta de água da chuva; e

compra de água, inclusive com estudos como os de Simpson (2019) e Savelli et al. (2021) que apontam que o consumo permaneceu mais alto que a meta oficial, nesses bairros durante a crise (Simpson et al., 2019; Savelli et al., 2021).

Em contraste, as comunidades de baixa renda localizadas nas periferias que são deficitárias em infraestrutura, dependiam quase que exclusivamente do sistema público, com essas regiões suportando desproporcionalmente o peso das restrições ao enfrentarem cortes frequentes, consumo muito abaixo da meta e a necessidade de buscar água em pontos de distribuição públicos (Muller, 2018; Enqvist; Ziervogel, 2019a). A crise materializou, assim, a injustiça hídrica como uma expressão da persistência das estruturas de desigualdade racial e econômica do apartheid, demonstrando como eventos climáticos extremos interagem com assimetrias de poder (Simpson et al., 2019; Savelli et al., 2021; Pieterse; Parnell, 2014)

Pesquisas realizadas por autores como Steven L. Robins (2019) e Lyla Pereira (2020) sugerem que mesmo com a prefeitura tendo promovido consultas públicas e criado fóruns participativos, esses não foram suficientes para garantir representatividade e influência efetiva dessas populações marginalizadas. Fato corroborado por dados da própria municipalidade que indicaram uma baixa participação de moradores dessas periferias nos processos decisórios (City of Cape Town, 2018a). Muito justificado por barreiras estruturais como: acesso limitado à informação, custos de transporte elevados e questões de linguagem, dado que muitas comunicações oficiais e reuniões ocorriam predominantemente em inglês ou *afrikaans*, o que dificultava a compreensão e interações para falantes de Xhosa ou outras línguas predominantes nas periferias (*townships*) (Muller, 2018). Argumenta-se ainda que tais iniciativas já haviam sido cooptadas por dinâmicas de poder nas quais as decisões mais importantes já teriam sido previamente definidas por elites técnicas e políticas previamente, logo, a participação popular estaria limitada a um papel consultivo e legitimador, sem real poder de transformação. Situações que reforçaram a invisibilidade das necessidades das comunidades mais vulneráveis no planejamento da resposta à crise (Arnstein, 1969; Lukes, 2005).

Um fator central que contribuiu foi a falta de preparo *ex ante* e problema na gestão das desigual na crise *ex post* em virtude de problemas de coordenação da Governança Multinível (GPM), essenciais para esse tipo de estrutura de governança (Hooghe; Marks, 2003; 2004). Fato decorrente de uma realidade fragmentada e

conflituosa com disputas político-partidárias entre os níveis nacional, provincial e municipal que acabavam por bloquear a colaboração necessária para o sucesso de quaisquer iniciativas (Ziervogel, 2019b; Swatuk, 2020). O que somado à falta de clareza na definição de responsabilidades, em questões como as de investimentos em infraestrutura de larga escala, geraram impasses decisórios que agravaram os problemas de coordenação, restando como mecanismos de ação somente políticas reativas que acabaram por amplificar as assimetrias de poder (Biermann et al., 2009).

Além dessas falhas na coordenação intergovernamental, a exclusão política de grupos mais vulneráveis minou ainda mais a legitimidade e a equidade da resposta à crise. Autores como Robins (2019) e Pereira (2020) sugerem em suas pesquisas que, mesmo que existissem mecanismos de consultas públicas e fóruns participativos, não conseguiriam assegurar a representatividade e garantir a participação efetiva dessas populações marginalizadas nos processos decisórios – fato corroborado por dados da própria municipalidade que indicaram uma baixa participação de moradores dessas periferias (City of Cape Town, 2018b) – e justificado, em parte, por barreiras estruturais como: acesso limitado à informação, custos de transporte e questões de linguagem (Muller, 2018). Todavia, argumenta-se que tais iniciativas estariam inseridas em dinâmicas de poder que as cooptavam e que acabavam por limitar a participação popular a um mero papel consultivo ou de legitimação, sem real poder de transformação (Arnstein, 1969; Lukes, 2005).

As lições aprendidas com a crise hídrica da Cidade do Cabo são valiosas para outras cidades que enfrentam desafios semelhantes de interação entre clima, infraestrutura e desigualdade (World Bank, 2021; UN-Water, 2021), pois o caso demonstra a importância de incorporar projeções climáticas robustas no planejamento hídrico de longo prazo e de investir em estratégias de adaptação, que diversifiquem as fontes de água, e promovam a gestão da demanda de forma equitativa (Rodina, 2019). Igualmente fundamental é desenvolver abordagens que intencionalmente combinem resiliência ambiental com equidade social, reconhecendo e abordando as vulnerabilidades diferenciais (Enqvist; Ziervogel, 2019).

Além disso, o caso em questão destaca como a falta de integração entre os diversos mecanismos e esferas de deliberação de coordenação entre os múltiplos níveis de governo tem o potencial de afetar negativamente a qualidade dos processos decisórios e levar a respostas insuficientes e tardias, mesmo quando diante de

desafios como a escassez hídrica. Evidências que apontam para a questão central deste trabalho que é: até que ponto as decisões podem ser melhoradas – por meio de estruturas de governança para a sustentabilidade – e as levando à reduzir assimetrias de poder na gestão de bens comuns de acesso aberto como a água? Indagação que guiará a análise comparativa internacional que se segue.

3.3 GOVERNANÇA DE BENS COMUNS DE ACESSO ABERTO NA PRÁTICA: PODER, CONTEXTO E LIÇÕES

As análises dos casos de Mariana (Seção 3.1) e da Cidade do Cabo (Seção 3.2) ilustraram entre outras coisas como assimetrias de poder em contextos de fragilidades institucionais podem comprometer a gestão sustentável de bens comuns de acesso aberto como no caso de bacias hidrográficas. Assim, como forma de expandir a análise, serão avaliados nesta seção alguns casos – selecionados com base em sua relevância analítica, diversidade e documentação – como o objetivo de se identificar lições, elementos contextuais e institucionais que tenham melhorado ou piorado a qualidade de decisão e que resultaram em alguma redução de assimetrias de poder, sem a pretensão de ser exaustivo na investigação.

Entre os elementos encontrados estão a persistente fragmentação institucional, que como teorizado por Biermann et al. (2009), não se refere apenas à multiplicidade de atores, mas na falta de coesão e coordenação entre regimes e organizações que possuem mandatos que se sobrepõem e muitas vezes são concorrentes. Essa ausência de integração horizontal entre setores (energia, agricultura, uso do solo) e a gestão de recursos hídricos, bem como a fragmentação vertical entre os diversos níveis de governo, que frequentemente compromete a capacidade de planejamento e resposta, como ocorrido em São Paulo (ANA, 2015; CETESB, 2017) e Mariana (Abers; Keck, 2013), nos quais falhas na coordenação interinstitucional e de aplicação de uma visão integrada da bacia agravaram as crises hídricas; fatores que abrem espaços para que atores com maior poder (Lukes, 2005 – 2ª dimensão) possam capturar nichos decisórios ou explorarem as complexidades para evitar a regulação ou a responsabilização (Bovens, 2007a), A própria racionalidade burocrática weberiana (Weber, 2019), com sua especialização e foco

em procedimentos, pode, paradoxalmente, contribuir para essa fragmentação se não houver mecanismos fortes de coordenação intersetorial e multinível.

Essa complexidade se intensifica em bacias transfronteiriças como nos casos como o do Rio Ganges (UN-Water, 2020) e do Rio Mekong (MRC, 2022; Schmeier, 2013) nos quais assimetrias de poder geopolítico e a primazia de interesses nacionais (especialmente ligados a grandes projetos de infraestrutura com o objetivo de alterar cursos e fluxos hídricos) podem minar regimes de cooperação, mesmo quando estes existem formalmente, perpetuando a degradação e gerando conflitos distributivos que afetam desproporcionalmente comunidades vulneráveis a jusante. A dificuldade reside em criar mecanismos de governança que transcendam a soberania estatal e incorporem responsabilização mútua efetiva.

O caso da Bacia do Rio Reno na Europa apresenta um contraponto interessante ao demonstrar como a cooperação transfronteiriça pode alcançar resultados ambientais positivos. Esse sucesso, mesmo que relativo, está ligado a um contexto singular de forte vontade política pós-desastres ecológicos, a um ambiente com instituições fortes e grande capacidade financeira dos países envolvidos, com pressão de uma sociedade civil mobilizada e, crucialmente, à existência de um marco regulatório e institucional supranacional, o da União Europeia, que foi capaz de induzir a convergência e garantir sua aplicação (Bernauer; Moser, 1996; Raadgever et al., 2008). Condições que são dificilmente replicáveis em outros contextos, como o do Mekong ou mesmo entre estados brasileiros, o que ressalta ainda mais a importância do contexto institucional e político para a viabilidade da coordenação em estrutura de governança para a sustentabilidade.

Outro elemento é a influência desproporcional de setores econômicos cujas atividades dependem ou impactam intensamente os recursos hídricos, pois como visto em Mariana (mineração), São Francisco (hidrelétricas, agroindústria) e Chesapeake (agroindústria, imobiliário), esses atores frequentemente mobilizam seu poder material e político para influenciar regulações (Dal Bó, 2006) e resistir a restrições de extração de cunho econômico como a cobrança pela água ou legais contestando metas ambientais, efetivamente moldando a agenda (Lukes, 2005) e externalizando custos socioambientais (Martinez-Alier, 2002). Essa dinâmica remete à crítica ecológica sobre os padrões insustentáveis de produção e consumo como raiz de muitas crises ambientais (Daly, 1996). A dificuldade em alterar esses padrões, como em Los

Angeles (Reisner, 1993), reflete além da inércia, a resistência ativa de interesses econômicos estabelecidos (*vested interests*) (Veblen, 1899) que se beneficiam do status quo e utilizam seu poder para bloquear transformações institucionais e sociais mais profundas.

Cidades como Singapura e metrópoles australianas demonstram como respostas focadas em tecnologia (reuso, dessalinização) e na gestão da demanda podem aumentar a segurança hídrica, contudo, cabe ressaltar, que os projetos casos relatados dependem de alta capacidade financeira, de planejamento legal para sua implantação uma vez que são muito custosos e demandam um planejamento centralizado para sua implantação (Tortajada; Joshi, 2013; Radcliffe, 2019). Além de apresentarem um predomínio de soluções tecnocráticas, nas quais a gestão da água é apresentada como um problema puramente técnico a ser resolvido por especialistas, o que pode obscurecer as dimensões políticas e distributivas da gestão hídrica (Mitchell, 2002; Swyngedouw, 2004). E ainda podem funcionar como um mecanismo de poder, limitando o escopo do debate público e marginalizando formas alternativas de conhecimento e valoração da água (Foucault, 1977).

A persistência desses elementos ilustra como o poder econômico interage com as instituições, seja capturando regras formais (North, 1990) ou influenciando os "hábitos de pensamento" (Veblen, 1899; Commons, 1934) de forma a naturalizar modelos de desenvolvimento e uso de recursos com o objetivo de beneficiar certos grupos e interesses em detrimento da sustentabilidade. Fato que é agravado pela tensão recorrente entre participação formal e poder real. Como ocorrido nos casos de Mariana e Cidade do Cabo, nos quais espaços participativos foram esvaziados ou tornaram-se simbólicos devido a profundas assimetrias de poder, informação e autoridade epistêmica, vide seções 3.1 e 3.2.

Algumas experiências no Sul Global oferecem contrapontos e lições valiosas como: o planejamento descentralizado em Kerala, o qual demonstrou que, com forte vontade política e mobilização social, grupos marginalizados podem participar e ter seus pedidos atendidos (Heller, 2001); os fóruns iniciais na África do Sul pós-apartheid que representaram um grande passo para a abertura e inclusão, todavia muito desafiados pela falta de recursos e persistência de outras formas de poder em sua sustentabilidade (Movik, 2012); modelos de governança comunitária e cogestão nas Filipinas para a gestão de recursos costeiros, que demonstram potencialidades,

especialmente no reconhecimento de direitos, na conquista de confiança dos atores envolvidos e na definição de regras claras (Pomeroy et al., 2007). Elementos que dialogam bem com a perspectiva policêntrica, a qual valoriza a diversidade de arranjos institucionais adaptados a contextos locais (Ostrom, 2010) e que reforçam a ideia de que o empoderamento de populações marginalizadas é um processo político contingente, tendo que ser buscado de forma recorrente.

Finalmente, a análise comparativa evidencia os desafios persistentes em garantir a responsabilização efetiva em eventos de falhas e por danos socioambientais, especialmente em contextos com grandes assimetrias de poder entre gestores, poluidores e afetados. O caso de Mariana (Seção 3.1), com as dificuldades documentadas na governança da reparação realizada pela Fundação Renova (Milanez et al., 2019), ilustra como mecanismos de responsabilização podem ser enfraquecidos ou capturados após desastres ou eventos críticos. Fatos que sublinham a importância da justiça hídrica – um conceito que transcende a mera distribuição equitativa da água ao abranger o reconhecimento das diversas necessidades e valorações culturais relacionadas à água – e fundamentando o direito à participação justa e significativa dos diferentes grupos na tomada de decisões que os afetam (Sultana; Loftus, 2012; Zwarteveen; Boelens, 2014). A centralidade dessa busca por justiça é visível na crise na Cidade do Cabo (Seção 3.2), e em outras emblemáticas mobilizações sociais no Sul Global com: a "Guerra da Água" em Cochabamba, Bolívia (2000) – resistência popular massiva e bem-sucedida contra a privatização dos serviços de água que ameaçava o acesso das populações mais pobres e ignorava direitos consuetudinários de uso (Olivera; Lewis, 2004) – as lutas sociais e as recentes reformas legais no Chile que buscavam contestar e reverter um modelo de mercado de direitos de água implementado durante a ditadura, que gerou extrema concentração e conflitos socioambientais (Bauer, 2015).

Esses casos ilustram as limitações de modelos híbridos quando não ancorados em direitos coletivos claros e participação efetiva, o que reforça a necessidade de se construir estruturas deliberativas e comunitárias legítimas, que reconhecem e, quando apropriado, integram arranjos de governança consuetudinários às soluções formais, como os realizados em Gana (Leach; Scoones; Wynne, 2005). Nesse contexto, os chefes e conselhos tradicionais desempenham um papel relevante na alocação de terras e na mediação de conflitos sobre o uso da água

em muitas comunidades, apesar da existência de leis estatais formais sobre recursos hídricos rurais (Abraham, 2010; Odame et al., 2014). ignorar essas estruturas endógenas e culturalmente ancoradas pode levar a políticas ineficazes ou socialmente ilegítimas.

Sistematizando essas observações comparativas, a análise empírica reforça a perspectiva multidimensional do poder (Cap. 2) como fator explicativo para os resultados da governança de recursos hídricos. O Quadro 4 busca sintetizar como, como os diferentes mecanismos de poder se manifestam concretamente nos casos discutidos. Fica evidente que a eficácia da governança depende crucialmente de como as estruturas institucionais interagem com o contexto de poder e incorporam mecanismos para mitigar as assimetrias.

QUADRO 4 – MECANISMOS DE PODER E MANIFESTAÇÕES NA GOVERNANÇA HÍDRICA

Mecanismo de Poder	Base Teórica (Dimensão)	Exemplos Empíricos	Estratégias de Mitigação / Boas Práticas
1. Influência Econômica e Captura	Poder direto (recursos)	- Lobby de mineradoras em Mariana	• Auditorias independentes financiadas por fundo multilateral
		- Resistência do agronegócio ao usuário-pagador no SF	• Orçamentos participativos com rubrica mínima para comunidades
		- Setores ricos escapando de racionamento no Cabo	• Leis de conflito de interesses para reguladores
2. Controle de Agenda e Exclusão	Poder indireto (não-decisão)	- Segurança de barragens fora da pauta dos CBHs	• Calendário de pautas vinculante, publicado anualmente
		- Metas ambientais adiadas em Chesapeake	• Direito legal de inclusão de temas pela comunidade (veto cidadão)
		- Planos de crise no Cantareira postergados	• Relatórios de “não-decisão” que documentam itens excluídos
3. Moldagem de Percepções e Saberes	Poder epistêmico (ideológico)	- Desqualificação de saberes ribeirinhos em Mariana	• Pluralismo epistêmico em comitês técnicos (vagas garantidas a saberes tradicionais)
		- Discurso tecnocientífico no Mekong	• Oficinas de “ciência cidadã” para co-produzir dados
		- “Esforço coletivo” no Cabo	• Mídias comunitárias para narrativas alternativas
4. Poder Institucional e Estrutural	Poder institucional	- Fragmentação institucional no Cabo, Ganges e Mariana	• Redes policêntricas formais (parcerias intergovernamentais)
		- Inércia regulatória pré-apartheid no Cabo	• Agendas integradas de bacia (legislação obrigatória)
			• Unidades de governança transversal com mandatos claros
5. Resistência e Contrapoder	Poder de resistência (mobilização)	- “Guerra da Água” em Cochabamba	• Reconhecimento legal de conselhos comunitários
		- Conselhos de pescadores nas Filipinas	• Fundos de defesa civil (<i>crowdfunding</i> institucional)
		- Fórum do Reno pressionando por metas	• Assessorias técnicas populares remuneradas

FONTE: Elaborado pelo autor (2025) com base na análise dos capítulos 2 e 3.

Os elementos e lições apreendidos da teoria e da análise comparativa de casos convergem para a conclusão quanto à insuficiência das estruturas de governança estudadas na gestão de bens comuns de acesso aberto como a água por não confrontarem explicitamente as assimetrias de poder. Assim, torna-se imperativo desenhar estruturas que integrem, de forma sinérgica e robusta, mecanismos voltados para se aprimorar a qualidade das decisões e para reequilibrar relações de poder.

Isso implica em melhorar a equalização de capacidades e recursos, de forma a garantir que grupos marginalizados disponham de informação, suporte técnico-financeiro e condições materiais para uma participação mais efetiva, fortalecendo sua voz (Bourdieu, 1986). Alcançado através de uma combinação de elementos que incluem: transparência radical nos processos de tomada de decisão e informações acessórias; mecanismos de responsabilização eficazes, incluindo monitoramento independente e sanções para atores públicos e privados; institucionalização do pluralismo epistêmico, com a criação de procedimentos formais que reconheçam, validem e integrem ativamente múltiplos sistemas de conhecimento (científico, local, tradicional) na tomada de decisão, rompendo com potenciais hegemonias tecnocráticas (Foucault, 1977; Wynne, 1996); democratização da própria agenda, realizada através do estabelecimento de arenas deliberativas inclusivas na quais a definição dos problemas e das prioridades possa ser contestada e negociada por todos os afetados, ancorando as decisões nos princípios da justiça socioambiental e do direito humano à água (Sultana; Loftus, 2012); apoiando a auto-organização da sociedade civil, garantindo canais para contestação e resolução de conflitos; e desenvolvendo mecanismos de coordenação multinível e intersetorial que sejam adaptativos, mas também politicamente robustos e transparentes.

Elementos e lições que apontam diretamente para a necessidade de estruturas de governanças que os incluam e integrem como será realizado na proposta do Capítulo 4.

4 REIMAGINANDO A GOVERNANÇA

A revisão da literatura e análises de estudos de caso, indicam a existência de várias estruturas de governança que visam melhorar a tomada de decisão e promover o desenvolvimento sustentável, abrangendo tanto modelos conceituais proeminentes na literatura quanto arranjos institucionais observados na prática, cujas potencialidades e limitações formam a base para a proposta aqui desenvolvida. No entanto, apesar dos avanços, os resultados alcançados por essas estruturas de governança têm se mostrado insuficientes, principalmente frente às persistentes assimetrias de poder existentes. Assim, será proposta uma nova estrutura de governança que visa melhorar em alguma medida o processo de tomada de decisão e superar algumas das limitações levantadas nos capítulos 2 e 3, de forma a mitigar essas assimetrias de poder.

4.1 PRINCÍPIOS DA PROPOSTA

A proposta para uma nova estrutura de governança para o desenvolvimento sustentável é baseada nos seguintes princípios: inclusão, equidade, participação, transparência, responsabilidade e adaptabilidade.

Inclusão: esse princípio enfatiza a necessidade de participação efetiva de todos os atores envolvidos, especialmente os marginalizados, nos processos decisórios, como destacado por Nancy Fraser (2009), que argumenta que uma inclusão mais qualitativa depende da consideração das perspectivas e necessidades de todos os atores. Princípio que foi viabilizado na Nova Zelândia através do estabelecimento de um "ouvidor ambiental", como delineado no *Resource Management Act*, e que demonstrou que o equilíbrio de poder entre agentes dominantes e marginalizados e a promoção de justiça ambiental são possíveis (PCE, 1997; Peart, 2001). A proposta para atender esse mesmo fim propõe o estabelecimento de conselhos comunitários e plataformas participativas, em nível local e regional para que essas necessidades sejam incorporadas aos processos decisórios de forma a ampliar a representatividade, diversidade e equidade. Além de formatos de comunicação adaptados às realidades locais de forma a fortalecer e legitimar decisões e promover a coesão social e a justiça ambiental.

Equidade: Este princípio busca garantir que todos, especialmente os historicamente marginalizados, tenham acesso igualitário aos recursos e oportunidades na tomada de decisão, o que envolve a redistribuição de poder e recursos, assegurando que todos possam influenciar e se beneficiar das decisões, visando reduzir as disparidades socioeconômicas e promover o bem-estar geral. Sen (1999) argumenta que esse princípio é fundamental para que indivíduos e comunidades desenvolvam suas capacidades e potencialidades.

Na proposta isso será materializado através de mecanismos como: a alocação equitativa de recursos, orientada pelas deliberações nos Conselhos de Governança e Fóruns de partes Interessadas para considerar as necessidades dos grupos menos favorecidos: a criação de oportunidades iguais para participação efetiva, por meio de mecanismos inclusivos e suporte dedicado a grupos tradicionalmente excluídos; e a implementação de ações que possam promover a redistribuição de poder. Processo amplificado com o monitoramento e a avaliação contínua dos impactos das políticas, com o objetivo de analisar os seus efeitos distributivos e ajustar estratégias com o objetivo de se integrar a equidade a todo o processo decisório.

Participação: incentiva o engajamento de indivíduos, comunidades, Organizações Não Governamentais (ONGs), setor privado e governos, para que as decisões reflitam uma diversidade de interesses, perspectivas e contextos sociais e ambientais, Arnstein (1969) descreve a participação como um processo de empoderamento que permite aos cidadãos influenciarem e controlarem os processos políticos que afetam suas vidas, logo quanto mais efetiva a participação mais se fortalece a democracia, ou seja, ao promover-se maior transparência e responsabilização, melhora-se segundo o autor a qualidade das decisões.

Contudo, cabe sempre reconhecer, como feito ao longo do capítulo 2 e 3, que a simples criação de espaços participativos não garante, por si só, a superação das assimetrias de poder, um desafio particularmente relevante em contextos como o brasileiro, onde a participação formal muitas vezes coexiste com a exclusão efetiva de vozes marginalizadas.

A proposta para tanto, incluindo consultas públicas, fóruns de discussão e plataformas digitais interativas projetados para serem inclusivos e acessíveis como será visto a seguir de forma a garantir que todos os atores, especialmente aqueles tradicionalmente excluídos, possam participar plenamente.

Além disso, a participação deve ser contínua e efetiva, na perspectiva do exercício da cidadania plena, permitindo um diálogo constante entre os atores e, a adaptação das políticas às mudanças nas necessidades e contextos sociais e ambientais, portanto a promoção da participação também requer a capacitação dos cidadãos, fornecendo-lhes as habilidades e conhecimentos necessários para uma participação mais significativa nos processos decisórios.

Transparência: entendida aqui como a viabilização de informações compreensíveis e acessíveis, ou seja, informações que os atores estejam capacitados a compreender e usar de maneira crítica ao longo do processo decisório.

A transparência permite que os processos decisórios sejam mais abertos ao escrutínio público, aumentando a confiança dos atores nas instituições (Bovens, 2007b) exemplificadas com uso de ferramentas como os dashboards de gestão ambiental implementados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América (2023) que fornecem dados em tempo real de maneira compreensível para o público.

Assim, para maximizar a transparência e a participação, a proposta estabelece mecanismo de incentivo ao uso de tecnologias e acesso à informação como plataformas digitais, oferta de cursos de capacitação, reuniões presenciais, transmissões por rádio, TV local ou internet entre outras para promover o aumento da transparência, integrando-as com portais de dados abertos e realizando consultas públicas online.

Adicionalmente, a comunicação deve ser clara e acessível para que os cidadãos, independentemente de seu nível de escolaridade ou acesso à tecnologia, possam compreender e se envolver com os processos decisórios. Elementos que devem estar acompanhados dos mecanismos de retroalimentação que permitam aos cidadãos questionarem as informações e as decisões, promovendo assim uma governança mais responsiva e inclusiva.

Responsabilidade: entendida como a necessidade de responsabilização em todos os níveis de governança e para todos os envolvidos por decisões e ações, somente efetiva quando realizada de forma contínua com o monitoramento e avaliação das decisões e ações dos gestores e correção de desvios ou falhas (Koppell, 2005). Além disso, é fundamental que os gestores públicos estejam comprometidos com a ética e a integridade, garantindo que suas ações sejam guiadas pelo interesse público, justiça social e ambiental. A responsabilidade também envolve

a capacitação dos cidadãos para que possam participar de maneira informada e produtiva dos processos de monitoramento e avaliação, fortalecendo a democracia e a governança participativa.

Na proposta a responsabilidade será promovida através de auditorias independentes, avaliações periódicas e a criação de canais claros e acessíveis para que cidadãos possam expressar suas preocupações e reclamações detalhados a seguir.

Adaptabilidade: capacidade da estrutura de governança de ajustar suas políticas e estratégias em resposta a mudanças e incertezas no ambiente social, econômico, político e ambiental. Este princípio reconhece a natureza dinâmica do ambiente e a necessidade de uma governança ágil e responsiva (Folke et al., 2005). No Parque Nacional de Kruger, estratégias de conservação são continuamente testadas, monitoradas e adaptadas com base em novas informações, nos resultados e efeitos de modelos de simulação computacional do ambiente referentes às várias estratégias de manejo idealizadas (Biggs; Rogers, 2011).

Para tanto é necessária uma abordagem mais flexível que permita ajustes a depender das mudanças nas condições ambientais, sociais e econômicas, o que somente poderá ser alcançado com a inclusão de processos de monitoramento sistemático, de avaliação de impacto rigorosa e o de estabelecimento de ciclos de retroalimentação e ajustes baseados em evidências (científicas, locais e empíricas). Além da promoção de uma cultura de aprendizado contínuo e integração de novos e diversos saberes.

Em suma, as interligação e integração sinérgica desses princípios – inclusão, equidade, participação, transparência, responsabilidade e adaptabilidade – constituem a base conceitual da estrutura de governança proposta, e visam oferecer um arcabouço mais prático e robusto que o das demais governanças analisadas de forma a melhorar os processos de tomada de decisão e em alguma medida as assimetrias de poder em suas múltiplas dimensões, rumo a uma governança sustentável dos bens comuns de acesso aberto como a água em um contexto de extração, como será detalhada nas seções seguintes, que exploram os mecanismos específicos (conselhos, comitês, fóruns entre outros) concebidos para operacionalizar estes princípios e reimaginar a governança para benefício de todos.

4.2 ESTRUTURA DA PROPOSTA

A estrutura de governança proposta a seguir foi idealizada com base na análise crítica das limitações teóricas (Capítulo 2) e das falhas e sucessos parciais avaliados nos estudos de casos (Capítulo 3) e dos princípios elencados na seção anterior para formar um arcabouço mais robusto e intencionalmente desenhado para melhorar a tomada de decisão e mitigar assimetrias de poder, constituindo-se de elementos como: Conselhos de Governança; Comitês Consultivos; Fóruns ou Assembleias de Partes Interessadas; Mecanismos de Participação e Controle Social; Monitoramento; Resolução de Conflitos, sintetizados no Quadro 5.

QUADRO 5 – QUADRO-SÍNTESE DA PROPOSTA

Título	Princípio-Premissa	Descrição Detalhada	Estratégias para Redução de Assimetrias
Conselho de Governança	Inclusão, Transparência, Adaptabilidade	Núcleo central que define políticas de sustentabilidade. Inclui membros da comunidade, ONGs, negócios, governo e especialistas.	Eleições abertas, critérios claros de elegibilidade, capacitação contínua, reuniões trimestrais para decisões e alocação de recursos.
Comitês Consultivos	Ciência Pós-Normal, Integração de Conhecimentos	Fornece suporte técnico e estratégico ao Conselho, compostos por especialistas e partes interessadas.	Estabelecimento de comitês temáticos, integração de conhecimentos científicos e tradicionais, reuniões regulares.
Fóruns de Partes Interessadas	Transparência, Inclusão, Participação Direta	Espaços mensais para participação e troca de informações, utilizando tecnologias adaptativas.	Plataformas digitais, reuniões presenciais, transmissões em rádio/TV, portais de dados abertos, consultas online.
Participação e Controle Social	Transparência, responsabilização, Educação e Capacitação	Estratégias para participação ampla e responsabilidade dos gestores, incluindo consultas públicas e auditorias.	Portais de dados abertos, programas de capacitação, auditorias regulares, monitoramento e avaliação contínuos.
Monitoramento	Avaliação Contínua, Metas e Indicadores Claros	Sistemas de monitoramento contínuo com indicadores quantitativos e qualitativos, relatórios públicos.	Coleta contínua de opiniões, indicadores claros, relatórios públicos para transparência e acompanhamento do progresso.
Resolução de Conflitos	Gestão Equitativa, Mediação Formal, Participação Comunitária	Mecanismos para resolução justa e inclusiva de conflitos, com mediação e metodologias deliberativas.	Capacitação de mediadores, participação comunitária, técnicas de mediação e resolução de conflitos, metodologias deliberativas.

FONTE: O autor (2024).

Conselho de Governança

O Conselho de Governança tem a função de atuar como o núcleo central da estrutura, responsável pela definição de políticas, metas e estratégias. Este conselho deve integrar as decisões locais em políticas mais amplas e garante a coesão e a implementação exitosa das políticas de sustentabilidade. A composição deste conselho inclui membros eleitos da comunidade, representantes de ONGs locais, negócios locais, autoridades municipais, especialistas em sustentabilidade, representantes do governo e do setor privado.

Para garantir um processo democrático e transparente na eleição e seleção dos membros, são necessárias estratégias específicas, como a realização de eleições abertas e a implementação de critérios claros de elegibilidade, levando em consideração o princípio da equidade e a transparência. Além disso, a capacitação contínua é fundamental para assegurar que todos os membros estejam preparados para desempenhar suas funções de maneira bem-sucedida, focando em governança participativa e sustentabilidade. O conselho deveria realizar reuniões trimestrais para discutir políticas, projetos e a alocação de recursos, garantindo que as decisões locais sejam escaladas e que as diretrizes nacionais sejam adaptadas de acordo com as necessidades locais (PCE, 1997).

Comitês Consultivos

Os Comitês Consultivos servem como fontes de informação e de apoio ao Conselho de Governança e aos envolvidos, utilizando uma abordagem baseada na Ciência Pós-Normal³ para integrar conhecimentos científicos e tradicionais (Funtowicz; Ravetz, 1993). Esses comitês são compostos por especialistas e partes interessadas, incluindo representantes da academia, comunidades locais e outros *atores* relevantes, portanto, inclui não acadêmicos.

³ A Ciência Pós-Normal é um modelo científico que se destaca ao abordar problemas complexos, como as crises ambientais e sociais, que exigem soluções urgentes e integradas. Diferente da ciência tradicional, ela reconhece a importância do diálogo entre a ciência e a sociedade, valorizando a participação pública e diferentes formas de conhecimento, como o científico, o local e o tradicional. Essa abordagem busca construir consensos em torno de temas controversos e promover soluções mais eficazes e justas para os desafios contemporâneos (Funtowicz; Ravetz, 1990, 1993).

A função principal dos comitês é fornecer suporte técnico e estratégico, assegurando que as decisões sejam embasadas em informações com sustentação empírica e adequadas aos contextos sociais, econômicos, políticos e ambientais, ou seja, compostas por conhecimentos e perspectivas. Para implementar esses comitês, é essencial estabelecer comitês temáticos conforme cada situação ou para áreas específicas, como recursos hídricos, energia e biodiversidade. Além disso, integrar conhecimentos científicos e tradicionais é crucial para uma abordagem holística, e reuniões regulares devem ser realizadas para discutir e fornecer recomendações ao Conselho de Governança (Funtowicz; Ravetz, 1993).

Fóruns ou Assembleias de Partes Interessadas

Os Fóruns ou Assembleias de Partes Interessadas são espaços abertos à participação de todas as partes interessadas, realizados mensalmente, para discutir e facilitar a participação direta e o fluxo de informações e ideias. O objetivo desses fóruns é promover a transparência e a inclusão, garantindo que todas as vozes sejam ouvidas no processo de governança.

Para maximizar a participação e a transparência, podem ser utilizadas tecnologias adaptativas, incluindo plataformas digitais, reuniões presenciais e transmissões em rádio ou TV local e ferramentas como portais de dados abertos e consultas online são integradas para aumentar a transparência e a participação pública a depender dos contextos abordados. Além disso, a inclusão de métodos interativos, como jogos sérios e simulações, ajudam a visualizar os impactos das decisões e promover um entendimento mais profundo das dinâmicas de poder (EPA, 2025).

Mecanismos de Participação e Controle Social

Os Mecanismos de Participação e Controle Social são conjuntos de estratégias que asseguram a participação ampla e a responsabilidade dos gestores. Componentes essenciais desses mecanismos incluem consultas públicas, plataformas digitais, auditorias e avaliações independentes, programas de educação e capacitação. O objetivo é assegurar a transparência e a responsabilização, promovendo a participação ativa de todos os atores. A implementação de portais de

dados abertos pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América é um exemplo de como aumentar a transparência e facilitar o controle social. Programas de capacitação são realizados para aumentar a literacia digital e ambiental entre os *atores*, garantindo uma participação efetiva. Além disso, auditorias regulares são implementadas para avaliar o cumprimento das políticas e a eficácia das estratégias, assegurando que todas as ações sejam monitoradas e avaliadas continuamente (EPA, 2025).

Monitoramento

Os sistemas de monitoramento contínuo são essenciais para avaliar as políticas implementadas e seus impactos, garantindo ajustes necessários. Esses sistemas incluem metas, indicadores claros e relatórios periódicos de desempenho ambiental, social e econômico. Para desenvolver esses sistemas de monitoramento, é importante utilizar tanto indicadores quantitativos quanto qualitativos que reflitam o desempenho em todas as áreas relevantes.

Relatórios públicos são disponibilizados para garantir a transparência e permitir que o público acompanhe o progresso. A coleta contínua de opiniões através de consultas públicas e plataformas digitais é fundamental para ajustar as políticas conforme necessário e garantir que elas respondam às mudanças contextuais (Folke *et al.*, 2005).

Resolução de Conflitos

Os mecanismos de resolução de conflitos são fundamentais para garantir a resolução justa e inclusiva dos conflitos, promovendo uma gestão equitativa e colaborativa dos recursos. Esses mecanismos incluem mediação formal, participação comunitária e a utilização de metodologias deliberativas coletivas. Para assegurar a eficácia desses mecanismos, mediadores formais são capacitados para conduzir processos de resolução de conflitos de maneira justa e inclusiva.

A participação comunitária é incentivada, envolvendo as comunidades locais na resolução de conflitos através de metodologias deliberativas, que promovem o diálogo e a colaboração. Além disso, a capacitação em técnicas de mediação e

resolução de conflitos é oferecida continuamente para todos os envolvidos, garantindo que estejam preparados para lidar com conflitos de maneira resolutiva (Dryzek, 2013).

Em síntese, a integração harmoniosa desses princípios na estrutura de governança proposta visa criar um sistema robusto e resiliente, capaz de responder aos desafios complexos da sustentabilidade e se adaptar às constantes mudanças do contexto social e ambiental. A seguir é apresentada uma reflexão sobre sua implementação.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO: AVANÇOS, LIMITAÇÕES E DESAFIOS

A materialização da proposta de estrutura de governança (detalhada nas Seções 4.1 e 4.2) – concebida para confrontar e, idealmente, superar as limitações dos modelos como os tradicionais, hierárquicos, em rede, adaptativos e participativos entre outros analisados no Capítulo 3 – constitui um processo sociopolítico complexo, exigindo mais do que a simples introdução de novos arranjos institucionais, que demanda uma transformação profunda nas estruturas institucionais, nos "hábitos de pensamento" (Commons, 1934; Veblen, 1899) que moldam as interações entre a sociedade e o ambiente nesses sistemas.

Assim esta seção tem por objetivo abordar os requisitos essenciais para essa implementação no recorte específico da gestão de bens comuns de acesso aberto em bacias hidrográficas, com uma discussão sobre avanços potenciais da proposta para este contexto, limitações e desafios – muitos dos quais inerentes aos limites teóricos de se prescrever o "ótimo" em sistemas complexos e às questões de práticas de operacionalização – que precisam ser enfrentados. Assim, busca-se, confrontar a proposta com as realidades de experiências existentes e a literatura, sempre realizando um contraponto entre a capacidade da estrutura e seus limites.

O potencial da proposta reside em sua forma de abordar, de forma mais holística, sinérgica e explícita, as vulnerabilidades sistêmicas e as assimetrias de poder que minaram a eficácia de outras abordagens nesse recorte (Capítulo 3), a partir da implantação interligada de seus princípios fundamentais. A força da proposta não reside apenas na presença de cada princípio isolado, mas na forma como a operacionalização de um princípio reforça e é reforçada pelos demais, criando um ciclo virtuoso de governança mais robusta e equitativa.

A ênfase na inclusão e participação efetiva, por exemplo, materializada através da criação de Conselhos de Governança Locais com representação paritária de múltiplos atores e Fóruns de Partes Interessadas com o uso de tecnologias adaptativas, será operacionalizada por mecanismos concretos como composição paritária e poder deliberativo vinculante nos Conselhos, investimento em capacitação e suporte técnico independente para grupos vulneráveis (inspirado nas ATIs de Mariana), superação ativa de barreiras digitais e linguísticas nos Fóruns, e a institucionalização formal da pluralidade de saberes (reconhecendo conhecimento local e tradicional ao lado do técnico-científico). Essa inclusão efetiva é vital para alimentar a adaptabilidade (integrando conhecimentos diversos essenciais para lidar com incertezas) e a transparência (ao garantir que informações relevantes cheguem a todos e sejam compreendidas), e, principalmente, para fundamentar a equidade (ao dar voz e poder àqueles historicamente excluídos do processo decisório sobre um recurso vital).

A implementação de mecanismos robustos de transparência e responsabilização contínua, centrais à proposta, são materializados através de portais de dados abertos sobre a gestão da água – incluindo informações detalhadas sobre a qualidade e quantidade do recurso, seus usos concedidos, licenças de extração e lançamentos de efluentes, com o objetivo de confrontar a opacidade e a falta de responsabilização que historicamente fragilizaram a governança hídrica, elementos que permitiram falhas catastróficas, como evidenciado pela captura regulatória e subestimação de riscos em Mariana (Dal Bó, 2006; Siqueira-Gay et al., 2019) e que dificultaram a coordenação e a atribuição de responsabilidades durante a crise da Cidade do Cabo (Ziervogel, 2019b; Swatuk, 2020).

No contexto específico da gestão de bens comuns de acesso aberto como os hídricos, tornar as informações gerais e sobre os processos decisórios acessíveis e compreensíveis, em formatos variados e para diversos públicos, fortalece substancialmente o controle social sobre a gestão da água. Uma abordagem proativa reduz a assimetria informacional (North, 1990) que historicamente favorece atores com maior poder de barganha e acesso à expertise técnica (Bourdieu, 1986), reequilibrando o campo de jogo informacional.

Mais do que combater a opacidade, essa ênfase na transparência e na responsabilização é fundamental para a sinergia dos princípios propostos: ela empodera a participação, ao fornecer a base informada necessária para debates

qualificados e deliberações significativas (Bovens, 2007b), e sustenta a adaptabilidade, ao permitir o monitoramento e a avaliação independentes do desempenho do sistema e das políticas implementadas, tornando o processo de aprendizado mais confiável e menos suscetível à manipulação.

A proposta impulsiona a coordenação multinível e intersetorial ao institucionalizar espaços (Conselhos de Governança Locais e Comitês Consultivos) onde representantes de diferentes esferas governamentais (municipal, estadual, federal) e atores (usuários de água – agricultura, indústria, saneamento; órgãos ambientais; sociedade civil; academia) são reunidos e dotados de mandato e poder para deliberar conjuntamente sobre questões que transversalizam suas competências. Inspirada em modelos que demonstraram sucesso na cooperação entre diferentes níveis e setores, como a gestão da Bacia do Reno na Europa (Bernauer; Moser, 1996) de forma a alinhar essas políticas e ações mesmo que estejam dispersas. Promovendo uma visão mais integrada e holística da bacia e seus usos múltiplos (Grumbine, 1994; Boesch, 2006), o que é essencial para a melhoria do processo de tomada de decisão. Mais do que isso, a integração multinível e intersetorial fortalece a capacidade de aplicação de mecanismos de responsabilização em toda a bacia, o que desincentiva atores a explorarem lacunas institucionais ou jurídicas para evadirem-se de responsabilidades ou promoverem seus interesses em detrimento do coletivo. Em essência, a proposta cria "regras operacionais" (Commons, 1934) e as "arenas de ação coletiva" (Ostrom, 1990) necessárias à coordenação da complexa teia de usos da água e políticas setoriais que caracterizam a gestão de bacias, forçando o diálogo e a negociação onde antes predominava a ação setorial e a fragmentação.

A adaptabilidade institucional em conjunto com um robusto sistema de monitoramento contínuo da bacia operacionaliza a capacidade de resposta da estrutura de governança da seguinte forma: o sistema de monitoramento contínuo coleta dados em tempo real sobre o estado da bacia – como níveis de vazão, qualidade da água, padrões de uso, eventos climáticos extremos e seus impactos. A Informação utilizada na identificação de choques e mudanças inesperadas. Ela não permanece isolada. Ela é integrada e analisada nos espaços deliberativos e consultivos da estrutura – os Conselhos de Governança Locais e os Comitês Consultivos. Nesses fóruns, a inclusão de diversas perspectivas – abrangendo o conhecimento científico e técnico, o saber local e tradicional das comunidades

ribeirinhas, pescadores e povos indígenas (promovida pelo princípio de inclusão) – permite uma interpretação rica e multifacetada dos dados de monitoramento, indo além de análises puramente técnicas. Processo deliberativo e inclusivo que facilita a identificação da necessidade de ajustes nas políticas e práticas de gestão da bacia.

A transparência dos dados de monitoramento e das discussões (sustentada pelo princípio de transparência) tem por objetivo capacitar os múltiplos atores na verificação e validação das informações, para que esses possam realizar suas próprias análises e participar ativamente da proposição e debate dos ajustes necessários, mitigando assim o risco de ser instrumentalizado por interesses estabelecidos nos processos decisórios necessários à adaptação (Veblen, 1899; Lukes, 2005) para manter padrões insustentáveis de uso da água ou para beneficiar grupos específicos. É precisamente esta sinergia entre adaptabilidade (como capacidade sistêmica de aprender e ajustar com base em evidências), a inclusão (que qualifica o aprendizado com diversidade de saberes na interpretação dessas evidências) e a transparência (que garante a legitimidade do processo e permite o contrapoder no ciclo de ajuste) que torna a proposta mais resiliente e efetiva para lidar com a incerteza inerente à gestão hídrica.

Apesar do potencial transformador, a implementação de uma estrutura de governança com tal envergadura e princípios no contexto da gestão de bacias hidrográficas enfrentam desafios complexos e multifacetados na prática. Estes desafios não são meramente técnicos ou administrativos; são, fundamentalmente, sociopolíticos, institucionais e refletem limites teóricos inerentes à aplicação de modelos normativos em sistemas complexos e sujeitos a relações de poder.

Um limite teórico fundamental reside na própria capacidade da teoria social e da governança de prescrever ou garantir o sucesso da mudança institucional em contextos marcados por poder e inércia. A Economia Institucional Original (Commons, 1934; Hodgson, 2004) e a teoria das instituições de Douglass North (1990) sublinham que as instituições – formais (leis, regulamentos) e informais (normas, hábitos de pensamento) – são moldadas por relações de poder historicamente enraizadas e exibem forte dependência de trajetória. Mudar essas estruturas é um processo lento, incremental e sujeito à resistência dos que se beneficiam do status quo (Veblen, 1899). A proposta teórica oferece um arcabouço, mas não elimina a luta política necessária para superar essa inércia. A implementação, portanto, não é uma

aplicação de engenharia social, mas um campo de disputa contínua, onde a teoria informa, mas não determina o resultado.

Especificamente no recorte de bacias hidrográficas, o desafio primordial da superação da resistência política e social é exacerbado pelos interesses econômicos concentrados e de alto poder de barganha associados ao uso intensivo da água (agronegócio irrigado, indústria, geração hidrelétrica, mineração). Esses atores, como visto em Mariana (Siqueira-Gay et al., 2019), São Francisco (Empinotti et al., 2019) e Chesapeake (Ernst, 2003), mobilizam recursos (econômicos, políticos, simbólicos – Bourdieu, 1986) para influenciar regulamentações (captura regulatória – Dal Bó, 2006), controlar a agenda política (Lukes, 2005 – 2ª dimensão) e moldar percepções sobre a escassez ou os custos da conservação (Lukes, 2005 – 3ª dimensão). Implementar uma estrutura que redistribua poder sobre a água implica confrontar diretamente esses interesses estabelecidos, o que exige uma força política e social organizada e sustentada, algo que a teoria da governança pode descrever como necessário, mas não garantir sua emergência ou sucesso. No contexto brasileiro, enfrentar isso exigiria a construção de amplas coalizões multiatores (academia, sociedade civil organizada, setores progressistas do Estado e do setor privado), campanhas de conscientização pública massivas para moldar a 3ª dimensão do poder (Lukes, 2005) e o uso estratégico do sistema jurídico por meio de Ações Cíveis Públicas e outras ferramentas legais (como visto na atuação do MPF no caso Mariana – MPF, 2017). Mecanismos formais como a criação de órgãos colegiados com poder deliberativo real para contrapesar órgãos técnicos ou executivos e a blindagem legal e orçamentária da entidade gestora seriam cruciais (Bovens, 2007a).

A garantia de participação verdadeiramente efetiva e inclusiva é outro desafio significativo que reflete limites teóricos e empíricos. Embora autores como Fung (2006) e Arnstein (1969) ofereçam tipologias e critérios para a participação empoderada, sua realização prática em bacias hidrográficas marcadas por profundas desigualdades (Capítulo 3) é complexa. As barreiras não são apenas formais; são estruturais: a vasta escala geográfica da bacia dificulta a organização e o deslocamento; a assimetria de informação sobre a complexidade hidrológica e as regulamentações favorece elites técnicas e econômicas (poder-saber – Foucault, 1977); a exclusão digital e linguística marginaliza comunidades rurais ou tradicionais (Helsper, 2012; Norris, 2001); e a própria desvalorização cultural de saberes não-científicos (Wynne, 1996) limita o reconhecimento da legitimidade das vozes locais. A

teoria postula a necessidade da inclusão, mas sua operacionalização exige um esforço político contínuo para equalizar condições em um campo de poder desigual (Bourdieu, 1986), algo que transcende a capacidade de prescrição teórica total. Operacionalmente, superar barreiras digitais e linguísticas na prática cotidiana exigiria a disponibilização de plataformas digitais acessíveis em múltiplos idiomas (incluindo línguas minoritárias relevantes na bacia), a oferta de acesso à internet e dispositivos em centros comunitários, a realização de reuniões presenciais descentralizadas e adaptadas aos horários locais, o uso de rádios comunitárias e outros meios de comunicação de baixo custo e a disponibilização de materiais informativos em formatos visuais e linguagem simples. Garantir participação real dos grupos marginalizados demandaria financiamento específico para o deslocamento e organização desses grupos, a disponibilização de assessorias técnicas independentes (inspiradas nas ATIs de Mariana, mas financiadas por fontes blindadas de interesses específicos) para fornecer suporte técnico e jurídico, e a inclusão de cotas ou mecanismos de representação obrigatória nos Conselhos de Governança, assegurando voz e voto a pescadores, ribeirinhos, indígenas etc.

Uma dificuldade inerente a estruturas que buscam alta inclusão e deliberação é o equilíbrio entre a participação ampla e a eficiência na tomada de decisões. Incorporar uma pluralidade de vozes e perspectivas aumenta a complexidade e pode elevar os custos de transação (North, 1990; Williamson, 1985) do processo decisório – custos de busca de informação, negociação e monitoramento –, potencialmente tornando os processos mais lentos do que em modelos centralizados. Conforme a teoria dos custos de transação sugere, a busca por decisões de maior qualidade, legitimidade e menor probabilidade de conflitos futuros (Coase, 1960) implica um investimento maior em coordenação e negociação *ex ante*.

O desafio da implementação no recorte da bacia reside, portanto, em desenvolver mecanismos e ferramentas que otimizem esses processos sem comprometer a inclusão. Este é um troca entre o prático e o teórico: eficiência e participação podem entrar em tensão, e a forma de balanceá-las é contingente ao contexto e à correlação de forças políticas. Para lidar com esse troca, especialmente em situações emergenciais (crises hídricas), a proposta planeja investir pesadamente na construção de confiança e capital social em tempos normais (Coleman, 1990; Ostrom, 1990), agilizando a comunicação e coordenação em crises; predefinir protocolos de emergência com papéis e responsabilidades claros para diferentes

atores dentro da estrutura de governança; utilizar plataformas digitais e sistemas de comunicação rápida para disseminar informações críticas e coletar feedback rápido em emergências; e concentrar decisões críticas em instâncias menores e mais ágeis (como um comitê de crise subordinado ao Conselho principal) durante o ápice da emergência, retornando à deliberação ampla assim que a situação permitir.

A implementação e sustentação dos recursos essenciais (humanos qualificados, financeiros consistentes, tecnológicos acessíveis) constitui um desafio prático fundamental, exacerbado pela competição por recursos em bacias hidrográficas e pela resistência em financiar estruturas de governança independentes. A formação de equipes multidisciplinares qualificadas, o financiamento sustentável para a operação da estrutura (monitoramento, fóruns, capacitação, suporte técnico independente – como as ATIs em Mariana) e o acesso a infraestrutura tecnológica confiável são indispensáveis. A experiência empírica (ANA, 2015; Empinotti et al., 2019) demonstra a dificuldade em garantir financiamento contínuo (muitas vezes dependente da politizada cobrança pelo uso da água ou de orçamentos públicos voláteis) e a disponibilidade de pessoal técnico qualificado.

Disputas sobre a alocação de recursos ou a dependência de fontes voláteis podem minar a capacidade operacional da estrutura, tornando-a vulnerável à inércia ou captura (North, 1990). Uma análise de viabilidade rigorosa, que identifique fontes de financiamento diversificadas e mecanismos para garantir sua estabilidade no contexto de poder local, é crucial. A alocação inicial de recursos financeiros e humanos exigiria um acordo político multi-institucional, possivelmente envolvendo orçamentos públicos federais, estaduais e municipais afetados pela bacia, e buscando fundos de compensação ambiental ou multas (como as aplicadas em desastres), bem como editais de agências de fomento à pesquisa e extensão (CAPES, CNPq, FAPs estaduais).

Para garantir financiamento contínuo e sustentável, mecanismos específicos poderiam incluir a criação de um fundo de bacia com receitas vinculadas (por exemplo, parte da cobrança pelo uso da água – se implementada e fiscalizada, ou taxas sobre atividades de alto impacto na bacia, como mineração e irrigação extensiva), a destinação compulsória de parte dos recursos de P&D de setores beneficiados pelo uso da água, e a busca por parcerias com fundações e organismos internacionais, sempre com regras claras de transparência e governança do próprio fundo para evitar sua captura. A experiência de fundos de bacia na França (Barraqué, 1995; Kuks,

2002) ou fundos ambientais em outros países pode oferecer lições, embora sua aplicabilidade dependa do contexto institucional.

A adaptação contínua e a gestão da incerteza, embora princípios centrais da proposta e cruciais para a resiliência de sistemas hídricos, também apresentam desafios que refletem limites teóricos. Processos adaptativos exigem sistemas robustos de monitoramento e feedback sobre a bacia, mas, como apontado pela literatura (Pahl-Wostl, 2009), podem ser direcionados por atores com maior poder (Lukes, 2005). A interpretação de dados hidrológicos ou ecológicos (poder-saber – Foucault, 1977), a resistência a ajustes que ameacem interesses estabelecidos (Veblen, 1899) ou o uso estratégico da incerteza científica para justificar inação são riscos reais (Capítulo 3).

A eficácia da adaptabilidade depende, portanto, da transparência do processo de aprendizado, da solidez dos mecanismos de responsabilização e da capacidade de contrapoder dos grupos menos favorecidos em influenciar os rumos da adaptação da gestão da bacia. A teoria da governança adaptativa oferece um marco, mas a prática revela que a "adaptação" pode servir a interesses assimétricos se não for ancorada em princípios de justiça e mecanismos robustos de contestação. A definição dos critérios para as avaliações de impacto e monitoramento seria realizada de forma participativa pelo Conselho de Governança, com base em informações e análises fornecidas pelos Comitês Consultivos (que integram múltiplos saberes) e em diálogo aberto nos Fóruns de Partes Interessadas.

Para garantir a independência das avaliações, seriam estabelecidos mecanismos de auditoria externa por instituições reconhecidamente independentes (universidades públicas, institutos de pesquisa, ONGs com expertise notória) e financiadas por fontes alocadas dentro do orçamento da estrutura de governança, mas com regras claras que impeçam a influência direta de quaisquer atores específicos sobre o escopo e os resultados da avaliação. Para garantir que os ajustes adaptativos não sejam direcionados por interesses já estabelecidos, a transparência radical dos dados de monitoramento seria fundamental (permitindo que múltiplos atores realizem suas próprias análises), assim como a institucionalização de mecanismos de contestação formal das interpretações e propostas de ajuste (por exemplo, um comitê de revisão independente ou um processo de apelação público dentro da estrutura de governança).

A implementação sinérgica, conjunta e interdependente dos princípios propostos visa promover maior equidade e justiça hídrica que transcende à distribuição justa do recurso ao abranger o reconhecimento das diversas necessidades e valorações culturais relacionadas à água, e o direito fundamental à participação justa nos processos decisórios, realizado através da reconfiguração das relações de poder. A implantação dos princípios resulta em uma percepção aumentada de justiça e legitimidade por parte dos atores envolvidos, o que tende a reduzir as motivações para comportamentos oportunistas e desalinhados com o bem comum – ações que, de outra forma, minariam a transparência e a responsabilização da governança – fortalecem-se os próprios mecanismos de governança que sustentam uma maior qualidade das decisões (Zwarteveen; Boelens, 2014).

Paralelamente, à medida que a equidade aumenta e a justiça hídrica se concretiza, ela tende a construir confiança mútua e fortalecer o capital social entre os diversos atores, o que incentiva uma maior participação e colaboração genuína nos processos deliberativos e de implementação e contribui em certa medida para a redução de assimetrias de poder – que estão baseadas na desconfiança e na fragmentação social que historicamente impediram a ação coletiva eficaz (Coleman, 1990; Ostrom, 1990).

Essa operacionalização conjunta e reforço mútuo dos princípios capacita a estrutura a reverter padrões de desigualdade, conflito e degradação observados em modelos menos integrados (Capítulo 3). Assim, a premissa central da tese – que a melhoria da qualidade da tomada de decisão pode induzir à redução das assimetrias de poder em certa medida – encontra sua resposta na capacidade de reconfiguração das relações entre os atores e o ecossistema da bacia através de uma governança que busca ser, em sua essência, verdadeiramente sustentável.

Desta forma, a implementação da proposta – considerando as bacias hidrográficas – configura-se como um processo contínuo, incrementado e adaptativo, profundamente contextualizado às especificidades singulares de cada bacia (histórico de uso, arranjos institucionais preexistentes, dinâmicas de poder) e intrinsecamente político. Uma estratégia inicial é a realização de um exame completo e participativo na bacia escolhida para a implementação. Isso envolve (i) mapeamento detalhado dos atores e relações de poder, usos da água e conflitos existentes; (ii) diagnóstico da estrutura institucional, análise do arcabouço legal e dos arranjos preexistentes de governança; (iii) avaliação das condições socioeconômicas e culturais dos diferentes

grupos de usuários; e (iv) ampla consulta para co-desenvolver conjuntamente a estrutura de governança adaptada a essa bacia específica, procurando legitimidade desde o início. Paralelamente, buscar-se-ia o engajamento político para garantir o apoio institucional necessário e o financiamento inicial para as fases iniciais e para o funcionamento mínimo da estrutura (análogo ao desafio de financiar comitês de bacia, mas com mecanismos de blindagem contra captura).

A estruturação de projetos-piloto em sub-bacias ou áreas críticas pode permitir aprendizados práticos no ambiente e o refinamento da estrutura em menor escala, a partir de desafios vivenciados e avaliação e adaptação de estratégias antes de expandir para a bacia toda. A escolha de projetos-piloto deve ser orientada por critérios como: o engajamento local e vontade política, locais onde existem movimentos sociais ou instituições buscando novas formas de governança; a relevância do problema, onde há problemas significativos de escassez, poluição ou conflitos, mas não em colapso total, permitindo implementação gradual; o potencial de aprendizado, contextos com diversidade de atores e usos da água, permitindo testes considerando os diversos componentes da estrutura; a escala gerenciável, uma sub-bacia ou área onde seja viável concentrar recursos e monitorar de perto os resultados; e a existência de capital social prévio, locais com redes de confiança ou organizações comunitárias que podem servir de base para participação. Esta abordagem de "aprender fazendo", alinhada aos princípios da governança adaptativa, permite ajustes contínuos em resposta aos desafios práticos emergentes no contexto específico da gestão hídrica.

As ferramentas analíticas desempenham papel fundamental na orientação desses processos desde o mapeamento dos atores; interesses; dinâmicas de poder, os obstáculos existentes, para se poder planejar estratégias de engajamento e formação de alianças visando mudanças dentro da bacia hidrográfica. Assim, como para auxiliar na administração visões divergentes e encontrar um ponto de equilíbrio através do diálogo, de modo a garantir a sustentabilidade (Brugha; Varvasovszky, 2000).

A simulação computacional, particularmente a Modelagem Baseada em Agentes (ABM), conforme detalhado no Capítulo 6, emerge como uma ferramenta poderosa para auxiliar na análise e no planejamento pré-implementação e durante as fases de piloto. É crucial esclarecer que as simulações fornecem projeções exploratórias sobre o potencial comportamento dinâmico do sistema sob diferentes

configurações institucionais, e não "evidências" diretas de sucesso ou fracasso no mundo real (Sargent, 2013). No entanto, ao permitir modelar a heterogeneidade dos agentes (diferentes tipos de usuários de água, governo, sociedade civil), suas interações em rede (conexões entre atores na bacia) e as regras institucionais (as diferentes estruturas de governança simuladas) (Capítulo 6), a ABM oferece um "laboratório virtual" para testar *ex ante* o potencial impacto de diferentes mecanismos de governança (como os propostos na Seção 4.2) na mitigação de assimetrias de poder e na qualidade da tomada de decisão em um ambiente de bacia simulado.

As simulações permitem explorar interações complexas e resultados emergentes (como padrões de uso da água, a persistência da desigualdade na distribuição de poder, a efetividade das decisões coletivas) que são difíceis de prever intuitivamente em sistemas complexos como bacias hidrográficas. Informam, assim, o desenho da estrutura proposta, identificam possíveis pontos de estrangulamento na dinâmica simulada e orientam o planejamento para o monitoramento e ajuste na prática.

Todavia, as limitações práticas da ABM neste caso, conforme será discutido no Capítulo 6, residem na necessidade de simplificação da realidade complexa da bacia; o modelo captura apenas um subconjunto de interações e atributos, e suas equações são aproximações. A calibração de parâmetros é um desafio, e os resultados são sensíveis a essas escolhas. A validação empírica de um modelo ABM para um sistema socioecológico específico é complexa; a validação aqui buscada (Capítulo 6) é mais conceitual e pela comparação de padrões emergentes com observações teóricas e empíricas (Capítulo 3), não uma validação preditiva rigorosa. A extrapolação de resultados simulados para o contexto real deve ser feita com cautela, utilizando a ABM como ferramenta de exploração de possíveis dinâmicas, não como um oráculo preditivo.

Apesar do potencial de grande impacto positivo que possui em termos de mudanças benéficas para o mundo natural e sociedade em geral, o estabelecimento de uma estrutura de governança abrangente e baseada em princípios no âmbito da administração das bacias hidrográficas enfrenta desafios intrincados e multifacetados na prática do cotidiano. Estes obstáculos não se resumem apenas aos aspectos técnicos ou gerenciais; são essencialmente relacionados aos aspectos sociopolíticos, institucionais, e estão intrinsecamente ligados às barreiras teóricas que surgem ao

tentar aplicar modelos normativos a realidades complexas regidas por dinâmicas de poder.

Um obstáculo teórico essencial reside na própria capacidade da teoria social e da governança para prescrever ou garantir o sucesso da mudança institucional em ambientes caracterizados por assimetrias de poder e resistência à mudança. A Economia Institucional Original (Commons 1934 e Hodgson 2004), juntamente com a teoria das instituições elaborada por Douglass North (1990) enfatizam que as instituições – sejam elas formais (leis e regulamentos), ou informais (normas e hábitos mentais), são moldadas por relações de poder historicamente estabelecidas e exibem uma forte dependência do caminho percorrido. Modificar essas estruturas é um processo gradual e pode enfrentar resistência daqueles que se beneficiam do *status quo* (Veblen. 1899). A proposta teórica fornece um contexto geral sem eliminar a necessária batalha necessária para superar essa resistência à mudança. Assim, a implementação não se resume simplesmente a seguir um plano de engenharia social; é mais um campo de disputa contínua, onde a teoria informa, mas não determina o resultado.

Na análise das bacias hidrográficas em particular enfrentamos um grande desafio na superação das resistências políticas e sociais. Isso se torna ainda mais complicado devido aos interesses econômicos fortes e concentrados ligados ao uso intenso da água (como na agricultura irrigada, o setor industrial, a geração de energia hidrelétrica e a mineração). Esses atores e suas influências foram claramente evidenciados em eventos como os ocorridos em Mariana (Siqueira-Gay et al., 2019), assim como no rio São Francisco (Empinotti et al., 2019). E em Chesapeake (Ernst, 2003), as pessoas utilizam recursos, com o objetivo de influenciar normas regulatórias, gerenciar as pautas políticas, e moldar conceitos sobre a escassez e os custos da preservação. Implementar uma estrutura que redistribua o controle sobre a água envolve lidar diretamente com esses interesses estabelecidos e requer uma mobilização política e social organizada e contínua – algo que a teoria da governança consideraria necessário sem garantir sua trajetória ou êxito. No contexto do Brasil enfrentar essa questão demandaria a formação de amplas coalizões com múltiplos atores (academia, sociedade civil organizada, governo e empresas privadas), juntamente com campanhas massivas para conscientização pública com o objetivo de moldar a terceira dimensão do poder (Lukes. 2005). O uso estratégico do sistema jurídico por meio de Ações Civis Coletivas e outras ferramentas legais (como

demonstrado na atuação do Ministério Público Federal no caso Mariana – MPF, 2017) é destacado. Seria fundamental ter mecanismos formais como o estabelecimento de órgãos colegiados com efetivo poder deliberativo para equilibrar órgãos técnicos ou executivos e garantir proteção legal e orçamentária à entidade gestora (Bovens, 2007a).

A garantia de participação verdadeiramente efetiva e inclusiva é outro desafio significativo que reflete limites teóricos e empíricos. Embora autores como Fung (2006) e Arnstein (1969) ofereçam tipologias e critérios para a participação empoderada, sua realização prática em bacias hidrográficas marcadas por profundas desigualdades (Capítulo 3) é complexa. As barreiras não são apenas formais; são estruturais: a vasta escala geográfica da bacia dificulta a organização e o deslocamento; a assimetria de informação sobre a complexidade hidrológica e as regulamentações favorece elites técnicas e econômicas (poder-saber – Foucault, 1977); a exclusão digital e linguística marginaliza comunidades rurais ou tradicionais (Helsper, 2012; Norris, 2001); e a própria desvalorização cultural de saberes não-científicos (Wynne, 1996) limita o reconhecimento da legitimidade das vozes locais. A teoria postula a necessidade da inclusão, mas sua operacionalização exige um esforço político contínuo para equalizar condições em um campo de poder desigual (Bourdieu, 1986), algo que transcende a capacidade de prescrição teórica total.

Operacionalmente, superar barreiras digitais e linguísticas na prática cotidiana exigiria a disponibilização de plataformas digitais acessíveis em múltiplos idiomas (incluindo línguas minoritárias relevantes na bacia), a oferta de acesso à internet e dispositivos em centros comunitários, a realização de reuniões presenciais descentralizadas e adaptadas aos horários locais, o uso de rádios comunitárias e outros meios de comunicação de baixo custo e a disponibilização de materiais informativos em formatos visuais e linguagem simples. Garantir participação real dos grupos marginalizados demandaria financiamento específico para o deslocamento e organização desses grupos, a disponibilização de assessorias técnicas independentes (inspiradas nas ATIs de Mariana, mas financiadas por fontes blindadas de interesses específicos) para fornecer suporte técnico e jurídico, e a inclusão de cotas ou mecanismos de representação obrigatória nos Conselhos de Governança, assegurando voz e voto a pescadores, ribeirinhos, indígenas entre outros.

Um desafio natural encontrado em estruturas que visam alta inclusão e deliberação é a necessidade de equilibrar a amplitude da participação com a eficácia

na tomada de decisões. Ao incluir uma variedade de vozes e perspectivas diferentes no processo decisório – como mencionado por North (1990) e Williamson (1985), há um aumento na complexidade que pode resultar em custos adicionais relacionados à busca por informações pertinentes ao debate em questão e à coordenação das interações entre os participantes envolvidos no processo decisório – o que pode potencialmente tornar o procedimento mais moroso do que em configurações centralizadas. De acordo com a teoria dos custos da transação proposta por Coase (1960), buscar decisões com mais qualidade e legitimidade e com menor chance de conflitos futuros implica um investimento adicional em coordenação e negociação antecipados.

O desafio da implementação no recorte da bacia reside, portanto, em desenvolver mecanismos e ferramentas que otimizem esses processos sem comprometer a inclusão. Este é um troca eficiência e participação que podem entrar em tensão, e a forma de balanceá-las é contingente ao contexto e à correlação de forças. Para lidar com esse troca, especialmente em situações emergenciais (crises hídricas), a proposta planeja investir pesadamente na construção de confiança e capital social em tempos normais (Coleman, 1990; Ostrom, 1990), agilizando a comunicação e coordenação em crises. Pré-definir protocolos de emergência com papéis e responsabilidades claros para diferentes atores dentro da estrutura de governança; utilizar plataformas digitais e sistemas de comunicação rápida para disseminar informações críticas e coletar feedback rápido em emergências; e concentrar decisões críticas em instâncias menores e mais ágeis (como um comitê de crise subordinado ao Conselho principal) durante o ápice da emergência, retornando à deliberação ampla assim que a situação permitir.

Implantar e manter os recursos essenciais (pessoal qualificado financeiro estável e tecnologia acessível) representa um desafio prático fundamental que se torna ainda mais complexidade pela competição por recursos em áreas de bacias hidrográficas e pela relutância em apoiar estruturas de governança independentes. É crucial contar com equipes multidisciplinares bem-preparadas garantir financiamento sustentável para o funcionamento da estrutura (incluindo monitoramento fóruns capacitação e suporte técnico independente – como as ATIs em Mariana), além do acesso à infraestrutura tecnológica confiança. As observações práticas (ANA, 2015; Empinotti et al., 2019), evidenciam o desafio de assegurar financiamento constante (frequentemente condicionado à questão politizada do uso da água ou a orçamentos

públicos instáveis), assim como a presença de profissionais qualificados na área técnica.

Disputas sobre a alocação de recursos ou a dependência de fontes voláteis podem minar a capacidade operacional da estrutura, tornando-a vulnerável à inércia ou captura (North, 1990). Uma análise de viabilidade rigorosa, que identifique fontes de financiamento diversificadas e mecanismos para garantir sua estabilidade no contexto de poder local, é crucial. A alocação inicial de recursos financeiros e humanos exigiria um acordo político multi-institucional, possivelmente envolvendo orçamentos públicos federais, estaduais e municipais afetados pela bacia, e buscando fundos de compensação ambiental ou multas (como as aplicadas em desastres), bem como editais de agências de fomento à pesquisa e extensão (CAPES, CNPq, FAPs estaduais).

Para assegurar a obtenção de financiamento contínuos e sustentáveis,, estratégias específicas poderiam envolver a instituição de um fundação comunitária com fontes de receita específicas (por exemplo,, uma parcela de parte da taxa cobrada pelo uso da água – se for implementada e monitorada adequadamente -, ou taxas sobre atividades que tenham alto impacto na bacia hidrográfica, como mineração e irrigação extensiva), a determinação obrigatória de uma quota dos recursos destinados à pesquisa e desenvolvimento pelos setores beneficiados pelo uso da água, e a prospecção de parcerias com fundações e organismos internacionais, a todo momento com regras transparentes sobre gestão e transparência do próprio fundo para evitar influências indevidas. As experiências relacionadas a planícies de fundos na França (Barraqué. 1995; Kuks. 2002), ou a situação de fundos em outros países podem proporcionar ensinamentos úteis para o entendimento do contexto institucional específico.

A aplicação da proposta de estrutura de governança para promover a sustentabilidade e reduzir assimetrias de poder na gestão de bacias é um desafio complexo e multifacetado. Longe de ser uma solução simples e direta", apresenta-se como um processo em constante evolução e transformação que leva em conta o contexto envolvido. Para se ter sucesso nesta empreitada é necessário prestar atenção constante a diversos aspectos que vão desde a avaliação da viabilidade econômica à resolução de conflitos e promoção da efetiva participação das partes interessadas. Adicionalmente, é essencial manter um ciclo contínuo de aprendizado e adaptação para garantir uma gestão eficiente e sustentável dos recursos hídricos. As

habilidades para lidar com obstáculos decorrentes de assimetrias de poder e inercias ou resistências são cruciais para se garantir a eficiência e viabilizar mudanças significativas na gestão de bacias.

Para transpor a discussão do plano do desenho conceitual para a avaliação de sua capacidade de resposta diante de problemas concretos, o Capítulo 5 a seguir dedica-se a examinar a aplicabilidade desta nova arquitetura institucional. A confrontando com as complexidades das crises hídricas e socioambientais observadas em estudos de caso emblemáticos, como os de Mariana e Cidade do Cabo, avaliando em que medida seus mecanismos integrados (fruto dos princípios discutidos nesse capítulo) poderiam mitigar as falhas de governança e as assimetrias de poder que caracterizaram esses eventos, justificando, assim, sua superioridade potencial frente as abordagens existentes e preparando o terreno para a análise de sua dinâmica através de simulação computacional no capítulo subsequente.

5 AVALIANDO A MUDANÇA: UMA NOVA GOVERNANÇA PARA A SUSTENTABILIDADE

O século XXI demanda arranjos de governança aptos a transpor as fronteiras teóricas e a se materializarem em práticas capazes de efetivamente transformar realidades marcadas por desigualdades, pressões econômicas e limitações institucionais (Young, 2010; Lemos; Agrawal, 2006). Contudo, a aplicação de propostas inovadoras enfrenta desafios inerentes à complexidade dos sistemas socioambientais, nos quais as assimetrias de poder influenciam profundamente o acesso a recursos, a tomada de decisão e a distribuição dos custos e benefícios do desenvolvimento. Este capítulo apresenta uma estrutura de governança delineada no Capítulo 4, analisando sua aplicabilidade em cenários concretos e avaliando como tal proposta pode superar as limitações observadas em modelos vigentes, com ênfase nas experiências do desastre de Mariana, em 2015, e da crise hídrica na Cidade do Cabo, entre 2015 e 2018.

A partir da compreensão teórica das assimetrias de poder (Foucault, 1977; Weber, 2019; Lukes, 2005) e das falhas nas estruturas de governança convencionais (Abers; Keck, 2013; Ostrom, 1990; Arnstein, 1969), o presente capítulo examina a viabilidade da proposta construída no Capítulo 4. A análise não se limita a ilustrar o potencial dessa nova arquitetura institucional, mas também investiga rigorosamente os obstáculos práticos da implementação, as condições necessárias à sua aplicabilidade e o tempo e esforço exigidos na transição. Além disso, discute-se por que tal proposta pode ser superior às abordagens já existentes, fundamentando-se em experiências internacionais e na literatura.

5.1 APLICABILIDADE DA PROPOSTA AOS CASOS DE MARIANA E CIDADE DO CABO

O rompimento da barragem de Fundão, em Mariana (MG), e a crise hídrica na Cidade do Cabo expuseram não apenas falhas institucionais e fragilidades na coordenação multinível, mas, sobretudo, a dificuldade de enfrentar assimetrias de poder profundamente arraigadas (Fernandes et al., 2016; MPF, 2017; Muller, 2018; City of Cape Town, 2018). Na experiência de Mariana, a influência considerável das mineradoras sobre órgãos reguladores, a falta de mecanismos eficazes de

participação comunitária e a precariedade da fiscalização indicaram a necessidade de um modelo mais inclusivo, transparente e responsivo (Abers; Keck, 2013; Siqueira-Gay, Sánchez; Luiz, 2019).

A proposta de governança delineada no Capítulo 4 fornece elementos centrais para lidar com tais assimetrias. Em primeiro lugar, a criação de Conselhos de Governança Locais, com representação paritária e integrada entre comunidades afetadas, sociedade civil, empresas e governo, poderia ter alterado radicalmente o fluxo decisório em Mariana. Ao conferir voz efetiva às comunidades ribeirinhas e aos pescadores artesanais, tais conselhos tornariam o conhecimento local – como alertas sobre rachaduras e ruídos na barragem – parte integrante do monitoramento e da gestão de riscos. Essa inclusão supera as limitações observadas nos Comitês de Bacia Hidrográfica tradicionais, que não conseguiram garantir poder decisório efetivo às populações mais vulneráveis, como destaca Alexander Gagg (2014), ao argumentar que os Comitês de Bacia no Brasil muitas vezes reproduzem relações de poder assimétricas, restringindo a influência de populações vulneráveis.

Adicionalmente, a coordenação multinível proposta – com mecanismos claros de cooperação entre órgãos federais, estaduais e municipais, bem como articulação intersetorial – viabilizaria a superação da fragmentação institucional que marcou o caso de Mariana (Abers; Keck, 2013). A partir de Grupos de Trabalho conjuntos, envolvendo a Agência Nacional de Mineração (ANM), o IBAMA e autoridades locais, seriam estabelecidos planos de ação integrados, aumentando a celeridade e a coerência das respostas a emergências. Essa abordagem difere do modelo hierárquico tradicional, permitindo uma governança policêntrica inspirada em Elinor Ostrom (1990), que reforça a necessidade de múltiplos centros de decisão para lidar com a complexidade dos bens comuns.

A aplicação da nova estrutura em Mariana, caso realizada, exigiria, entretanto, condições adequadas, incluindo investimento em capacitação técnica e fortalecimento institucional, bem como um processo de transição gradual. Por se tratar de uma mudança de paradigma, a resistência de grupos acostumados ao status quo seria significativa (Dal Bó, 2006). Nesse sentido, a proposta prevê ações afirmativas, capacitações contínuas e mecanismos de responsabilização rigorosos, que, ao longo do tempo, promoveriam uma reconfiguração das relações de poder. Ainda que o processo seja lento, seu êxito reside na criação de ambientes mais inclusivos e

transparentes, capazes de antecipar e mitigar riscos antes que desastres se concretizem.

No caso da Cidade do Cabo, a crise hídrica revelou como a injustiça socioambiental e a falta de integração institucional agravam os efeitos de eventos climáticos extremos (Muller, 2018; Enqvist; Ziervogel, 2019). A proposta de governança apresentada no capítulo anterior, introduz Fóruns Comunitários de Gestão Hídrica, capazes de garantir representatividade às comunidades historicamente excluídas dos processos decisórios. Diferentemente das abordagens tradicionais, pautadas em consultas superficiais, esses fóruns atuariam como espaços deliberativos legítimos, impulsionando a governança participativa e colaborativa (Fung, 2006; Ansell; Gash, 2007).

A coordenação multinível, aliada a Planos de Gestão Adaptativa, permitiria ajustar políticas e alocação de recursos conforme as informações científicas e as percepções comunitárias evoluíssem. A inclusão de tecnologias digitais, desde plataformas de dados abertos até sistemas de monitoramento hídrico participativo, viabilizaria maior transparência e a responsabilização dos atores envolvidos (Noveck, 2015). Além disso, a integração de conhecimentos tradicionais sobre uso da água e práticas de reuso doméstico, frequentemente ignorados em abordagens convencionais, ampliaria a capacidade de resposta adaptativa (Folke et al., 2005).

Essas transformações não seriam imediatas e foram parametrizadas através de transição entre estruturas de governança, que foi simulada entre 5 e 50 anos. A Cidade do Cabo teria de enfrentar resistências políticas, socioeconômicas e culturais, bem como investir em alfabetização digital e capacitação técnica para as comunidades menos favorecidas. Contudo, a médio e longo prazo, a proposta superaria as limitações dos modelos existentes – marcados pela fragmentação e desigualdade – ao promover equidade no acesso à água e mecanismos mais robustos de integração institucional.

5.2 POR QUE A PROPOSTA É SUPERIOR ÀS ABORDAGENS EXISTENTES?

A estrutura de governança supera as abordagens convencionais ao agregar princípios-chave: inclusão efetiva, flexibilidade institucional, transparência rigorosa, coordenação multinível, participação real e valorização de saberes diversos (Ostrom, 1990; Young, 2010). Enquanto a governança hierárquica tradicional tende a ser rígida,

fragmentada e insensível às desigualdades, e a governança multinível enfrenta dificuldades na coordenação eficiente de ações e políticas (Hooghe; Marks, 2003), a nova proposta articula essas camadas de maneira coerente.

Em relação à Governança Participativa e Colaborativa, a diferença reside na melhora do processo decisório na direção de um maior e mais efetivo poder decisório, o que vai além da participação simbólica, ao delinear condições institucionais para que comunidades historicamente marginalizadas tenham voz real, e não apenas consultiva (Arnstein, 1969; Baiocchi, 2005). Essa efetividade é potencializada pela previsão de capacitações, incentivos à inclusão digital, políticas afirmativas e mecanismos de responsabilização mais robustos. Agora, quando comparada à Governança Adaptativa, ao não se limitar ao mero ajuste incremental de políticas a novos cenários, e reconhece a necessidade do enfrentamento das assimetrias de poder e injustiças socioambientais de forma estrutural, alia flexibilidade institucional à redistribuição do poder decisório, garantindo que a capacidade de adaptação não seja privilégio de poucos, mas um atributo de todo o sistema (Folke et al., 2005; Pahl-Wostl, 2009).

Em relação à Governança Cívica Digital, a proposta não aposta apenas na tecnologia para aumentar a transparência e participação (Norris, 2001; Noveck, 2015), mas cria mecanismos específicos para superar a exclusão digital, garantindo que a inovação tecnológica não reproduza assimetrias existentes. Ao considerar alfabetização digital, inclusão de múltiplos meios de comunicação e monitoramento comunitário, assegura-se que a era digital fortaleça, em vez de limitar, a democracia socioambiental.

5.3 CONDIÇÕES, TEMPO DE TRANSIÇÃO E DESAFIOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO

A implementação da proposta demanda condições prévias como as descritas no Capítulo 3, como: apoio político, recursos financeiros e humanos, infraestrutura tecnológica, pois em contextos marcados por corrupção, clientelismo ou captura regulatória, a efetividade da transição depende de um processo lento e incremental, que vai desde a criação de mecanismos de auditoria independente até a formação de equipes multidisciplinares capazes de mapear atores, identificar barreiras institucionais e mobilizar a sociedade civil (Loorbach, 2010; Martens et al., 2008). Isso

sendo feito ao longo de muito tempo, em virtude do tempo de transição ser necessariamente longo, pois implica a mudança de cultura organizacional e política, a negociação com grupos poderosos e o fortalecimento do arcabouço regulatório.

Inicialmente, recomenda-se a implementação de projetos piloto em contextos limitados, permitindo testes, ajustes e aprendizagem contínua, pois a governança adaptativa proposta encoraja revisões periódicas, avaliações independentes e iterações constantes, de modo a corrigir rumos e aprofundar os princípios orientadores, o que demanda capacitação e mudanças de paradigmas dos próprios executantes da proposta. Isso porque, existem desafios práticos que incluem a necessidade de equilibrar participação ampla com eficiência decisória, pois o aumento da inclusão pode tornar os processos mais lentos e complexos, exigindo ferramentas de facilitação, mediação de conflitos (Dryzek, 2013) e tecnologias digitais de análise de opiniões coletivas (Margetts; Dunleavy, 2013).

Além disso, setores econômicos acostumados a privilégios e incentivos podem resistir às transformações e mesmo com transparência, responsabilização e a pressão da opinião pública, ainda se faz necessário o fortalecimento de canais de apelos e de participação e atores, que são instrumentos centrais para mitigar tais resistências.

Cabe frisar, que a vantagem da proposta não se restringe a Mariana ou à Cidade do Cabo, pois a estrutura é flexível o suficiente para ser adaptada a diferentes contextos, como a gestão florestal na Indonésia ou a governança hídrica na bacia do Rio Nilo. Em ambos os casos, é sabido que existem múltiplos interesses em jogo, complexas dinâmicas institucionais e assimetrias de poder arraigadas (Boesch, 2006; Schmeier, 2013; WWF, 2018), então ajustes às particularidades culturais, políticas e econômicas de cada região são necessárias, todavia os princípios básicos de inclusão, equidade, participação, transparência, responsabilidade e adaptabilidade seguem sendo essenciais.

A experiência internacional demonstra que, sem enfrentar as desigualdades estruturais e a desvalorização dos saberes locais, soluções parciais não alcançarão sucesso duradouro (Berkes; Folke, 1998; Lemos; Agrawal, 2006). Ao contrário, a perspectiva integrada defendida aqui reconhece a necessidade de abordar não apenas as falhas institucionais formais, mas também as relações de poder subjacentes que determinam quais conhecimentos são valorizados, quais vozes são ouvidas e quais interesses prevalecem.

análise dos casos de Mariana, da Cidade do Cabo e de outros exemplos internacionais revela que as falhas das estruturas de governança atuais não podem ser atribuídas apenas à falta de leis ou de mecanismos formais. Elas estão profundamente enraizadas na incapacidade de lidar com assimetrias de poder, valores sociais rígidos, interesses econômicos imediatistas e exclusões históricas que perpetuam desigualdades. Esses fatores estruturais criam barreiras para uma gestão mais equitativa e sustentável dos recursos naturais.

Ainda assim, a proposta de governança apresentada no capítulo anterior aponta para um caminho promissor. Mais do que corrigir falhas pontuais ou ajustar formalidades, ela busca transformar relações de poder, dinamizar as instituições e democratizar os processos decisórios. Trata-se de uma verdadeira mudança de paradigma, que vai além da simples criação de regras ou políticas: é uma transformação que exige novas formas de pensar, agir e estruturar as relações entre os diversos atores envolvidos na gestão dos bens comuns.

Essa mudança, no entanto, não acontecerá sem esforço. Ela demanda condições materiais, como investimentos em tecnologia, recursos financeiros e capacitação técnica; condições políticas, incluindo vontade política genuína e engajamento ativo da sociedade civil; e condições temporais, com transições graduais que permitam ajustes contínuos e adaptação às novas realidades. Não é uma tarefa fácil ou rápida, mas é uma jornada necessária.

Os desafios são grandes, mas os benefícios de uma governança mais inclusiva e transparente são ainda maiores. Prevenir desastres como o de Mariana, garantir justiça hídrica em crises como a da Cidade do Cabo, proteger os direitos ambientais das comunidades mais vulneráveis e promover um desenvolvimento sustentável são objetivos que justificam plenamente os custos e os esforços dessa transformação. É um chamado para repensar as bases de como governamos nossos recursos, com a coragem de priorizar o bem comum e a justiça para todos.

Os próximos capítulos, ao detalhar simulações e cenários prospectivos, permitirão avaliar empiricamente o alcance e a efetividade da proposta, fornecendo subsídios para que, no futuro, a governança deixe de ser um obstáculo e se torne um instrumento efetivo de construção de um futuro sustentável, justo e democrático.

6 DESVENDANDO A DINÂMICA DO AMBIENTE

Este capítulo apresenta um modelo de simulação computacional, fundamentado na Modelagem Baseada em Agentes (ABM, do inglês *Agent-Based Modeling* (Wilensky; Rand, 2015; Epstein, 2006), que foi projetado com o objetivo de avaliar a influência de diferentes estruturas de governança na tomada de decisão e na sustentabilidade de bens comuns. Cabe ressaltar que o modelo busca representar, de forma simplificada, as interações entre agentes heterogêneos (indivíduos, empresas, governo, organizações da sociedade civil e especialistas) em um sistema socioecológico regional à semelhança de Mariana, sem se ater à complexidade de um evento específico, como o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, MG, dado que isso em si representa outro sistema de alta complexidade.

O uso desse tipo de modelagem, deve-se a sua capacidade de simular interações entre agentes com atributos, objetivos e regras de comportamento distintos em diferentes contextos institucionais e sociais e de possibilitar a avaliação de como as configurações institucionais influenciam a dinâmica do sistema ao longo do tempo. O modelo, portanto, serve como um instrumento de análise, a semelhança de um laboratório virtual, para testar hipóteses derivadas das discussões teóricas apresentadas nos Capítulos 2 (sobre assimetrias de poder, influência e capital social, com base em autores como Pierre Bourdieu (1986), Foucault (1977), Robert D. Putnam (1993) entre outros e Capítulo 3 (sobre estruturas de governança) com ênfase em autores como Ostrom (1990), Young (2010) entre outros citados naquele capítulo, e avaliar, de que forma em termos de simulação, a proposta conceitual de governança apresentada no Capítulo 4 e discutida, em termos de sua implementação, no Capítulo 5.

Inspirado em dados do contexto de Mariana, Minas Gerais (Carmo et al., 2017; Zhouri, 2018), o modelo simula as interações dos agentes em uma rede social (Newman, 2010), na qual esses agentes trocam informações, recursos, são influenciados e influenciam as decisões de outros agentes, relacionando à extração de recursos, consumo de bens, participação em processos de governança através de um conjunto de equações que consideram fatores como riqueza, poder, capital social, conhecimento e satisfação, bem como variáveis externas, como preços de mercado e pressão sobre os recursos. O modelo também agrega uma equação simplificada de

regeneração e degradação ambiental que permite avaliar o impacto das ações dos agentes no estado ambiental do sistema.

O modelo é implementado em Python, utilizando as bibliotecas Mesa (para a modelagem baseada em agentes), NetworkX (para a análise de redes), NumPy (para cálculos numéricos) e Matplotlib/Seaborn (para visualização de dados). A estrutura e as premissas do modelo, estão incluídas em classes como `GovernanceAgent` e `CouncilOfGovernanceAgent`, que definem o comportamento dos agentes e a classe `GovernanceModel` que define o comportamento do modelo, são detalhadas na Seção 6.3. Existindo outras classes como `GovernanceParameters` que permite configurar as diferentes estruturas de governança (Tradicional, Hierárquica, em Rede, Adaptativa, Participativa e a "Proposta" do Capítulo 4), que regem de forma macroscópica as interações e decisões dos agentes.

Para tanto, este capítulo descreve a arquitetura conceitual do modelo, justificando as escolhas teóricas e metodológicas, as equações que governam as interações, os pressupostos subjacentes e os parâmetros-chave de modelagem com o objetivo de aprofundar o entendimento dos mecanismos que conectam a estrutura de governança (definida nos Capítulos 2, 3 e 4), o comportamento dos agentes (influenciado pelas assimetrias de poder, discutidas no Capítulo 2) e os resultados na qualidade das decisões e seus efeitos sobre a assimetria de poder e sustentabilidade de bens comuns. Ao quantificar esses mecanismos, o modelo busca oferecer subsídios para a melhoria no desenho de políticas e estratégias de governança de bens comuns e para fornecer um referencial teórico e metodológico que permita uma compreensão mais profunda das dinâmicas institucionais e das estratégias de transformação da governança.

6.1 DA TEORIA DE ABM À MODELAGEM

A Modelagem Baseada em Agentes é uma abordagem computacional para a simulação de sistemas complexos adaptativos, nos quais o comportamento geral do sistema emerge de interações descentralizadas de múltiplos agentes autônomos em uma rede de relacionamento socioeconômico e ambientais, no qual as propriedades macroscópicas do sistema emergem das interações microscópicas entre os agentes e o ambiente (Bonabeau, 2002; Epstein; Axtell, 1996; Epstein, 2006; Railsback; Grimm, 2019; Wilensky; Rand, 2015). Em contraste com modelos tradicionais de

equações diferenciais, que representam sistemas de forma agregada, ou seja, do macro para o micro.

A ABM é estruturada a partir de três elementos centrais: agentes, o ambiente e regras de interação. Os agentes são entidades com atributos e comportamentos próprios (indivíduos, organizações, ou mesmo entidades abstratas). O ambiente é o espaço no qual os agentes interagem, que podem ser físicos (geográfico) ou abstratos (uma rede social). Além de regras de interação que governam as interações entre os agentes e entre os agentes e o ambiente, como por exemplo arcabouço institucional, regras sociais, conjunto de leis entre outros. A interação repetida entre os agentes, seguindo essas regras, gera padrões complexos e, frequentemente, não lineares, que são complexos por natureza, ou seja, podendo não ser facilmente previstos a partir da análise isolada dos componentes do sistema (Gilbert; Troitzsch, 2005).

No contexto da governança para a sustentabilidade, mais especificamente, de gestão de bens comuns, como recursos hídricos e florestas, envolve a interação de múltiplos agentes, geralmente com comportamentos, interesses, conhecimentos e níveis de poder diversos, que tomam decisões que afetam o estado do recurso e, por sua vez, são afetados pelas decisões dos outros agentes e pelo estado dos recursos, criando um sistema socioecológico e ambiental complexo (Ostrom, 1990; Hardin, 1968; Berkes; Folke, 1998). Além das assimetrias de poder, tanto materiais (riqueza, acesso a recursos) quanto imateriais (capital social, informação, influência, conhecimento), desempenham um papel relevante nessas dinâmicas, ao influenciar e ser determinado pela capacidade de cada ator de participar da tomada de decisões e de se beneficiar dessas decisões (Foucault, 1977; Lukes, 2005; Bourdieu, 1986).

A ABM permite representar explicitamente essa heterogeneidade e essas assimetrias, modelando os agentes com atributos e comportamentos diferenciados. Por exemplo, no modelo apresentado neste capítulo, os agentes do tipo "Empresa" possuem atributos como "riqueza", "poder", "influência", "eficiência" e "inovação", que afetam suas decisões de extração de recursos e produção de bens. Já os agentes do tipo "Pessoa" possuem atributos como "riqueza", "conhecimento" e "capital social", que influenciam suas decisões de consumo e participação na governança. Essa representação explícita da heterogeneidade contrasta com modelos agregados, que frequentemente assumem homogeneidade ou representam a diversidade através de médias, obscurecendo as dinâmicas de poder e as desigualdades.

Além da heterogeneidade, a ABM permite modelar a tomada de decisão dos agentes de forma mais realista do que modelos baseados em racionalidade perfeita (Simon, 1957). Os agentes podem ter racionalidade limitada, ou seja, tomar decisões com base em informações incompletas, heurísticas simplificadas e vieses cognitivos (Kahneman; Tversky, 1979). Podem também ser influenciados por normas sociais, emoções e interações com outros agentes (Elster, 1989). No presente modelo, as decisões dos agentes são influenciadas por fatores como satisfação, confiança, diversidade e pressão sobre os recursos, permitindo explorar como esses fatores afetam a cooperação, o conflito e a sustentabilidade de bens comuns.

Além disso, a ABM também permite que a tomada de decisão dos agentes seja modelada mais realisticamente do que em modelos de racionalidade perfeita (Simon, 1957). Os agentes podem ter racionalidade limitada, o que implica que podem tomar decisões com base em informações incompletas ou imperfeitas, heurísticas simplificadas. Podem também ser sensíveis a normas sociais e outras restrições normativas, além de vieses cognitivos de julgamento e pela interação com outros agentes (Elster, 1989; Kahneman; Tversky, 1979).

No modelo proposto, as decisões dos agentes são influenciadas por preditores de satisfação, confiança, diversidade e pressão sobre os recursos entre outros, com o objetivo de explorar de forma inovadora como o suporte advindo desses preditores promove a cooperação e afeta a qualidade na tomada de decisões e a sustentabilidade de bens comuns em geral. Os agentes não interagem de forma aleatória, mas sim através de redes de interações sociais, políticas ou econômicas, que moldam o fluxo de informações, recursos, influência, conhecimento e poder entre outros. No modelo, um grafo de pequeno mundo “*small-world* em inglês” foi utilizado para representar as redes de interações entre os agentes como forma de capturar a existência de conexões locais e suas relações, característico de muitos sistemas sociais reais, pois possibilita a difusão de informações, a formação de coalizões e a emergência de aderência a normas sociais e institucionais. Além da emergência de padrões macroscópicos como a qualidade das decisões e o grau de assimetria de poder que não são predeterminados a priori (Newman, 2010; Watts; Strogatz, 1998).

Inicialmente, a plataforma NetLogo (Wilensky, 1999) foi considerada para a Modelagem Baseada em Agentes (ABM) por sua interface gráfica intuitiva e ampla adoção em pesquisas. Contudo, visando maior flexibilidade, controle e escalabilidade

na modelagem de sistemas complexos, optou-se pela biblioteca Mesa, pela linguagem Python e pelo uso de outras bibliotecas especializadas.

A biblioteca Mesa foi escolhida para a componente do ABM, porque essa foi desenvolvida “com ênfase na facilidade de uso e na extensibilidade, através de componentes modulares que podem ser combinados e personalizados”⁴ (Kazil et al. 2020, p. 2), permitindo a criação de agentes com comportamentos complexos.

Como são necessárias redes para representar interações em redes sociais dinâmicas, para essa modelagem empregou-se a biblioteca NetworkX (Hagberg et al., 2008), que disponibiliza um conjunto robusto de algoritmos para a criação, manipulação e estudo de grafos. Agora para operações numéricas e matriciais, necessárias para se implementar as equações que regem o comportamento dos agentes, foi utilizada a biblioteca NumPy (Harris et al., 2020). E para a visualização dos resultados, tanto durante a execução do modelo quanto na fase de análise, contou com o suporte das bibliotecas Matplotlib e Seaborn (Waskom et al., 2021).

A escolha do Python fundamenta-se em sua sintaxe clara, ampla utilização na comunidade científica, natureza de código livre e excelente integração com ferramentas de análise de dados e aprendizado de máquina, o que viabiliza futuras extensões do modelo. Dessa forma, a combinação de Python, Mesa, NetworkX, NumPy, Matplotlib e Seaborn oferece um ambiente de desenvolvimento flexível, eficiente e escalável, apto a sustentar a construção de modelos ABM mais sofisticados e adaptáveis às necessidades da pesquisa e sua extensão e progressão.

Em suma, a ABM disponibiliza um rico arcabouço metodológico para representar e simular a complexidade e a heterogeneidade dos sistemas socioecológicos aqui apresentados, possibilitando a avaliação do efeito e impacto de políticas e de estratégias de governança na qualidade de tomada de decisão, nas assimetrias de poder e na sustentabilidade. Além dos mecanismos de *retroalimentação* entre estruturas de governança (regras do jogo) e assimetrias de poder (atributos e comportamentos dos jogadores), algo difícil de capturar com métodos estáticos.

Neste sentido, o modelo proposto no presente capítulo não se propõe a representar o ambiente com grande acuidade, ou seja, um retrato exato, mas a

⁴ tradução nossa

instrumentar uma relação heurística das influências e das relações causais entre estruturas de governança, comportamento dos agentes contribuindo para a decisão em contextos de alta complexidade e incerteza. Este modelo opera a partir de um fluxo lógico, ou seja, uma sequência de etapas que abrangem a atualização do ambiente, as decisões estratégicas dos agentes, as interações condicionadas, a atualização de variáveis como influência, poder e satisfação, a verificação de transição de governança e a coleta de dados será apresentado na próxima seção.

6.2 O MODELO

O modelo computacional de governança de bens comuns proposto integra fatores sociais, econômicos e ambientais de modo a contemplar o surgimento e a evolução de relações de poder e a adaptação de populações heterogêneas ao longo do tempo e está baseado em teorias dos bens comuns (Hardin, 1968; Ostrom, 1990), da sociologia do capital e influência (Bourdieu, 1986; Coleman, 1990) e de sistemas complexos (Watts; Strogatz, 1998; Barabási, 2016; Gilbert; Troitzsch, 2005).

O primeiro elemento deste modelo são os agentes envolvidos nos sistemas socioeconômico e ambiental e são aqui, por simplicidade, representados por pessoas (P), empresas (E), governo (G), organizações não governamentais (ONGs) e técnicos/especialistas (T).

As Pessoas (P) correspondem aos indivíduos das comunidades e possuem atributos como riqueza, conhecimento, capital social e satisfação. Suas decisões englobam, sem se limitar, ao consumo de bens e a participação em processos decisórios. As Empresas (E) representam as entidades econômicas responsáveis pela extração de recursos naturais e produção de bens e, assim como as pessoas possuem riqueza, poder, influência. O Governo (G), por sua vez, é dotado de atributos similares – tais como riqueza, poder e influência –, é exerce funções relacionadas à arrecadação de impostos, redistribuição de recursos e investimento em bens públicos.

Complementando esse conjunto, tem-se que as Organizações Não Governamentais (ONGs) representam parte da sociedade civil organizada e está focada na promoção da sustentabilidade, e na defesa dos interesses coletivos, e com ênfase em atributos como influência e capital social. Por fim, os Técnicos/Especialistas (T) são os maiores detentores de conhecimento e atuam como consultores e influenciadores dos demais agentes. Eles contribuem com seu

conhecimento especializado para o aprimoramento de práticas e políticas no modelo. Dessa forma, a diversidade de agentes e seus papéis inter-relacionados estabelecem a base para a dinâmica complexa do modelo, refletindo as múltiplas facetas das interações presentes em contextos de governança de bens comuns.

Nesse mesmo pilar, tem-se o aspecto da variação populacional, o qual acomoda desde pequenos grupos com dez indivíduos até agrupamentos com duzentos ou mais membros. Por exemplo, cenários com poucas dezenas de participantes aproximam-se da dinâmica de comunidades ribeirinhas ou aldeias remotas, nas quais a coesão e a reciprocidade são intensas (IBGE, 2020) e são parametrizados com poucos agentes no modelo, abaixo de 20 agentes. Agora, grupos maiores, na escala das centenas de indivíduos, aproximam-se de parâmetros de regiões metropolitanas ou espaços rurais extensos e introduzem heterogeneidades culturais e socioeconômicas significativas (Acemoglu; Robinson, 2012), parametrizados com mais de 70 agentes. Podendo com isso, a modelagem de estratificações e elites políticas ou econômicas, pois quanto maior o número de agentes, maior a propensão à formação de coalizões, disparidades materiais e sociais (Ostrom, 1990; Hardin, 1968). Assim a escolha de 100 agentes no modelo constitui um ponto de equilíbrio entre heterogeneidade e viabilidade computacional (Gilbert; Troitzsch, 2005).

Esses atores têm comportamento que evoluem ao longo de **horizontes temporais** que podem variar de um único ano — útil para analisar situações econômicas ou ecológicas abruptas — até décadas, o que acomoda processos de mudança mais profundos. Essa amplitude temporal permite acomodar tanto ajustes de curto prazo, como a realocação emergencial de recursos em cenários de desastres, quanto fenômenos de mais longo prazo, incluindo acumulação de capital, avanço tecnológico e redefinições institucionais graduais, sendo este o foco deste estudo. Ela permite ir além dos ajustes de curto prazo para capturar fenômenos de mudança mais lenta e profunda, como a acumulação (ou desconcentração) de poder, a evolução de desigualdades, a degradação (ou recuperação) do bem comum hídrico, e, fundamentalmente, os processos de mudança institucional e reconfiguração das relações de poder, que são o foco central deste estudo (World Bank, 2021; IPCC, 2022).

A possibilidade de simular processos ao longo de décadas busca superar uma limitação frequentemente apontada nas análises políticas e de planejamento

convencionais: sua tendência a operar com horizontes curtos, alinhados a ciclos eleitorais ou mandatos administrativos, usualmente de 4 anos (Políticas Públicas e Planejamento Estratégico, 2019). Essa visão de curto prazo é particularmente inadequada para compreender e governar transições para a sustentabilidade, as quais, conforme argumenta a Economia Institucional (North, 1990; Hodgson, 2004), envolvem a lenta modificação de regras formais, normas informais e hábitos de pensamento arraigados, processos estes sujeitos a inércia, dependência de trajetória (*path dependency*) e resistência de interesses estabelecidos (Veblen, 1899).

A reconfiguração de assimetrias de poder é um processo que tende a se desdobrar em escalas temporais mais longas. Embora se reconheça que a história registra períodos de transformações aceleradas (muitas vezes ligadas a crises ou choques externos), a dinâmica endógena de transformação institucional e mitigação de assimetrias de poder visada pela estrutura proposta (Cap. 4) provavelmente requereria tempo considerável para se manifestar plenamente. Portanto, ao adotar um horizonte de simulação de 50 anos, o modelo visa oferecer um laboratório virtual para explorar, ainda que de forma simplificada, essas dinâmicas institucionais e de assimetrias de poder de médio e longo prazo, essenciais para avaliar o potencial e os desafios da jornada coletiva rumo à sustentabilidade, cientes de que mesmo este período pode não capturar a totalidade dos ciclos de longo prazo, representando um caminho para pesquisas futuras.

O modelo está centrado no arranjo institucional, ou seja, na governança em sentido amplo. Este é o meio através do qual as preferências e os comportamentos dos indivíduos se conectam com a tomada de decisão. O modelo parte de uma configuração de “Governança tradicional” – consiste numa estrutura institucional que mostra sinais de gestão formal, mas revelando ao mesmo tempo as características e restrições frequentemente encontradas em sistemas onde as disparidades de poder e resistência institucional prevalecem – com fragmentação institucional; eficiência reduzida dos mecanismos participativos (que tendem para o simbólico); suscetibilidade à captura por interesses estabelecidos; e desafios na promoção da redistribuição e equidade, usado para simular o *status quo*, todavia possibilita a escolha de outras estruturas, assim como a transição gradual para essas outras estruturas, o que representa reformas institucionais incrementais, como as que ocorrem nas democracias estabelecidas, onde as taxas anuais modestas, da ordem de 1%. Em contraste, também pode ser colocados saltos de 50% ou mais, indicam

mudanças catastróficas e colapso das estruturas existentes, um fenômeno mais generalizado em situações autoritárias ou pós-revolucionárias. Em suma, a modelagem permite incluir evoluções lentas e transformações radicais nos mesmos fundamentos, refletindo a diversidade das realidades institucionais e históricas.

O modelo possui um **indicador de desigualdade**, frequentemente inspirado em métricas como o coeficiente de Gini (Aceves et al., 2022; IPEA, 2020), supõe-se também que o **poder** não seja meramente dado, como líderes precisando sustentar redes de apoio, combater opositores e manter relacionamentos que se convertem em influência simbólica, de acordo com Bourdieu (1986). Dessa forma, se o custo de manutenção do poder for muito baixo, elites se perpetuam; se for elevado, ocorre rotatividade, e grupos antes minoritários podem ascender (Coleman, 1990).

Dentro da **dimensão ambiental**, existem diversos parâmetros interrelacionados como **nível inicial de recursos**, **inicialmente** fixado no modelo em 60%, o que indica que já existe alguma exploração, mas não em estágio avançado ou de colapso e vai sendo atualizado conforme processos de exploração ambiental. A **taxa de regeneração anual**, estabelecida no modelo em 3%, para reproduzir capacidades típicas de recuperação passiva em ecossistemas sob pressão (Ostrom, 1990; Hardin, 1968). Tem-se a **capacidade de carga** que representa a fração máxima de extração sustentável que no modelo foi estabelecida em 5%, ao ultrapassar esse limite, o uso se torna predatório e a **taxa de degradação** que traduz a intensidade dos danos ambientais quando há sobre uso (Folke et al., 2005). Assim, qualquer degradação adicional pode desencadear efeitos que podem desencadear colapsos irreversíveis em ecossistemas fragilizados. Tal configuração permite modelar desde bosques tropicais com certa resiliência até áreas mineradas ou litorais altamente sensíveis a variações antrópicas (IBGE, 2015; Folke et al., 2005).

Para mitigar práticas insustentáveis, introduz-se um **fator de penalidade** que representa custos legais, sociais ou reputacionais de extrair além do permitido (Hardin, 1968). Em contrapartida, há a **taxa de recuperação natural** que reflete a lentidão com que ecossistemas danificados podem se restaurar sem intervenção humana (Folke et al., 2005). Estabelecer essas variáveis de forma coerente com dados empíricos (IBGE, 2015) confere ao modelo um mapeamento aproximado de cenários ecológicos — como bacias hidrográficas ameaçadas por mineração, restingas degradadas pelo turismo de massa e, ainda, florestas em regeneração parcial.

O **componente econômico**, para esse foram utilizados a perspectiva da Economia Ecológica, no qual ele está condicionado pelos limites biofísicos do sistema e pelas instituições sociais, e não apenas regido pelas dinâmicas de mercado entre oferta e demanda (Georgescu-Roegen, 1971; Daly, 1996) e uma dinâmica de **preço de mercado** e nas interações entre oferta e demanda (Arrow; Debreu, 1954; Banco Central, 2020; IBGE, 2020). Isso porque, os agentes ao aumentarem a produção, fazem com que o mercado fique saturado, logo o preço cai e a extração além do sustentável torna-se menos lucrativo. Em oposição, e situações de catástrofes ambientais ou crises logísticas ao cercear a oferta, deslocam os preços para cima e incentivam a extração, ainda que isso amplie a degradação ambiental. A qual deve ser complementada pela dinâmica de retroalimentação que conecta a racionalidade econômica imediata com as consequências de longo prazo no ecossistema (Ostrom, 1990).

No modelo podem ter interações em redes como “pequeno mundo” (Watts; Strogatz, 1998), a qual apresenta uma malha em que cada agente possui conexões fortes com uns poucos vizinhos, mas não está totalmente isolado de contatos distantes. Esse tipo de rede favorece a difusão de práticas de cooperação, protestos como os de demandas ambientais, contudo, ao mesmo tempo pode facilitar a expansão de comportamentos oportunistas (Barabási, 2016). Também podem ser representadas estruturas mais centralizadas como a “barabasi”, na qual corporações ou políticos podem monopolizar informação, limitando a concorrência e manipulando as dinâmicas de governança (Acemoglu; Robinson, 2012). Essa plasticidade topológica do modelo permite simular desde comunidades coesas em regiões rurais a redes urbanas complexas, com influenciadores e empresas de grande porte atuando como nós centrais.

O modelo simula também o **engajamento na governança**, ou melhor a probabilidade de participação do agente, o qual é calculado através da combinação linear de elementos como confiança, capital social, a diversidade, a pressão causada pela escassez. A escolha de tais parâmetros tem origem na literatura sobre comportamento coletivo (Coleman, 1990; Bowles; Gintis, 2011). Por exemplo, em sociedades de alta confiança e capital social sólido, a probabilidade de mobilizações conjuntas aumenta; todavia, cenários com excesso de heterogeneidade e baixa confiança tendem à fragmentação e levam fóruns decisórios a desagregação (Hardin, 1968). É preciso também ressaltar o papel dos valores simbólicos e sociais na

habilidade do indivíduo de influenciar a coletividade, como colocado por Bourdieu (1986). Na mesma linha, a economia institucional original (Veblen, 1899; Commons, 1934), enfatiza que normas, valores e instituições moldam comportamento socioeconômico e as relações de poder e influência entre os atores ao longo do tempo em um processo que se retroalimenta adaptando as regras e instituições ao longo do tempo.

O poder resulta de um equilíbrio (ou desequilíbrio) entre capital econômico, influência simbólica, capital social e o grau de conectividade em rede. Calculado a partir de relações que se modificam a partir de incrementos nas variáveis ou parâmetros como influência de agentes que efetivamente participam dos processos de decisão (Fung, 2006). Cabe ressaltar que em sociedades muito desiguais, a riqueza tende a dominar; em sociedades participativas, a coesão social e a legitimidade podem suplantam a diferença material.

No que se refere a **políticas de redistribuição**, o modelo possui um coeficiente de redistribuição, para que políticas de intervenções possam ser executadas e avaliadas, logo remetendo às discussões sobre liberalismo x intervencionismo (IPEA, 2020; North, 1990). Em resumo, quando em níveis baixos ($< 0,1$), há pouca transferência, fortalecendo possíveis oligarquias, ao passo que valores mais altos ($> 0,3$) podem assemelhar-se a Estados de bem-estar social, reduzindo desigualdades, ainda que potencialmente desencorajando certos agentes econômicos mais sensíveis à tributação. Complementarmente, a efetividade dessas políticas depende da coesão institucional, pois o desvio de recursos ou a captura regulatória por elites (Acemoglu; Robinson, 2012) podem anular as pretensões redistributivos.

Por fim, **agentes empresariais** apresentam níveis de **eficiência e inovação**, o que influencia sua capacidade de converter recursos ambientais em bens de alto valor agregado (IPEA, 2019; BNDES, 2021).

Esses parâmetros, em conjunto, compõem a “espinha dorsal” do modelo de simulação de governança, articulando fatores micro – decisões individuais, percepção de confiança, participação efetiva – com processos macro—acumulação de poder, evolução de desigualdades, degradação do ambiente, flutuações de preços. A calibração se ampara em dados empíricos (IBGE, 2020; Banco Central, 2020), teorias clássicas sobre bens comuns e governança (Hardin, 1968; Ostrom, 1990; Polanyi, 1944) e simplificações computacionais inspiradas em sistemas complexos (Watts;

Strogatz, 1998; Barabási, 2016; Gilbert; Troitzsch, 2005). Elementos que somados à retroalimentação inerentes a esse tipo de simulação, conferem ao modelo a capacidade de investigar, em diferentes níveis de detalhe, se as políticas adotadas—como subsídios, taxações, mudanças institucionais ou incentivo à inovação—podem conduzir a cenários com melhor qualidade decisória, de uso sustentável de recursos entre outros ou, ao contrário, aprofundar a polarização econômica e o esgotamento ambiental.

Nesse sentido, o modelo procura ser um laboratório virtual no qual é possível “estressar” parâmetros para observar como sistemas se reorganizam e checar se há outra situação de equilíbrio ou se colapsarão, refletindo não apenas as interdependências entre sociedade, economia e natureza, como também as condições iniciais que possibilitam uma ampliação ou mitigação, condições limite ou desastres e, do outro lado, condições que podem trazer melhorias em processos decisórios ou na sustentabilidade. Espera-se a densidade e a profundidade do modelo – com seus inúmeros parâmetros e referências teóricas – converta-se em uma ferramenta apta a analisar desde microdinâmicas de cooperação até macro dinâmicas de poder e sustentabilidade de longo prazo. Ao centrar-se no modo como decisões individuais, moldadas por fatores simbólicos, materiais e institucionais, repercutem no uso do ambiente e na legitimação ou contestação de estruturas de poder, o arcabouço computacional amplia a fronteira de compreensão sobre sistemas socioecológicos. E, ao mesmo tempo, fornece subsídios empíricos e teóricos para a formulação de políticas que aspirem equilibrar produção, inclusão social e conservação ambiental—condição cada vez mais urgente para o futuro das sociedades humanas.

Em seguida, serão detalhadas as principais equações que compõem o modelo com o objetivo de oferecer uma descrição mais precisa dos mecanismos operacionais que regem as interações entre os agentes, o ambiente e as estruturas institucionais e suas implicações para tomada de decisão e sustentabilidade.

6.2.1 Probabilidade de Participação na Governança

A participação dos agentes nos processos decisórios é central na dinâmica da governança para a sustentabilidade. A decisão de um agente i de participar ou não da governança em um dado momento t é modelada como um processo estocástico, utilizando uma função logística. Essa abordagem é amplamente utilizada na

modelagem de decisões binárias, e sua adequação é justificada por sua capacidade de representar a influência de múltiplos fatores na probabilidade de um evento ocorrer (Cramer, 2002; Ajzen, 1991).

A probabilidade $P_i(t)$ do agente i participar no tempo t é dada por:

$$P_i(t) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha_{\text{logit}} \cdot \theta_i(t)}} \quad (1)$$

Onde:

- $-\alpha_{\text{logit}}$: é o fator de inclinação da função logística. Este parâmetro controla a sensibilidade da probabilidade de participação em relação à variação dos determinantes de participação. Um valor maior de α_{logit} implica que pequenas mudanças $\theta_i(t)$ resultam em grandes variações na probabilidade de participação.
- $\theta_i(t)$: representa a pontuação que agrega os determinantes da participação do agente i no tempo t . Este termo é uma combinação linear de diversos fatores que influenciam a decisão do agente de participar, ponderados por seus respectivos coeficientes.

A pontuação $\theta_i(t)$ é calculada como uma combinação linear de diversos fatores que influenciam a decisão de participar, ponderados pelos seus respectivos coeficientes. Esta abordagem permite que a probabilidade de participação seja influenciada tanto por fatores individuais (como influência, capital social e confiança) quanto por fatores contextuais (como a pressão sobre os recursos e a diversidade do ambiente).

$$\theta_i(t) = \beta_0 + \beta_1 \frac{A_i(t)}{A(t)} A_i(t) + \beta_2 S_i(t) + \beta_3 \tau_i(t) \cdot 0.5 + \beta_4 \rho_i(t) + \beta_5 D_i(t) - C_i(t) + \varepsilon_i(t) \quad (2)$$

Onde:

- β_0 : é a constante de intercepto da equação, representando a propensão básica à participação, independente dos demais fatores.
- $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$: são os coeficientes que ponderam a influência de cada variável (atitudes, normas, controle percebido) na intenção de participar de uma ação (Ajzen, 1991).

- $A_i(t)$: representa a influência do agente i no tempo t . Agentes com maior influência podem ter maior propensão a participar, buscando influenciar as decisões, modelado conforme Equação 3.
- $\bar{A}(t)$: represente a influência média de todos os agentes no tempo t .
- $S_i(t)$: representa o capital social do agente i no tempo t . Um maior capital social pode aumentar a probabilidade de participação, devido a redes de relacionamento e confiança, modelado conforme Equação (8).
- $\tau_i(t)$: representa o nível de confiança do agente i no tempo t . A confiança nas instituições e nos outros agentes pode incentivar a participação, modelado conforme Equação 12.
- $\rho_i(t)$: representa a pressão sobre os recursos percebida pelo agente i no tempo t . Uma maior pressão pode motivar a participação, buscando garantir o acesso aos recursos, modelado com Equação 14.
- $D_i(t)$: representa o índice de diversidade do agente i no tempo t . A diversidade de opiniões e perspectivas pode influenciar a decisão de participar, modelado conforme Equação 10.
- $C_i(t)$: Custo de tempo do agente i , proporcional à raiz quadrada da riqueza $W_i(t)$, onde agentes mais ricos e empresas possuem custos maiores.
- $\varepsilon_i(t)$: é um termo de erro aleatório, que introduz variabilidade no comportamento dos agentes. Este termo é distribuído uniformemente no intervalo $[-0.1, 0.1]$, representando a influência de fatores não modelados explicitamente.

6.2.2 Dinâmica da Influência

A influência $A_i(t)$ de um agente i é uma variável dinâmica que evolui ao longo do tempo, refletindo sua capacidade de afetar as decisões dos demais agentes e a trajetória do sistema de governança. A dinâmica da influência é modelada por uma equação diferencial estocástica, que captura a interação entre a influência atual do agente, seu valor alvo de influência, intervenções políticas, ajustes decisórios e um componente aleatório, inspirada em Burt (2005a) e Acemoglu e Robinson (2012).

$$A_i(t + \Delta t) = A_i(t) + [\alpha_i \cdot (f_i(t) - A_i(t)) + u_i(t) + g(Q_m(t), A_i(t))] \cdot \Delta t + \sigma_i \sqrt{\Delta t} \cdot \xi_i(t) \quad (3)$$

Onde:

- Δt : representa o incremento de tempo.
- α_i : é a taxa de ajuste do poder de influência do agente i . Este parâmetro controla a velocidade com que a influência do agente se aproxima do seu valor alvo.
- $f_i(t)$: é o valor alvo da influência do agente i no tempo t . Este valor é determinado por uma combinação linear de fatores como a probabilidade de participação, os recursos do agente, seu conhecimento e sua conectividade na rede, modelado conforme Equação 4.
- $u_i(t)$: representa intervenções políticas que visam reduzir assimetrias de poder. Estas intervenções podem ser implementadas para promover uma distribuição mais equitativa de poder no sistema, modelado conforme Equação (5).
- $g(Q_m(t), I_i(t))$: é um ajuste decisório baseado na qualidade média da decisão $Q_m(t)$ e na influência individual $A_i(t)$. Este termo modela a influência da qualidade das decisões na dinâmica do poder.
- σ_i : representa a intensidade do ruído estocástico na dinâmica da influência do agente i .
- $\xi_i(t)$: é uma variável aleatória com distribuição normal padrão (média 0 e desvio padrão 1). O termo estocástico $\sigma_i \sqrt{\Delta t} \cdot \xi_i(t)$ introduz flutuações aleatórias na dinâmica da influência, representando eventos imprevistos ou a imprevisibilidade do comportamento humano.

Valor alvo da influência

O valor alvo da influência $f_i(t)$ é calculado como uma combinação linear de diversos fatores que podem contribuir para o poder de influência de um agente, como sua probabilidade de participação, seus recursos, seu conhecimento e sua conectividade na rede social.

$$f_i(t) = \lambda_1 P_i(t) + \lambda_2 W_i(t) + \lambda_3 K_i(t) + \lambda_4 D_i(t) \quad (4)$$

Onde:

- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$: são pesos que refletem a importância relativa de cada fator na determinação do valor alvo da influência (Acemoglu; Robinson, 2012).

- $P_i(t)$: é a probabilidade de participação do agente i no tempo t , conforme definida na Equação 1.
- $W_i(t)$: representa a riqueza do agente i no tempo t .
- $K_i(t)$: representa o conhecimento do agente i no tempo t , modelado conforme Equação 10.
- $D_i(t)$: representa a conectividade do agente i no tempo t , modelado conforme Equação 15.

Intervenção

A intervenção $u_i(t)$ é modelada como uma função que visa reduzir as assimetrias de poder no sistema. Esta intervenção é proporcional à diferença entre a influência média do sistema e a influência individual do agente, ponderada por um fator de intensidade (Rawls, 1971), ou seja, ações externas que podem interferir na influência do agente, como políticas de governança ou intervenções específicas para mitigar desigualdades.

$$u_i(t) = \sigma_r (A_{\text{média}}(t) - A_i(t)) \quad (5)$$

Onde

- σ_r : representa a intensidade da política de redistribuição de poder. Este parâmetro controla a força da intervenção política.
- $A_{\text{média}}(t)$: representa a influência média de todos os agentes no tempo t .
- $A_i(t)$: representa influência atual do agente i no tempo t .

O ajuste decisório $g(Q_m(t), A_i(t))$ é uma função que ajusta a influência do agente com base na qualidade média das decisões tomadas no sistema. Agentes com influência abaixo da qualidade média da decisão tendem a ter sua influência aumentada, enquanto agentes com influência acima da qualidade média tendem a ter sua influência reduzida.

$$g(Q_m, A_i(t)) = A_{i(t+\Delta t)} \leftarrow A_i(t + \Delta t) + \text{ajuste}_{\text{decisão}} \quad (6)$$

No qual:

$$\text{ajuste}_{\text{decisão}} = \begin{cases} \gamma(Q^-(t) - A_i(t)), & \text{se } A_i(t) < Q_m(t) \\ -\delta(A_i(t) - Q_m(t)), & \text{se } A_i(t) \geq Q_m(t) \end{cases} \quad (7)$$

- γ e γ : são parâmetros que controlam a magnitude do ajuste para aumentar ou reduzir a influência, respectivamente.
- $Q_m(t)$: representa a qualidade média da decisão no tempo t .
- $A_i(t)$: representa a influência atual do agente i no tempo t .

Caso a influência do agente esteja muito abaixo do nível de “qualidade decisória média”, ele será estimulado positivamente γ caso contrário, será “contido” – δ .

Índice de Diversidade do Agente $D_i(t)$

Índice de Diversidade do Agente $D_i(t)$ representar a heterogeneidade dos atributos dos vizinhos do agente i , ou uma variedade de perspectivas a que ele está exposto, modelado como o desvio padrão dos recursos dos vizinhos:

$$D_i(t) = std\{W_j(t) \mid j \in DiversidadeRiquezaVizinhos_i(t)\} \quad (16)$$

Onde:

- $D_i(t)$: Índice de Diversidade do Agente no tempo t .
- $DiversidadeRiquezaVizinhos_i(t)$: É o conjunto de vizinhos do agente i na rede social.
- $W_j(t)$: Nível de riqueza do agente j no tempo t .
- std : desvio padrão

6.2.3 Capital Social do Agente

O capital social $S_i(t)$ do agente i é modelado como uma variável dinâmica que evolui ao longo do tempo, influenciada pelas interações do agente com outros atores no sistema. A equação que governa a dinâmica do capital social considera um termo de decaimento e termos que representam o ganho de capital social através da conectividade, recursos, conhecimento e participação efetiva do agente (Putnam, 1993; Bourdieu, 1986), modelado como abaixo:

$$S_{i(t+\Delta t)} = S_i(t) \cdot (1 - \delta) + \phi_1 C_i(t) + \phi_2 W_i(t) + \phi_3 K_i(t) + \phi_4 N_i(t) \quad (8)$$

Onde:

- δ : representa a taxa de decaimento do capital social. Este parâmetro reflete a perda natural de capital social ao longo do tempo, devido à ausência de interações ou à mudança nas relações sociais. O decaimento reflete a noção de Bourdieu (1986) de que o capital social, sem práticas contínuas, tende a se esvaír.
- $C_{i(t)}$: conectividade do agente i no tempo t , medida pela quantidade de conexões na rede (por exemplo, grau de rede, ou número de interações) ecoa Putnam (1995), para quem capital social advém da densidade e qualidade das redes de interação cívica, modelado conforme Equação 9
- $W_i(t)$: recursos acumulados ou acessíveis pelo agente i no tempo t . (podem ser informações, influência entre outros).
- $K_{i(t)}$: conhecimento ou competências específicas do agente i no tempo t , modelado conforme Equação 10.
- $N_i(t)$: participação em atividades ou interações efetivas com outros agentes (ex.: reuniões ou trocas de informações).
- $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$: são pesos que refletem a relevância de cada componente na construção do capital social

A conectividade $C_{i(t)}$ do agente i em um instante t representa o grau de rede (ou número de conexões) desse agente dentro da estrutura social ou organizacional (p. ex.: número de vizinhos na rede) (Wasserman; Faust, 1994; Burt, 2005a).

$$C_{i(t)} = \text{degree}(i, t) \quad (9)$$

Onde:

- $\text{degree}(i, t)$: a quantidade de conexões(arestas) do agente na rede no tempo t .

Conhecimento

O conhecimento (ou capital de conhecimento) do agente i no tempo t , denotado por $K_i(t)$, evoluir em função de aprendizado, inovação ou troca de informações. E foi modelado como abaixo:

$$K_i(t + \Delta t) = K_i(t) + \beta_K [\text{Interacoes}(i, t) \times \text{QualInter}_i(t)] - \delta_K K_i(t) \quad (10)$$

Onde:

- β_K : é um coeficiente de ganho de conhecimento por interação. Este parâmetro representa a eficiência da aprendizagem através da interação com outros agentes.
- $\text{Interacoes}(i, t)$: representa o número (ou intensidade) das interações relevantes do agente i no intervalo de tempo $(t, t + \Delta t)$.
- $\text{QualInter}_i(t)$: é um indicador da efetividade ou abertura da troca de conhecimento do agente i no tempo t , ou seja, a qualidade da interação
- $\delta_K K_i(t)$: representa a taxa de depreciação do conhecimento do agente i ao longo do tempo, devido à obsolescência ou à falta de uso (Nooteboom, 2000).

Participação Efetiva $N_i(t)$

A participação efetiva $N_i(t)$ do agente i é uma medida do seu envolvimento em atividades de interação, como reuniões, votações e negociações. A participação efetiva é calculada como a soma ponderada das atividades em que o agente participa (reuniões, votações, negociações entre outros), modelado como a seguir:

$$N_i(t) = \sum E_i(t) w_e \quad (11)$$

Onde

- $E_i(t)$ é o conjunto de atividades do agente i ao longo do período
- w_e : é o peso atribuído a cada atividade e . Este peso reflete a importância ou o impacto da atividade na participação efetiva do agente. representa o peso ou relevância da e -ésima atividade (Fung, 2006).

Nível de Confiança

O nível de confiança $\tau_i(t)$ do agente i representa a sua percepção sobre a transparência e o acesso à informação no sistema de governança. Um maior nível de confiança pode aumentar a probabilidade de participação e a cooperação entre os agentes. O nível de confiança é modelado como uma função limitada entre 0 e 1, que depende de fatores como a influência, os recursos, a participação e o capital social do agente.

$$\tau_i(t) = \max(0, \min(1, \phi_1 A_i(t) + \phi_2 W_t(t) + \phi_3 P_i(t) + \phi_4 S_i(t))) \quad (12)$$

Onde:

- $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$: são pesos que permitem calibrar a relevância de cada fator (influência, recursos, participação e capital social) no nível de confiança do agente.
- $A_i(t)$: representa a influência do agente i no tempo t , conforme Equação 3.
- $W_t(t)$: representa a riqueza do agente i no tempo t .
- $P_i(t)$: é a probabilidade de participação do agente i no tempo t , conforme definida na Equação 1.
- $S_i(t)$: representa o capital social do agente i no tempo t , conforme definido na Equação (8).
- A função $\max(0, \min(0, \dots))$ garante que $T_{i\leftarrow(t\rightarrow)}$ fique restrita entre 0 e 1, interpretando a confiança como uma fração ou probabilidade (Innes; Booher, 2010).

6.2.4 Dinâmica dos Recursos Ambientais e Degradação

A dinâmica dos recursos ambientais é modelada por uma equação que integra a regeneração natural e a extração antrópica, refletindo a evolução temporal do estoque do recurso (R_t). Esse estoque, que abrange tanto a quantidade quanto a qualidade de bens comuns (como água, florestas e solos), resulta da interação entre a capacidade regenerativa do ecossistema e a intensidade das atividades extrativas humanas. Essa abordagem articula a teoria da tragédia dos comuns (Hardin, 1968) e os modelos de governança sustentável (Ostrom, 1990), evidenciando as tensões entre a resiliência ecológica e as pressões de exploração, e fornece subsídios para a análise dos impactos ambientais e das estratégias de conservação.

Nível de recursos ambientais.

$$R_{t(t+1)} = R_t(t) + r \cdot R_t(t) \left(1 - \frac{R_t}{K}\right) - E(T) \quad (13)$$

Onde:

- $R_t(t)$: é o nível de recursos ambientais no tempo t . Representa a quantidade ou qualidade disponível do recurso comum (água, floresta, solo entre outros).
- r : taxa de regeneração intrínseca do recurso que representa a velocidade com que o recurso se recupera naturalmente.
- K : é a capacidade de suporte do ambiente que representa o limite máximo de uso sustentável do recurso, ou seja, o valor máximo que o recurso pode atingir em equilíbrio sem intervenção externa. Em ecologia de populações, indica quão perto se está do limite natural de suporte (Odum, 1971).
- $E(T)$: é a extração anual agregada do recurso no tempo t , ou seja, representa a soma da extração realizada por todos os agentes (Hardin, 1968; Ostrom, 1990).

Degradação Ambiental

O termo “degradação ambiental” refere-se ao impactante desequilíbrio causado quando as atividades humanas excedem os limites naturais para regeneração dos ecossistemas (Seção 2,2)

$$\{Da\}_{t(t+1)} = Da_t(t) + \beta_{deg} \max(0, X_t - \psi) - \gamma_{rec} Da_t \quad (14)$$

Onde

- X_t : é o total extraído pelos agentes do ambiente no instante t .
- r : taxa de regeneração, que define a velocidade com que os recursos se recuperam ao longo do tempo.
- ψ : é o limiar abaixo do qual a extração não gera degradação adicional
- $\beta_{deg} = \beta_{degradação}$: é o parâmetro de degradação, que define a intensidade da degradação ambiental quando a extração ultrapassa o limiar ψ .
- $\gamma_{\{rec\}} = \gamma_{\{rec\}uperação}$: é a taxa de recuperação do ambiente.

Pressão Sobre Recursos

Pressão por Recursos $\rho_{i(t)}$ representa a pressão causada pela relação entre o consumo total de recursos ambientais dos agentes e a disponibilidade atual desses recursos no sistema

$$\rho_{i(t)} = \frac{C(t)}{R(t)} = \left(\frac{\text{Consumo ambiental agregado}}{\text{Nível de Recursos}} \right) = \sum_{i=1}^N \frac{C_i(t)}{R(t)} \quad (15)$$

Onde:

- $C_{i(t)}$: Consumo ambiental individual do agente i no tempo t .
- $C(t)$: Consumo ambiental agregado: soma de todos os consumos dos agentes no tempo t .
- $R(t)$: Nível de recursos naturais no tempo t , conforme Equação 13.

6.2.5 Qualidade da Decisão

A qualidade da decisão $Q_d(t)$ é um índice agregado que reflete a coordenação e a inclusão no processo decisório. Este índice é calculado como uma combinação linear ponderada de diversos fatores, como a assimetria de poder, a entropia da distribuição de poder, a influência média dos participantes, o fator de impacto ambiental e a taxa de participação.

$$Q_d(t) = [w_1 \cdot (1 - P_A(t)) + w_2 \cdot H(t) + w_3 \cdot A_m(t) + w_4 \cdot F_{amb}(t) + w_5 \cdot T_{part}(t) + w_6 \cdot (1 - G(t))] \cdot S_q(t) \quad (17)$$

Onde

- $P_A(t)$: é a assimetria de poder no tempo t .
- $H(t)$: Entropia *normalizada* da distribuição de poder no tempo t .
- $A_m(t)$: é a influência média dos agentes que participam da decisão no tempo t .
- $F_{\{amb\}}(t)$: é um fator que penaliza a decisão se houver um impacto ambiental excessivo no tempo t .
- $T_{\{part\}}(t)$: é a taxa média de participação no tempo t .
- $S_q(t)$: é a satisfação média no tempo t .
- $G(t)$: é índice de gini no tempo t , conforme Equação 26.
- $Q_d(t)$: índice de qualidade da decisão ou “score” de quão bem coordenada e inclusiva é a decisão a cada passo t

- w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 : Pesos que representam a relevância relativa de cada componente no cálculo.

Entropia *normalizada* $H(t)$ da distribuição de poder no tempo t . Varia entre 0 (poder totalmente concentrado em um agente) e 1 (poder uniformemente distribuído). Calculada segue:

$$H(t) = \frac{-\sum_{i=1}^n p_i \cdot \log_2(p_i)}{\log_2(n)} \quad (18)$$

Onde:

- p_i : Fração do poder total detida pelo agente i no tempo t
- n : Número total de agentes.

6.2.6 Satisfação

A satisfação de um agente i no instante t – $S_{qi}(t + \Delta t)$ – é entendida como um nível de bem-estar subjetivo que se ajusta continuamente à diferença entre o que o agente percebe como utilidade $U_i(t)$ e o seu grau de satisfação pré-existente $S_{qi}(t)$, incorporando também elementos aleatórios para capturar incertezas e variabilidades individuais (Kahneman; Tversky, 1979), definida como abaixo:

$$S_{qi}(t + \Delta t) = S_{qi}(t) + \alpha_S \cdot (U_i(t) - S_{qi}(t)) \cdot \Delta t + \sigma_{s1} \sqrt{\Delta t} \xi_{s1} + \sigma_{s2} \xi_{s2} \quad (19)$$

Onde:

- $S_{qi}(t + \Delta t)$: é a satisfação do agente i no tempo $t + \Delta t$.
- $S_{qi}(t)$: é a satisfação do agente i no tempo t .
- α_S : é a taxa de ajuste da satisfação. Este parâmetro controla a velocidade com que a satisfação do agente se aproxima da utilidade percebida.
- $U_{i(t)}$: é a utilidade do agente i no tempo t , e representar a satisfação ou bem-estar de um agente, conforme Equação 20.
- σ_{s1} : é a intensidade do termo estocástico relacionado ao tempo.
- σ_{s2} : é a intensidade do ruído estocástico.
- $\xi_{s1}, \xi_{s2} \sim N(0,1)$: são variáveis aleatórias com distribuição normal padrão.

- Introduz variações aleatórias na influência, simulando a imprevisibilidade do comportamento humano ou mudanças externas inesperadas.

Utilidade

A utilidade $U_i(t)$ do agente i no tempo t é uma medida clássica em economia, representando a satisfação ou o bem-estar do agente. No modelo, a utilidade é calculada como uma combinação linear ponderada dos ganhos econômicos, custos incorridos e desvantagens percebidas pelo agente (Mas-Colell et al., 1995).

$$U_i(t) = \phi_1 G_i(t) - \phi_2 Custos_i(t) - \phi_3 D_i(t) \quad (20)$$

No qual:

ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3 : são coeficientes de ponderação da utilidade. Estes coeficientes refletem a importância relativa de cada componente na utilidade total do agente.

$G_i(t)$: são os ganhos do agente i no tempo t .

$Custos_i(t)$: são os custos incorridos pelo agente i no tempo t para satisfação.

$D_i(t)$: são as desvantagens percebidas pelo agente i no tempo t .

No modelo, os ganhos econômicos $G_i(t)$ são uma combinação linear de fatores que contribuem positivamente para a utilidade do agente e são representados com abaixo:

$$G_i(t) = \vartheta_1 \cdot \sqrt{\max(0, W_i(t))} + \vartheta_2 \cdot Pow_i(t) + \vartheta_3 \cdot S_i(t) + \vartheta_4 \cdot K_i(T) + \vartheta_5 \cdot B_i(t) \quad (21)$$

Onde:

- $W_i(t)$: representa riqueza em termos de recursos (materiais, financeiros, naturais) do agente i .
- $Pow_i(t)$: Poder do agente i no tempo t (Equação 24).
- $S_i(t)$: representa o capital social do agente i no tempo t (Equação 8)
- $K_i(t)$: representa o conhecimento do agente i no tempo t , modelado conforme Equação (10).
- $B_i(t)$: é um bônus por participação, 1 se o agente participou e teve influência > 0.1 ; caso contrário, é 0.

- $\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \vartheta_4, \vartheta_5$ são pesos que definem quão importante é cada componente.

Desvantagens percebidas

No modelo, as desvantagens percebidas pelo agente $D_i(t)$ são uma combinação linear de fatores que contribuem negativamente para a utilidade do agente e são representados pela fórmula abaixo:

$$D_i(t) = o_1 \cdot (1 - R(t)) + o_2 \cdot \text{EnvDeg}(t) + o_3 \cdot \text{Gini}(t) \quad (22)$$

Onde:

- $R(t)$: Nível de recursos naturais no tempo t , conforme Equação 13.
- $\text{EnvDeg}(t)$: é o nível de degradação ambiental no tempo t .
- $\text{Gini}(t)$: é o coeficiente de Gini no tempo t , conforme Equação 26.
- o_1, o_2, o_3 : são pesos que representam a relevância relativa de cada componente.

6.2.7 Qualidade Estrutura de Governança

A qualidade da estrutura de governança $Q_g(t)$ é um índice sistêmico que agrega aspectos institucionais, como a concentração de poder, néveis transparência, a adaptabilidade e a participação efetiva. Este índice é calculado como uma combinação linear ponderada desses fatores (Acemoglu; Robinson, 2012), modelado como abaixo:

$$Q_g(t) = \alpha_1(1 - \text{ConcentracaoPoder}(t)) + \alpha_2 \text{Transparencia}(t) + \alpha_3 \text{Adaptabilidade}(t) + \alpha_4 \text{ParticipacaoEfetiva}(t) \quad (23)$$

Onde

- $\text{ConcentracaoPoder}(t)$: É o grau de concentração de poder no tempo t . utiliza o inverso do índice de assimetria de poder, calculada via Equação 25, de modo que uma menor concentração (maior igualdade de poder) contribui positivamente para a qualidade da governança.
- $\text{Transparencia}(t)$: é o grau de abertura das decisões e acesso a informações no tempo t , sendo aproximada pela média do nível de confiança calculada Equação 12 entre os agentes no sistema, servindo

como um proxy para a percepção coletiva de abertura e acesso à informação.

- Adaptabilidade: é a capacidade de mudança institucional no tempo t , calculada através da agregação de informações sobre o potencial de inovação e resposta a estímulos por parte dos agentes do sistema, servindo como uma aproximação (*proxy*) da flexibilidade e capacidade de aprendizado institucional geral (Folke et al., 2005).
- ParticipacaoEfetiva(t): grau de participação real nos processos decisórios, medida pela taxa média de participação dos agentes (a fração daqueles que decidiram participar, conforme a probabilidade da Equação 1, atuando como um *proxy* para o engajamento cívico geral no processo de governança (Fung, 2006).
- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$: são pesos que representam a relevância relativa de cada componente no cálculo da qualidade da estrutura de governança (Acemoglu; Robinson, 2012; Fung, 2006)

6.2.8 Dinâmicas de Poder

O poder $Pow_{\{Base\}i}$ de cada agente é uma variável que evolui anualmente, refletindo a combinação de sua influência, recursos financeiros, capital social e conectividade. A equação que governa a dinâmica do poder é uma combinação linear desses fatores, ponderados por seus respectivos coeficientes, com o cálculo sendo realizado com os agentes ordenados de forma crescente em relação ao poder base.

O poder $\{Pow\}_i$ de cada agente evolui anualmente de acordo com:

$$Pow_{\{Base\}i} = \lambda_1 A_i(t) + \lambda_2 W_i(t) + \lambda_3 S_i(t) + \lambda_4 C_i(t) \quad (24)$$

Onde:

- $A_i(t)$: representa a influência do agente i no tempo t (Equação 3)
- $W_i(t)$: representa os recursos (materiais, financeiros, naturais) do agente i .
- $S_i(t)$: representa o capital social do agente i no tempo t (Equação 8)
- $C_i(t)$: representa o grau de conectividade do agente i (Equação 9)
- $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ são pesos que definem quão importante é cada componente no poder base.

Assimetria de poder

A assimetria de poder $AP(t)$ é uma medida da desigualdade na distribuição de poder entre os agentes. No modelo, a assimetria de poder é calculada utilizando uma adaptação do índice de Gini (segue a seguir a explicação da adaptação realizada), que é amplamente utilizado para medir a desigualdade na distribuição de renda e é expressa da seguinte forma:

$$AP(t) = \max \left(0, \min \left(1, \frac{2 \sum_{i=1}^n (iPow_i)}{n \sum_{i=1}^n Pow_i} - \frac{n+1}{n} \right) \right) \quad (25)$$

Onde:

- Pow_i : é o poder do i -ésimo agente (agentes ordenados de forma crescente).
- n : é o número de agentes

Explicação da Adaptação:

A fórmula apresentada é uma variação da expressão clássica do Índice de Gini, que originalmente mede desigualdade na distribuição de renda. Sua adaptação para assimetria de poder segue a estrutura:

$$Gini = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |Pow_i - Pow_j|}{n^2 \overline{Pow}} \quad (26)$$

Onde:

- Pow_i : é o poder do i -ésimo agente (agentes ordenados de forma crescente).
- n : é o número de agentes.
- $\overline{Pow}$ é a média dos poderes.

A versão simplificada para cálculo computacional, usada em seu modelo, deriva da reordenação dos termos e da simplificação proposta por **Dorfman (1979)**:

$$G = \frac{2 \sum_{i=1}^n (iPoe_i)}{n \sum_{i=1}^n Pow_i} - \frac{n+1}{n} \quad (27)$$

Onde:

- Pow_i : é o poder do i -ésimo agente (agentes ordenados de forma crescente).
- n : é o número de agentes.

Essa abordagem é amplamente adotada em estudos computacionais para evitar complexidade quadrática $O(n^2)$.

Ao final desta seção, serão apresentados dois quadros: o QUADRO 6 – PARÂMETROS DE MODELAGEM, que sintetiza os parâmetros calibrados, suas faixas de valores e as respectivas justificativas teóricas e empíricas; e o QUADRO 7 – PARÂMETROS VS. ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA, que apresenta os parâmetros de modelagem para as diferentes estruturas de governança analisadas. Esses quadros, visam resumir o entendimento e facilitar a compreensão dos parâmetros subjacentes ao modelo, bem como a análise de sensibilidade e eventuais validações de análises. Elemento que permitindo uma visão integrada dos parâmetros que regem as interações entre agentes e seu ambiente.

QUADRO 6 – PARÂMETROS DE MODELAGEM

num_agents	Número total de agentes na simulação	[10 – 200]	100	Proxy de população total (IBGE, 2020)	Externo (escala populacional)	Representa a população em versão reduzida, conciliando heterogeneidade (mais agentes) e viabilidade computacional.
max_years	Duração máxima da simulação (anos)	[1 – 100]	50	Políticas públicas/simulações (IPEA, 2019).	Externo (horizonte de planejamento)	Abrange um período suficiente para observar ciclos e tendências de médio prazo.
estrutura_atual	Governança Atual (ex.: Tradicional, Rede etc.)	Quadro 5	"Governança Tradicional"	(Hardin, 1968; Ostrom, 1990)	Externo (cenário inicial)	Permite testar regimes (Tradicional, Hierárquico etc.) e seus impactos em desigualdade e sustentabilidade.
estrutura_destino	Governança Desejada	Quadro 5	"Participativa"	(Fung, 2006)	Externo (cenário-alvo)	Avalia cenários de transição para regime mais inclusivo, como Participativa, a fim de testar hipóteses de reforma.
start_transition	Ativa ou não a transição estrutural	{True, False} (Verdadeiro, Falso)	False	-	Externo (interruptor de cenário)	Modela cenários com/sem reforma. Se Verdadeiro, o modelo faz interpolação entre estrutura_atual e estrutura_destino ao longo do tempo.
transition_percent	Fração de adoção ao ano da nova governança	[0.0 – 1.0]	0.05	Ajuste de cenários (SARGENT, 2013)	Calibrado (~5%/ano)	Controla a velocidade de adoção do regime. 0.05 implica ~20 anos até a transição quase completa.
initial_resource_level	Nível inicial de recursos (escala [0..1])	[0.0 – 1.0]	0.60	IBGE / IPEA	Externo (relatórios ambientais)	Representa abundância inicial (ex. 60%). Em Mariana (caso de estudo), estudos apontavam estoques de recursos ambientais antes de fortes degradações.
resource_regeneration_rate	Taxa de regeneração anual dos recursos	[0.01 – 0.1]	0.02	(Hardin, 1968; Ostrom, 1990)	Externo + calibragem (1–3% ao ano)	Simula a taxa de recuperação ambiental passiva em áreas degradadas. 3%/ano é coerente com cenários de recuperação relativamente lenta.

carrying_capacity	Capacidade de carga do ambiente (0..1)	[0.01 – 1.0]	0.05	(Folke et al. 2005)	Calibrado (baixo p/ ecossistema frágil)	Limiar máximo de extração sustentável. Em Mariana, adotou-se 5% para enfatizar sobrecarga caso se ultrapasse esse limite.
initial_market_price	Preço inicial de mercado (escala monetária)	[0.5 – 2.0]	1.2	(Banco Central, 2020)	Externo (dados de commodities, ajustado)	Define referência econômica para os bens. Impacta receita de empresas e custos para consumidores no modelo.
network_type	Tipo de rede ("small_world", "parabasi_albert_graph" etc.)	-	"small_world"	(Watts; Strogatz, 1998; Barabási 2016)	Calibrado (topologia)	Gera laços com alto clustering e caminhos curtos, análogo a redes comunitárias locais.
beta0	Constante base na decisão de participação	[0.01 – 0.2]	0.08	(Ajzen, 1991; Bourdieu, 1986)	Calibrado (propensão inicial média)	Determina engajamento médio inicial dos agentes em governança, antes de fatores como influência e capital social.
beta1	Peso da influência individual na participação	[0.0 – 0.05]	0.02	(Bourdieu, 1986)	Calibrado (moderado)	Influência simbólica/política motiva participação, mas com peso controlado para não dominar as decisões.
beta2	Peso do capital social na participação	[0.0 – 0.03]	0.015	(Bourdieu, 1986; Coleman, 1990)	Calibrado (capital social => cooperação)	Quanto maior o capital social, maior tendência de engajamento.
beta3	Peso da confiança (trust_level)	[0.0 – 0.02]	0.005	(Coleman, 1990; Hardin, 1968)	Calibrado (efeito pequeno)	Confiança incrementa probabilidade de cooperar/participar. Mantido baixo para não se sobrepor a outros fatores.
beta4	Penalização pela pressão de recursos (valor negativo)	[-0.1 – -0.0]	-0.04	(Hardin, 1968; Ostrom. 1990)	Calibrado	Crises de recurso desestimulam participação. A escassez gera comportamento mais individualista e reduz engajamento coletivo.
beta5	Peso da diversidade (diversity_index)	[0.01 – 0.05]	0.03	(Bowles; Gintis, 2011)	Calibrado (efeito positivo moderado)	Heterogeneidade de perfis, ideias e conhecimentos amplia a qualidade do debate e a motivação para participar.

lambda1	Peso da influência (A_i) no poder base	[0.0 – 0.2]	0.025	(Acemoglu; Robinson, 2012; Bourdieu, 1986)	Calibrado	A legitimidade ou carisma do agente (influência simbólica) compõe o poder, juntamente a riqueza e outras variáveis.
lambda2	Peso dos recursos (naturais/financeiros) no poder base	[0.0 – 0.3]	0.1	Idem	Calibrado	Ter recursos reforça poder, mas não determina tudo — há também influência, capital social etc.
lambda3	Peso do capital social (S_i) no poder base	[0.0 – 0.3]	0.05	(Bourdieu, 1986)	Calibrado	Networking e conexões sociais contribuem para o poder político/econômico.
lambda4	Peso do grau (degree) no poder base	[0.0 – 0.3]	0.025	Teoria de Redes (Watts; Strogatz, 1998)	Calibrado	Número de laços do agente (conectividade) reforça seu poder, mas de modo moderado para evitar concentração excessiva.
alpha_I	Taxa de ajuste da influência	[0.0 – 0.1]	0.04	Parâmetro interno (dinâmica de influência)	Calibrado	Controla o quão rápido a influência de um agente cresce a cada passo, se sua satisfação excede 0.5.
sigma_I	Ruído estocástico e decaimento de influência	[0.0 – 0.02]	0.005	Idem	Calibrado	Introduz erosão natural e variação aleatória na influência, evitando estabilizações definitivas.
delta_I	Incremento de influência ao participar da governança	[0.0 – 0.2]	0.05	(Fung, 2006)	Calibrado	Cria “empoderamento” de quem se envolve efetivamente nas instâncias de decisão.
delta_t	Intervalo de tempo (passo/ano)	-	1.0	Implementação computacional	Externo (convenção de discretização)	Cada step equivale a 1 ano, facilitando aplicar taxas anuais (de influência, regeneração etc.).
phi1	Peso do grau (C_i) no capital social	[0.5 – 2.0]	0.9	(Bourdieu, 1986; Coleman, 1990)	Calibrado (moderado)	Conexões (nós na rede) ampliam o capital social do agente. 0.9 indica peso significativo, porém não dominante.
phi2	Peso dos recursos (R_i) no capital social	[0.5 – 2.0]	1.1	Idem	Calibrado	Possuir recursos auxilia no apoio a projetos e sustentação de parcerias, elevando o capital social.

phi3	Peso do conhecimento (K_i) no capital social	[0.5 – 2.0]	0.8	Idem	Calibrado	Agentes mais instruídos tornam-se mais confiáveis e bem relacionados.
phi4	Peso da participação (N_i) no capital social	[0.5 – 2.0]	1.2	Idem	Calibrado (valor alto)	Participar ativamente gera laços adicionais e aumenta o capital social de forma relevante.
decay_rate	Taxa de decaimento do capital social	[0.0 – 0.05]	0.015	Modelagem de sistemas sociais (Coleman, 1990)	Calibrado ($\approx 1.5\%/ano$)	Sem interação contínua, as redes e memórias sociais enfraquecem ao longo do tempo.
alpha	Retenção da influência ao longo do tempo	[0.95 – 0.9999]	0.995	Parâmetro interno Dinâmica de rede	Calibrado	Permite manter $\sim 99,5\%$ da influência a cada passo se não houver choques. Evita “reset” brusco e propicia evoluções lentas.
redistribution_fact or	Fator de redistribuição (tributária ou eq. de poder)	[0.0 – 0.2]	0.4	Análise de políticas públicas (Dietz; Ostrom; Stern, 2003)	Calibrado (valor elevado)	Intensidade das políticas de transferência. No código, foi explicitamente aumentado para 0.4, reforçando mecanismos de equalização.
alpha_S	Taxa de ajuste de satisfação	[0.05 – 0.2]	0.1	(Bowles; Gintis, 2011)	Calibrado	Controla a rapidez com que a satisfação do agente se realinha às novas condições (recursos, poder etc.).
sigma_S	Ruído e variação na satisfação	[0.01 – 0.1]	0.05	Idem	Calibrado	Há fatores exógenos não capturados diretamente pelo modelo, que causam oscilações de satisfação.
gamma	Impacto da satisfação na resistência à mudança	[0.05 – 0.3]	0.1	Teoria organizacional (Scott, 2003)	Calibrado	Quanto maior a satisfação, maior a inércia/menor incentivo a apoiar reformas. (Não está fortemente acionado no fluxo atual, mas seu potencial existe.)
sigma_rho	Variação no fator de resistência	[0.01 – 0.1]	0.05	Idem	Calibrado	Ruído estocástico na “resistência social”; cada agente pode reagir diferentemente a propostas de

							mudança. (Também pouco utilizado na rotina principal.)
alpha_P	Fator de poder/influência na extração de recursos	[0.05 – 0.3]	0.2	(Hardin, 1968; Ostrom. 1990)	Calibrado		Poder político/econômico possibilita extrair além da cota justa, estimulando a tragédia dos comuns se não houver controle institucional.
beta_degrad	Intensidade de degradação ambiental pelo uso excessivo	[0.1 – 1.0]	0.3	(Folke et al. 2005)	Calibrado		Acima do limite sustentável, a extração aumenta a degradação. Valor 0.3 gera incremento ambiental negativo moderado.
gamma_recover	Taxa de recuperação natural da degradação	[0.001 – 0.1]	0.01	Idem	Externo + Calibrado (lento)		Em cenários de poluição intensa, ~1%/ano de regeneração reflete recuperação ambiental tardia sem grandes intervenções.
phi_sensitivity	Sensibilidade da regeneração à degradação	[0.1 – 2.0]	1.0	Idem	Calibrado (linear)		Se >1, a degradação alta prejudica severamente a regeneração; em 1.0, a queda de regeneração é diretamente proporcional à degradação.
power_cost_factor	Custo de manutenção do poder (corrupção, lobby etc.)	[0.05 – 0.5]	0.6	(Acemoglu; Robinson ,2012)	Calibrado (valor elevado)		Agentes poderosos pagam (corrupção, influência) para manter poder. 0.6 intensifica a “erosão” de poder dominante.
resource_overuse_penalty	Penalidade se exceder muito a extração (tragédia dos comuns)	[0.1 – 0.5]	0.2	(Hardin ,1968)	Calibrado		Aplica sanções quando a extração excede o limite seguro, forçando um controle de práticas predatórias. (Ainda pouco acionado no código atual, mas previsto.)
inequality_threshold	Limiar do coeficiente de Gini para acionar redistribuição	[0.3 – 0.7]	0.7	(IPEA, 2020)	Externo (código = 0.7)		Quando o Gini ultrapassa 0.7, dispara políticas específicas de correção de desigualdades.

FONTE: O autor (2024).

QUADRO 7 – PARÂMETROS VS. ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA

Estrutura	Governança Tradicional	Hierárquica	Rede	Adaptativa	Participativa	Proposta
redistribution_factor	0.05	0.02	0.02	0.06	0.1	0.15
power_cost_factor	0.2	0.1	0.1	0.25	0.35	0.4
inequality_threshold	0.6	0.7	0.7	0.55	0.5	0.45
beta0	0.05	0.02	0.02	0.06	0.1	0.12
beta1	0.01	0.005	0.005	0.015	0.025	0.03
beta2	0.015	0.01	0.01	0.02	0.03	0.035
beta3	0.005	0.002	0.002	0.008	0.015	0.02
beta4	-0.01	-0.005	-0.005	-0.015	-0.025	-0.03
beta5	0.02	0.01	0.01	0.025	0.04	0.045
lambda1	0.025	0.01	0.01	0.03	0.05	0.06
lambda2	0.1	0.05	0.05	0.12	0.2	0.25
lambda3	0.05	0.02	0.02	0.06	0.1	0.12
lambda4	0.025	0.01	0.01	0.03	0.05	0.06
alpha_l	0.03	0.01	0.01	0.03	0.05	0.06
sigma_l	0.05	0.002	0.002	0.008	0.015	0.02
delta_l	0.07	0.02	0.02	0.06	0.1	0.15
phi1	0.9	0.7	0.7	1.0	1.3	1.4
phi2	1.1	0.9	0.9	1.2	1.4	1.5
phi3	0.8	0.6	0.6	0.9	1.1	1.2
phi4	1.2	1.0	1.0	1.3	1.5	1.6
decay_rate	0.015	0.01	0.01	0.018	0.025	0.03
alpha	0.995	0.99	0.99	0.992	0.985	0.98
alpha_S	0.1	0.08	0.08	0.12	0.18	0.2
sigma_S	0.05	0.03	0.03	0.06	0.08	0.09
gamma	0.1	0.08	0.08	0.12	0.18	0.2
sigma_rho	0.05	0.03	0.03	0.06	0.08	0.09

FONTE: O autor (2025).

6.3 DAS ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA

A parametrização das diferentes estruturas de governança, QUADRO 7 – PARÂMETROS VS. ESTRUTURAS DE GOVERNANÇA, foi cuidadosamente ajustada para reproduzir variações empíricas identificadas na literatura (Hardin, 1968; Ostrom, 1990) e corroboradas por dados oficiais (IPEA, 2020; IBGE, 2020). A escolha de regimes como Governança Tradicional, Hierárquica, em Rede, Adaptativa, Participativa e Proposta oferece um leque abrangente de cenários, permitindo que o modelo explore desde sistemas com baixa propensão a redistribuição e participação, até configurações que enfatizam fortes intervenções redistributivas e elevada participação coletiva. Por exemplo, na Governança Tradicional, a adoção de valores baixos para o fator de redistribuição (*redistribution_factor*) (0,05) e na decisão de participação base (*beta0*) de 0,05 que refletem uma menor predisposição à implementação de políticas redistributivas e à participação inicial dos agentes, enquanto um custo de manutenção de poder (*power_cost_factor*) de 0,2 sugere custos moderados para sua manutenção, favorecendo a consolidação de elites (Bourdieu, 1986). A presença de um limiar de desigualdade (*inequality_threshold*) de 0,6 indica uma tolerância relativamente alta à desigualdade antes que mecanismos redistributivos mais incisivos sejam acionados, e os coeficientes de influência (*lambda1*, *lambda2*, *lambda3* e *lambda4*) ajustados a valores intermediários evidenciam uma dinâmica de poder em que tanto os recursos materiais quanto a influência social exercem impactos moderados (Acemoglu; Robinson, 2012).

Em contraste, na Governança Hierárquica e em Rede, apresenta parâmetros como *redistribution_factor* (0,02) e *power_cost_factor* (0,1) sugerindo menores esforços redistributivos e uma maior centralização de poder, com um *inequality_threshold* de 0,7 que tolera concentrações mais elevadas de riqueza antes de acionar correções. Já na Governança Adaptativa, valores mais elevados de *redistribution_factor* (0,06) e *power_cost_factor* (0,25), aliados a um *inequality_threshold* de 0,55, denotam custos moderados para a manutenção do poder e menor tolerância às disparidades socioeconômicas, enquanto taxas de ajuste mais rápidas e ruídos moderados (por exemplo, $\alpha_I = 0,03$ e $\sigma_I = 0,008$) indicam dinâmicas de influência mais fluidas. No regime Participativo, o compromisso redistributivo se intensifica, com *redistribution_factor* de 0,1 e *power_cost_factor* de 0,35, acompanhado por uma alta propensão à participação ($\beta_0 = 0,1$) e pela

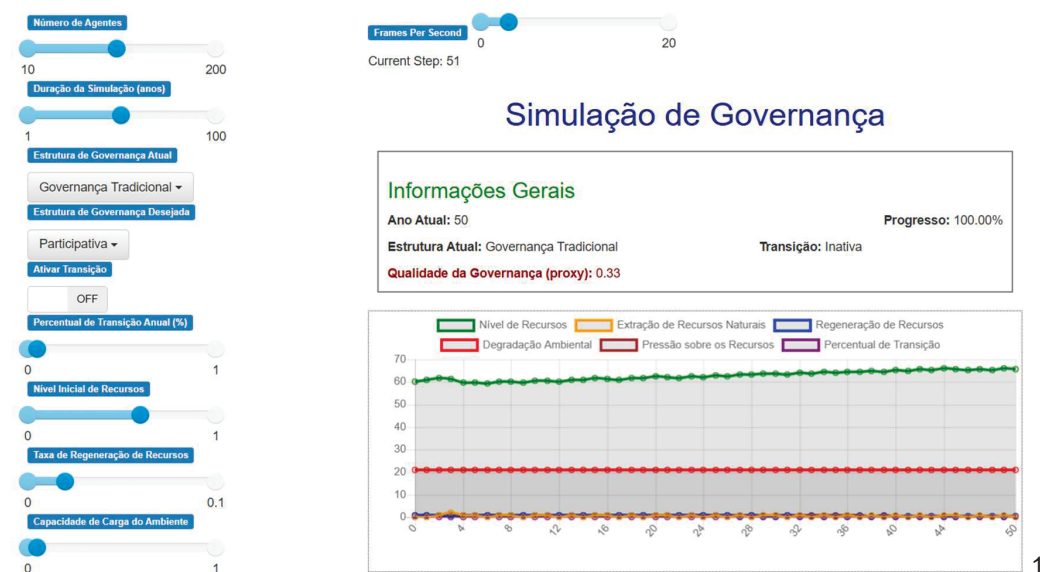
influência da pressão de recursos ($\beta_4 = -0,025$), o que pode, em contextos de escassez, inibir a colaboração. Por fim, a Governança Proposta, que adota valores ainda mais elevados para quase todos os parâmetros ($redistribution_factor = 0,15$; $power_cost_factor = 0,4$), reflete um cenário de reforma institucional mais acentuado, com baixa tolerância à concentração de riqueza ($inequality_threshold = 0,45$) e alta predisposição à participação coletiva ($\beta_0 = 0,12$), conforme apontam estudos sobre governança mais inclusiva (Fung, 2006; Bowles; Gintis, 2011) e a discussão nos Capítulos 4 e 5.

Ao incorporar esses parâmetros no modelo, cada instância exhibe comportamentos compatíveis com a estrutura institucional selecionada. Regimes como o Tradicional ou Hierárquico tendem a gerar cenários de maior centralização de poder e menor participação de base, enquanto arranjos Participativos ou a Proposta tendem a promover uma pulverização do poder, políticas redistributivas mais intensas e, conseqüentemente, maior volatilidade institucional (Innes; Booher, 2010), elementos que conjuntamente com outros parâmetros e configurações, fornecem a base para a análise individual e comparativa das diferentes estruturas de governança. Assim, nas próximas seções serão analisados com maior riqueza de detalhes os resultados do modelo de simulação construído para refletir características de diversos tipos de governanças, partindo do cenário base, que é uma estrutura de governança tradicional, que é caracterizada por grandes desigualdades socioeconômicas e uma tendência clara de centralização, para a avaliação dos mecanismos de tomada de decisão e da dinâmica de poder em cada um dos cenários de governança avaliados.

6.3.1 Modelo Base: Uma Análise da Governança Tradicional

Para essa seção e para as demais foram considerados 50 anos que usualmente é o tempo necessário para que mudanças estruturais aconteçam e 100 agentes representativos da população em um contexto regional. Os resultados apresentados a seguir não apenas validam o comportamento esperado de um cenário onde predomina uma governança centralizada, mas também evidenciam os pontos críticos que restringem a sustentabilidade e a equidade no sistema a longo prazo.

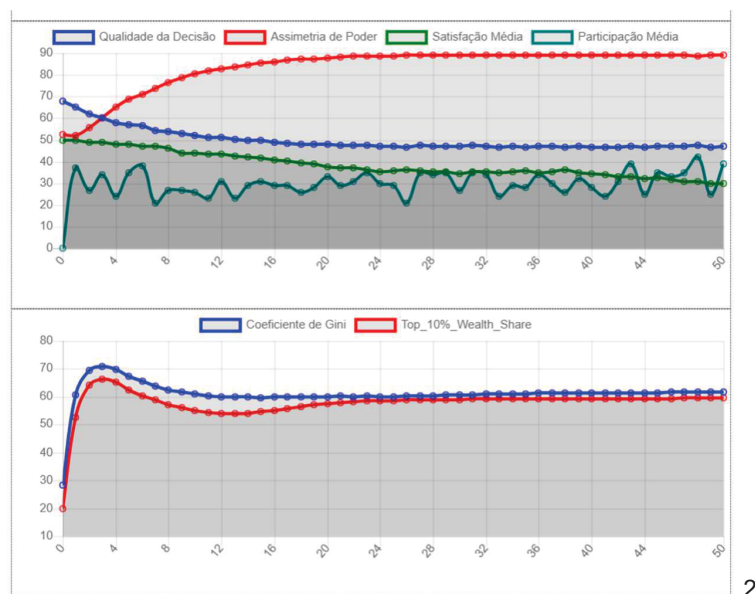
FIGURA 1 – GOVERNANÇA DA ÁGUA – DINÂMICA GERAL DA GOVERNANÇA – BASE



FONTE: O Autor (2025)

A análise do cenário de Governança Tradicional revela que apesar de não entrar em colapso, o sistema apresentou desigualdades de poder, com desequilíbrios na distribuição de recursos e em uma direção apenas moderadamente satisfatória para a maioria dos envolvidos. Na Figura 1, pode-se notar que o nível de recursos naturais manteve-se em torno de 60% da capacidade máxima, sem oscilações dramáticas. Embora essa aparente estabilidade possa sugerir algum tipo de equilíbrio, o que se pode concluir é que os indicadores de regeneração não se elevaram a ponto de reverter a degradação já instalada.

FIGURA 2 – QUALIDADE DA DECISÃO E DISTRIBUIÇÃO DE PODER – BASE



FONTE: O Autor (2025)

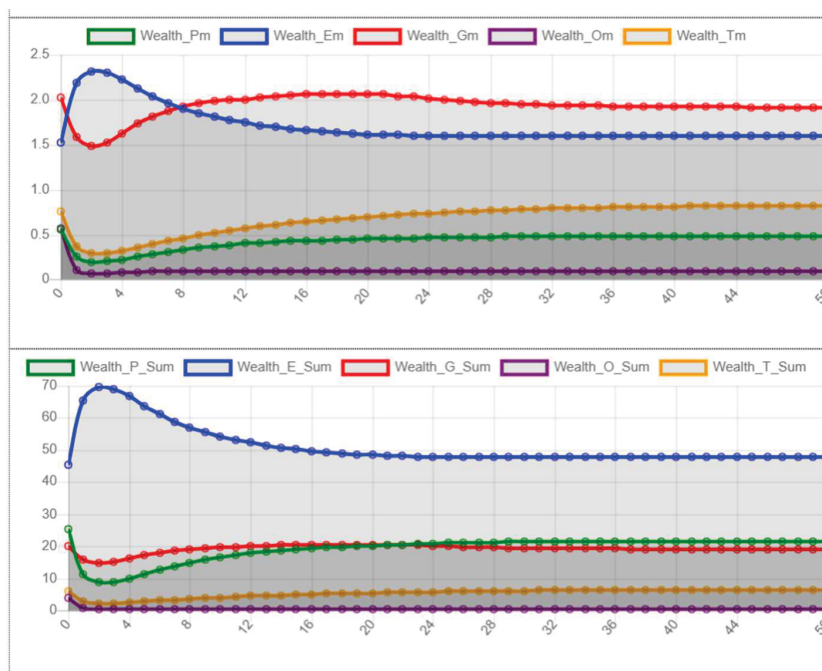
A Figura 2 apresenta quatro dimensões fundamentais: a qualidade da governança: a decisão coletiva, a assimetria de poder, a satisfação média e a participação, nas quais observa-se que a qualidade da decisão se inicia em valores relativamente altos (próximos de 70%), mas decai para algo em torno de 50% ao final do período. Em contraste, a assimetria de poder assume uma trajetória ascendente, alcançando níveis próximos de 90% em certos momentos — ou seja, há uma concentração de poder cada vez mais intensa em um subconjunto de agentes. Em paralelo, a satisfação média, que começa na casa dos 30% ou 40%, mantém-se sem ultrapassar muito essa faixa, o que sugere que uma parcela considerável dos indivíduos não enxerga melhoria substancial em suas condições de vida. A participação média, por outro lado, cresce até estabilizar-se por volta de 60%. Adicionalmente, tem-se que mais da metade dos agentes se “engaja” formalmente no processo decisório, porém esse envolvimento não se converte em elevação da qualidade das decisões nem na redução do grau de concentração de poder. O modelo, portanto, explicita que uma participação meramente numérica não basta para diluir o poder de atores dominantes, a menos que haja mecanismos institucionais que tornem efetiva a voz da maioria e facilitem a diluição do poder.

A evolução do coeficiente de Gini e do “Top 10% Wealth Share”, apresentada também nessa mesma interface, reforça a ideia de que a desigualdade é elevada no

início (tanto o Gini quanto a fatia dos 10% mais ricos partem de valores acima de 70% ou 80%) e depois recuam para algo em torno de 30% ou 40%. Esse recuo, porém, não implica uma distribuição justa: o que ocorre é que certo grupo de agentes (especialmente o Governo e alguns segmentos de Pessoas) passa a acumular riqueza ou poder ao longo das décadas, arrefecendo um pouco o domínio inicial de poucas empresas, mas, em essência, mantendo um hiato considerável em relação a ONGs ou técnicos. Assim, embora a concentração não fique tão extrema quanto nos primeiros anos, o sistema ainda permanece distante de qualquer condição de igualdade substantiva.

Fatores que corroboram com a **qualidade da governança** calculada em **0,33 (Figura 1)**, o que indica que a estrutura de governança possui desempenho **baixo a moderado e**, é caracterizada por centralização, rígida hierarquia e pouca flexibilidade na adaptação às mudanças. Além disso, a **qualidade da decisão** ao final da simulação ficou abaixo de 50, o que indica que as decisões tomadas frequentemente carecem de efetividade e muitas vezes não satisfazem as demandas da sociedade.

FIGURA 3 – DISTRIBUIÇÃO DE RIQUEZAS – BASE

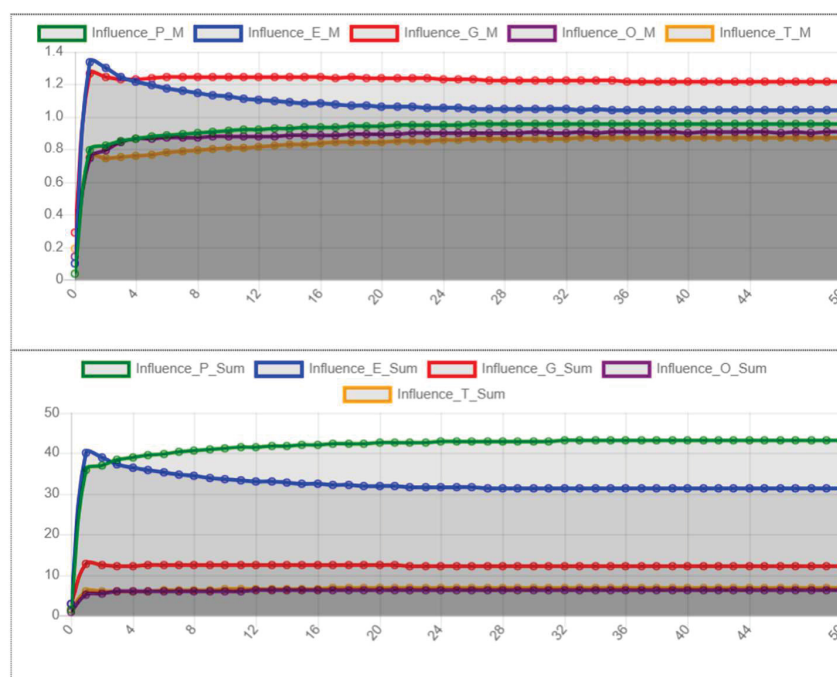


FONTE: O Autor (2025)

A Figura 3 foca na dinâmica de riquezas ao longo do tempo com pessoas (P) detendo a maior parcela de riqueza em termos agregados, chegando a valores acima

de 60 ou 70%. Contudo, nos dez primeiros anos, esse montante cai bruscamente, enquanto as empresas (E) e, mais adiante, o governo (G) passam a elevar seu estoque de riqueza. O resultado é uma convergência onde, ao final, tanto o governo quanto as pessoas se aproximam na faixa de 20% de riqueza somada, enquanto as empresas estabilizam-se acima desse patamar (cerca de 50%). Já ONGs (O) e Técnicos (T) permanecem em faixas muito mais baixas, raramente superando 5 ou 10%. Esse comportamento deve-se, em parte, a mecanismos calibrados no modelo que concedem ao Governo algum ganho (via taxas de poder ou fundos públicos) o que permite, às Pessoas, um certo aumento após a queda inicial. Entretanto, a concentração entre esses grupos majoritários ainda ofusca ONGs e técnicos, que não conseguem tornar-se mais relevantes.

FIGURA 4 – INFLUÊNCIA DOS AGENTES – BASE

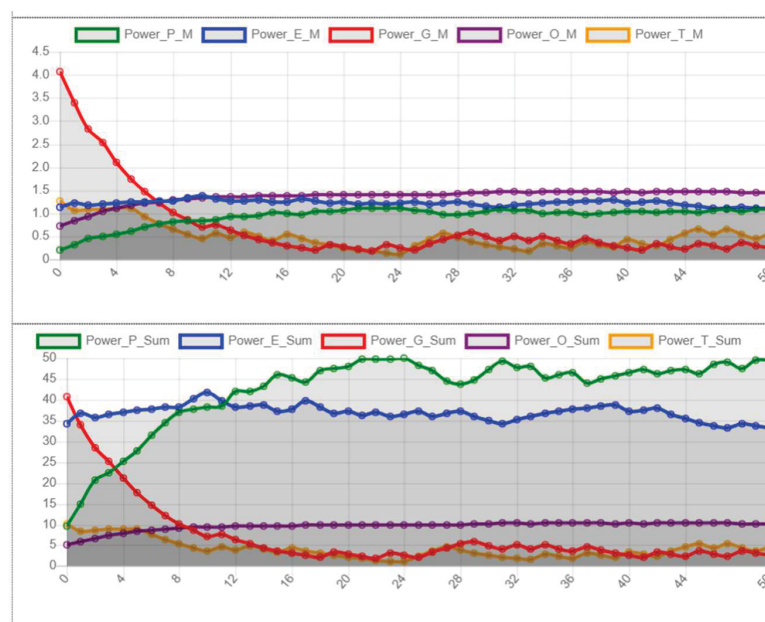


FONTE: O Autor (2025)

Na sequência, a Figura 4 destaca a influência média e a soma de influência para cada tipo de agente. É possível perceber que, nos primeiros anos, pessoas e empresas começam com valores elevados (em torno de 1.2 a 1.4% em média), mas decrescem para algo na faixa de 0.7 ou 0.8% depois de alguns anos. O Governo sai de um patamar mais baixo de influência, alcança cerca de 0.5 ou 0.6%, enquanto ONGs e técnicos mantêm valores modestos (entre 0.2 e 0.4%). Em termos de soma

agregada, as pessoas chegam a deter algo em torno de 45 a 50% da influência total no início, mas essa fatia se ajusta ao longo do tempo. No ano 50 tende a ficar próxima de 40%, com as Empresas logo atrás (cerca de 35%). O Governo sobe para 15% ou 20%, e ONGs e técnicos, novamente, ficam aquém de 10%. A despeito desses rearranjos, a estrutura geral permanece inalterada no sentido de que não há dispersão efetiva da influência: as flutuações iniciais não redundam em um novo arranjo mais equilibrado, pois os agentes dominantes continuam a receber reforços e consolidar vantagem mesmo quando há oscilações em sua riqueza.

FIGURA 5 – PODER DOS AGENTES – BASE



FONTE: O Autor (2025)

Por fim, a Figura 5 salienta a trajetória do poder, em termos médios e de soma por tipo de agente. Diferentemente do que seria esperado que apenas as empresas monopolizassem tudo, aqui se vê que o Governo passa a competir com as pessoas pelo topo da distribuição de poder. No começo, há uma concentração marcante em alguns tipos (empresas ou pessoas), mas, com o decorrer dos anos, o poder das empresas diminui em razão dos custos de manutenção desse e de uma maior inserção das pessoas em certas transações e interações, até mesmo pela quantidade de agentes. No final, a soma do poder das pessoas situa-se na faixa de 35 a 45% cada, enquanto as empresas ficam em torno de 30%, e ONGs, técnicos e o governo

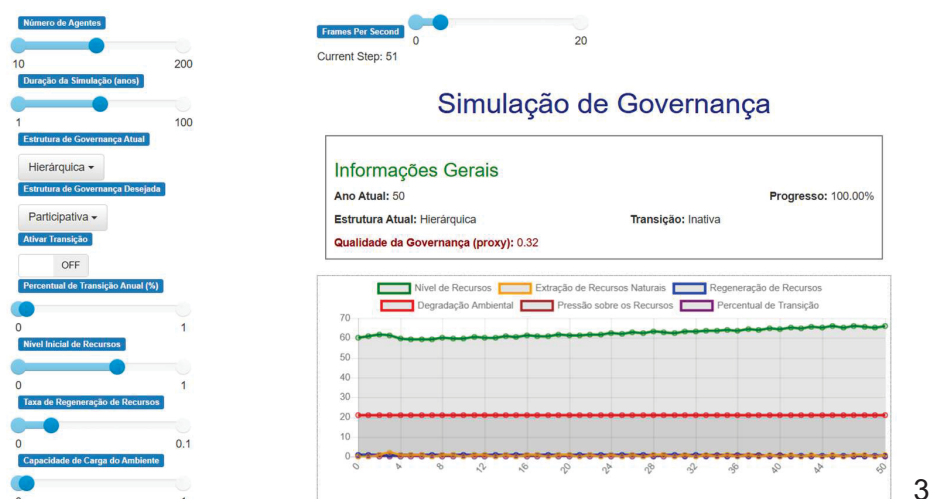
seguem com valores muito mais baixos. Nesse sentido, observa-se que a alta assimetria de poder, na casa de 90%, não se explica apenas por um agente monopolizador, mas por uma concentração distribuída essencialmente entre dois grandes grupos (pessoas e empresas), em detrimento dos demais. Isso não deixa de ser uma forma de concentração, mesmo considerando os diversos agentes envolvidos.

Esses resultados, tomados em conjunto, delineiam um regime que não entra em colapso, mas tampouco atinge uma condição de regeneração completa. Os recursos naturais estabilizam-se em um patamar mediano, a degradação ambiental não avança descontroladamente; a desigualdade, após forte assimetria inicial, torna-se menos extrema, mas ainda penaliza certos grupos; e a assimetria de poder chega a níveis quase totais, embora distribuída principalmente entre as pessoas e empresas. A satisfação, por sua vez, fica em faixas por volta de 30 ou 40%, sem alcançar um consenso de bem-estar geral, e a alta participação, ao redor de 60%, não se converte em maior qualidade decisória. Evidencia-se, portanto, uma governança tradicional incapaz de superar seus próprios limites estruturais, reforçando a importância de, em simulações futuras, se introduzirem mecanismos de transição mais efetivos, políticas de redistribuição e arranjos institucionais que valorizem a retroalimentação e a participação qualitativa — não apenas numérica — de todos os agentes.

6.3.2 Modelo para Governança Hierárquica

Ao se observar os resultados para o cenário de Governança Hierárquica, apresentados nas Figuras 6 a 10, percebe-se inicialmente uma dinâmica de recursos bastante parecida com a verificada na governança tradicional, embora a trajetória de declínio seja um pouco menos acentuada ao longo dos cinquenta anos de simulação.

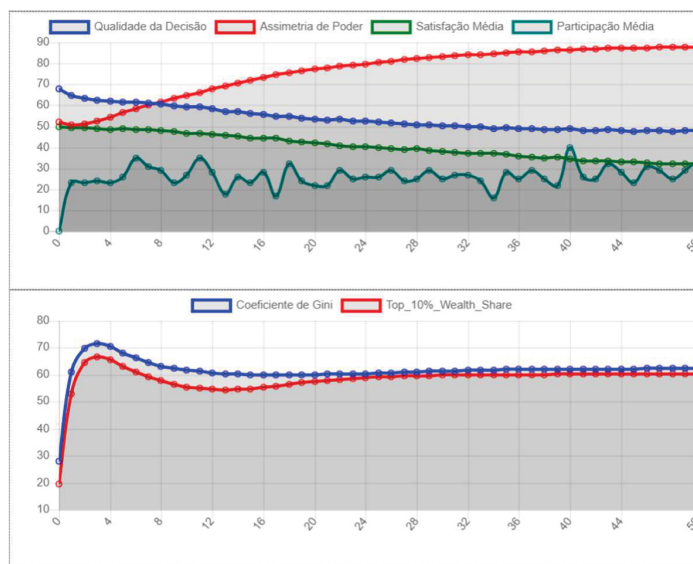
FIGURA 6 – DINÂMICA GERAL DA GOVERNANÇA – HIERÁRQUICA



FONTE: O Autor (2025)

Como mostra a Figura 6, o nível de recursos mantém-se relativamente estável em torno de 70%, e a degradação ambiental não ultrapassa a faixa de 20 a 25%. Essa aparente estabilidade, porém, não deve ser confundida com um equilíbrio sustentável, pois, à semelhança do que ocorria no regime tradicional, a capacidade de regeneração não aumenta substancialmente e não se identificam melhoras significativas na qualidade da governança, que permanece em torno de 0,3 na maior parte do período.

FIGURA 7 – QUALIDADE DA DECISÃO E DISTRIBUIÇÃO DE PODER –
HIERÁRQUICA



4

FONTE: O Autor (2025)

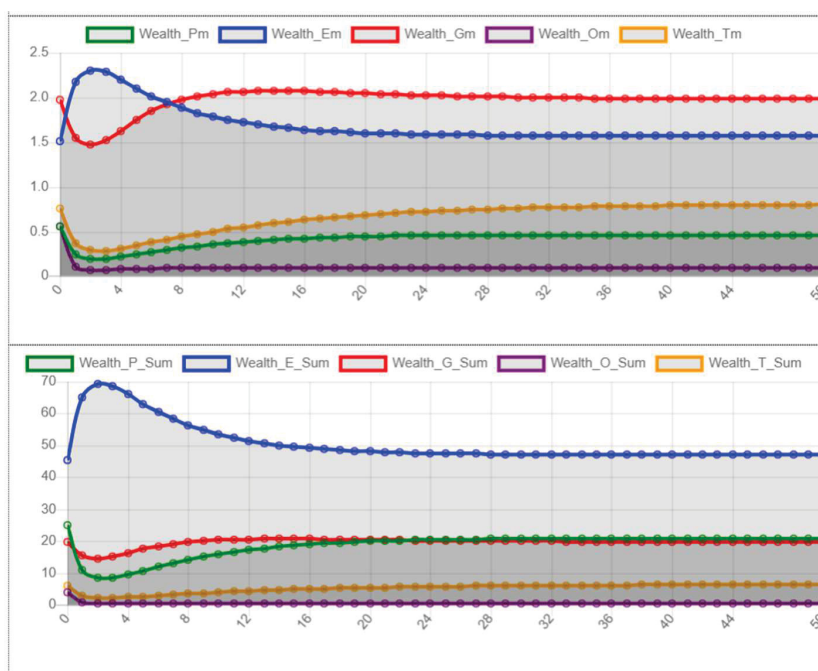
A Figura 7 apresenta quatro indicadores: qualidade da decisão, assimetria de poder, satisfação média e participação média, nos quais nota-se que a qualidade decisória inicia em níveis mais elevados (próximos de 70%) e decai gradualmente para valores próximos de 50%, todavia, em comparação com o modelo tradicional, essa curva de decréscimo é menos brusca, embora ainda denote certa incapacidade de o sistema assegurar deliberações mais inclusivas ou coerentes. A assimetria de poder, por sua vez, cresce de algo ao redor de 40% para níveis que superam 80%, reforçando o poder passa a estar concentrado nas mãos de menos agentes nesse tempo. É marcante observar que a satisfação média oscila entre 30 e 50%, o que sugere que a estrutura hierárquica não atende amplamente às expectativas ou às necessidades da maioria dos indivíduos. Quanto à participação média, no início aproximam-se dos 40%, contudo é mais instável do que no caso da governança tradicional, apresentando uma variação significativa, o que indica que alguns agentes podem estar se retraindo, possivelmente por não enxergarem resultados concretos com o seu envolvimento.

A comparação entre o coeficiente de Gini e a parcela de riqueza detida pelos 10% mais ricos (visível na porção inferior da mesma Figura 7) revela, em um primeiro momento, valores muito altos (acima de 70%), que logo diminuem para algo entre 40

e 50%. Esse movimento se assemelha ao que ocorre na governança tradicional, no qual há uma concentração inicial acentuada, reflexo das vantagens estruturais conferidas a determinadas empresas e a certos agentes governamentais, seguida de uma parcial redistribuição que, no entanto, mantém uma disparidade suficiente para assegurar o predomínio de alguns.

Adicionalmente, a abordagem hierárquica obteve índice de **qualidade da governança** igual **0,32** (Figura 6), o que representa que essa estrutura apresente um desempenho baixo, muito em decorrência de estruturas fortemente hierarquizadas que enfrentam desafios relacionados à participação, transparência e eficácia na tomada de decisões. Essa limitação também foi confirmada ao se analisar a qualidade da decisão, ao final da simulação, que ficou inferior a **50**, indicando que, mesmo com alguma redistribuição ao longo do processo, as decisões tomadas nessa estrutura não conseguem atender plenamente às demandas sociais e ambientais mais complexas.

FIGURA 8 – DISTRIBUIÇÃO DE RIQUEZAS – HIERÁRQUICA

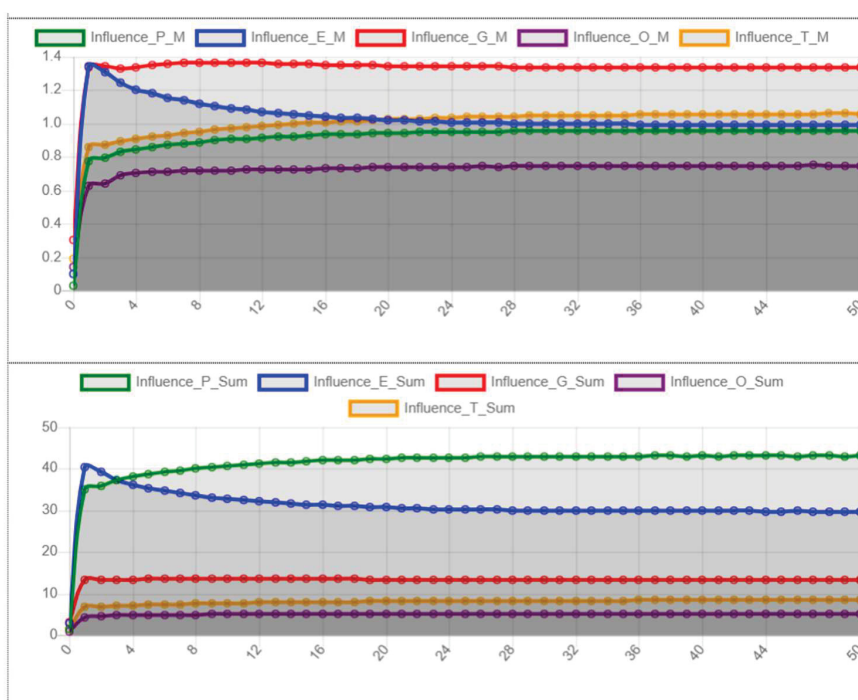


FONTE: O Autor (2025)

A evolução dos recursos econômicos entre os diferentes tipos de agentes (Figura 8) confirma que a dinâmica de concentração e leve redistribuição. Pessoas (P) surgem com valores médios mais altos nos primeiros anos (chegando a 2,0 ou 2,5%), mas sofrem uma queda brusca, enquanto as empresas (E) e o governo (G) passam a

se estabilizar em faixas intermediárias; ONGs (O) e técnicos (T) seguem em posições mais modestas ao longo de todo o período. Quando se observa a soma agregada de riqueza por tipo, percebe-se que as pessoas iniciam ao redor de 25% e acabam convergindo para algo em torno de 30, aproximando-se do governo, ao passo que as empresas mantêm valores próximos a 50% à semelhança ao regime tradicional.

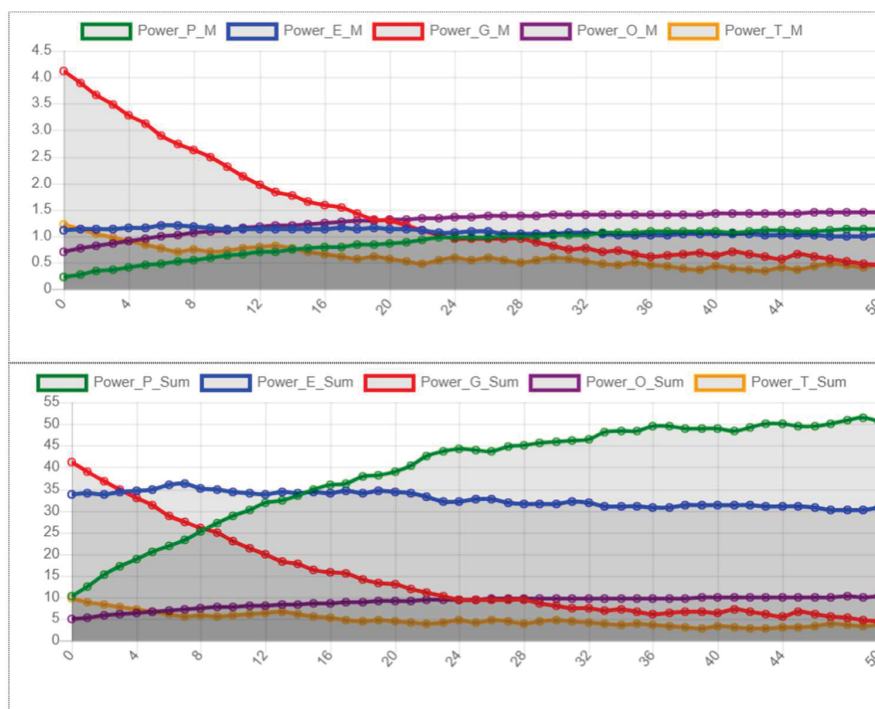
FIGURA 9 – INFLUÊNCIA DOS AGENTES – HIERÁRQUICA



FONTE: O Autor (2025)

Na Figura 9, observam-se valores de influência bastante altos para pessoas e empresas no início, contudo o aspecto mais simbólico encontra-se na distribuição de poder (Figura 10) com pessoas estabilizando acima de 0,5% em média ao final — mesmo detendo uma parte significativa do poder total, seguindo o que ocorreu na governança tradicional, em que o poder das pessoas e empresas continuou forte ao longo de toda a simulação.

FIGURA 10 – PODER DOS AGENTES – HIERÁRQUICA



FONTE: O Autor (2025)

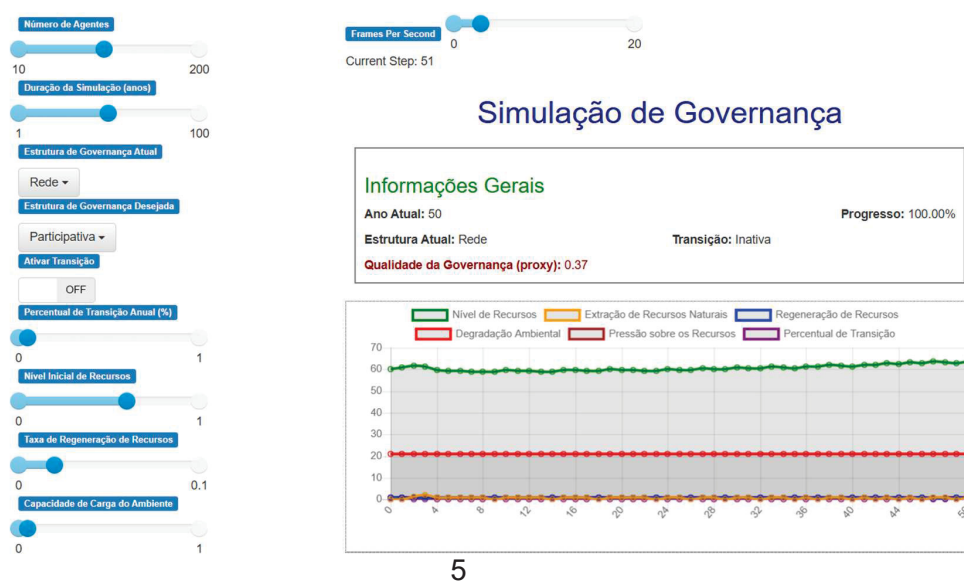
A Governança Hierárquica não revela grande capacidade de solucionar problemas de assimetrias de poder, repetindo os sintomas observados no cenário tradicional, no qual mesmo havendo uma aparente estabilidade, essa é com uma elevada concentração de poder em pessoas e empresas, e a satisfação média mantém-se em patamares apenas medianos, sem que a participação promova, de fato, uma melhora substancial na qualidade das decisões. Comparativamente, o modelo hierárquico parece favorecer uma reconfiguração um pouco mais intensa na distribuição de riqueza todavia a assimetria de poder se tornar tão ou mais severa que na governança tradicional, o que confirma a dificuldade de evoluir para uma governança mais equitativa quando a lógica predominante na estrutura é vertical e, não incentiva práticas colaborativas.

Em síntese, as Figuras de 6 a 10 apresentam diversas fragilidades do regime hierárquico no que diz respeito a equilibrar exploração de recursos, promover maior equidade e garantir uma participação que incida na tomada de decisões.

6.3.3 Modelo para Governança em Rede

Nas Figuras 11 a 15 a seguir serão apresentados os resultados referentes à simulação com Governança em Rede, em que se espera um padrão de articulação mais distribuída entre os agentes. Diferentemente das configurações Tradicional e Hierárquica, pois essa estrutura procura diluir a centralização e, teoricamente, favorecer fluxos de informação e de poder mais horizontais. Ainda assim, a análise dos dados não indica um rompimento efetivo com as disparidades socioeconômicas e nem uma virada decisiva em termos de sustentabilidade, embora surjam algumas características que a diferenciam dos outros modelos, como será visto a seguir.

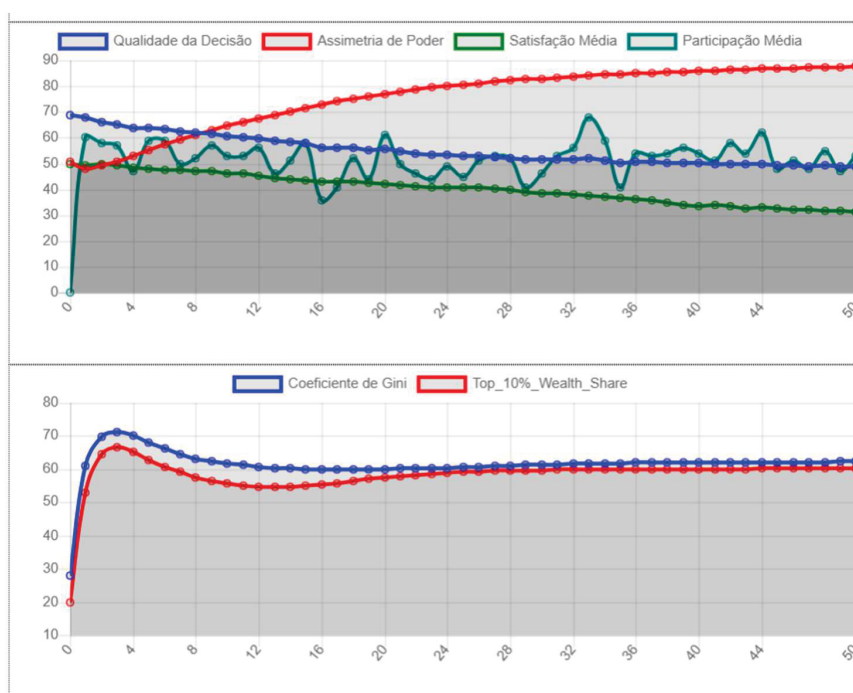
FIGURA 11 – DINÂMICA GERAL DA GOVERNANÇA – REDE



FONTE: O Autor (2025)

No primeiro gráfico (Figura 11), a evolução do nível de recursos naturais exibe uma estabilidade próxima de 60% com uma degradação moderada, e a pressão sobre os recursos fixando-se em patamares reduzidos. Esse comportamento, tal como nos cenários Tradicional e Hierárquico, significa que o uso agregado não chega a devastar o sistema ambiental, mas também não impulsiona a sua regeneração.

FIGURA 12 – QUALIDADE DA DECISÃO E DISTRIBUIÇÃO DE PODER – REDE



6

FONTE: O Autor (2025)

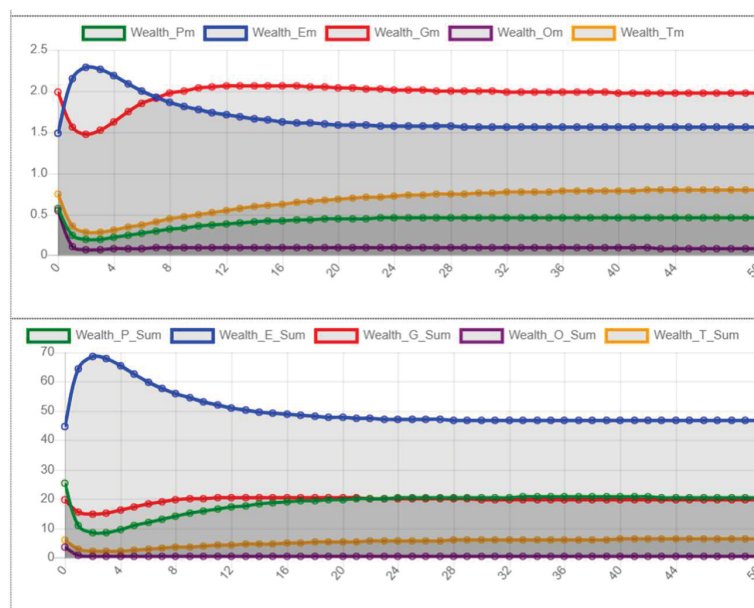
A Figura 12 mostra que a qualidade decisória se inicia em torno de 50%, com oscilações constantes, todavia, ao final do período, se estabiliza ligeiramente acima de 50%. Nesse quesito, é interessante contrastar com o regime Hierárquico: ali, a qualidade decisória também começava relativamente alta, mas declinava a passos mais suaves; já na configuração em rede, flutua-se de maneira mais errática, o que sugere uma influência maior da dinâmica local e das interações pontuais, porém sem convergir para resultados melhores no longo prazo. A assimetria de poder, por sua vez, cresce de níveis moderados (perto de 40%) para valores superiores a 80%, reproduzindo, em certa medida, a concentração que se via nos outros dois arranjos. Surpreende que mesmo com potenciais conexões horizontais, o poder acabe se concentrando, tal como ocorre nas estruturas Tradicional e Hierárquica. A satisfação

média permanece em declínio, partindo de 50% e terminando por volta de 30%, o que revela um certo descontentamento que vem crescendo. Nesse sentido, o regime de rede demonstra maior volatilidade nos indicadores, sugerindo que as interações distribuídas podem favorecer engajamentos pontuais, mas não sustentam uma participação coletiva estável caso não haja amarras institucionais que deem peso efetivo à intervenção de cada agente.

Na porção inferior da mesma figura, o comportamento do coeficiente de Gini e da fração de riqueza nos 10% mais ricos indica inicialmente uma alta disparidade—ambos partem de valores acima de 70%—e depois ajustam-se para algo ao redor de 50%, onde se estabilizam. Esse padrão é análogo ao observado nos cenários anteriores, embora com uma ligeira redução no Gini final em comparação à governança Hierárquica, por exemplo. Ainda assim, o resultado não deixa de ser um quadro onde metade (ou mais) de toda a riqueza permanece concentrada em apenas 10% dos agentes, contrariando a expectativa de que uma rede descentralizada pudesse diluir com mais eficácia a capacidade de acumulação de poucos atores.

Em linha ao cálculo da qualidade da governança das demais estruturas, a de Rede alcançou 0,37 (Figura 11), que é um pouco superior às estruturas de governança até agora apresentadas, com destaque para o seu potencial de colaboração. No entanto, o índice ainda reflete limitações em termos de integração e coordenação, o que leva a valores abaixo de 50 para a qualidade da decisão final, indicando que, embora as redes tenham mais flexibilidade, sua eficácia prática ainda é limitada sem mecanismos claros de governança.

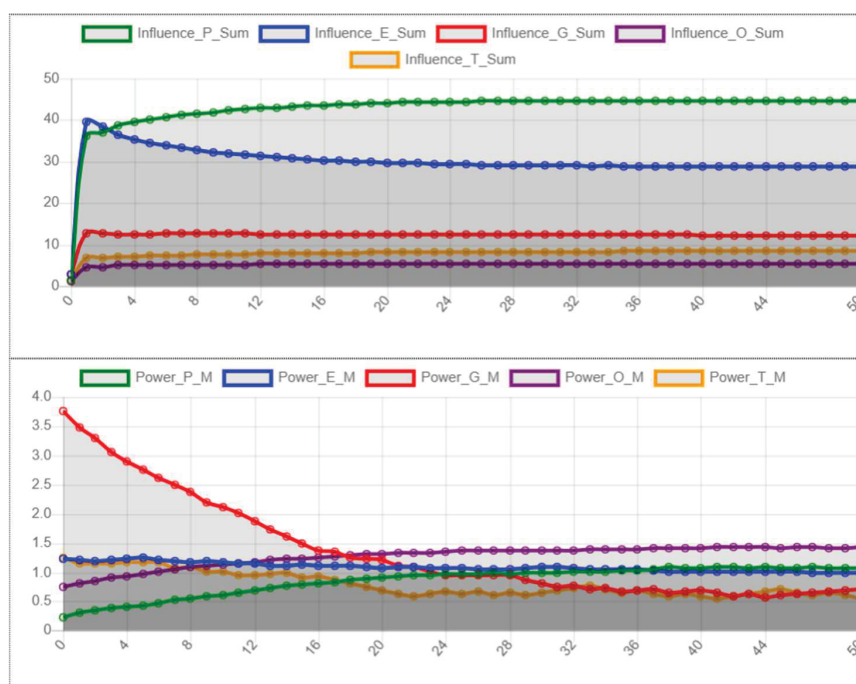
FIGURA 13 – DISTRIBUIÇÃO DE RIQUEZAS – REDE



FONTE: O Autor (2025)

A distribuição de riqueza Figura 13, demonstra que mesmo com múltiplos contatos entre agentes, o acúmulo de bens tende a ocorrer em torno de blocos específicos — Empresas e logo na sequência pessoas e governo, principalmente — e não se distribui de forma equitativa pelos demais grupos.

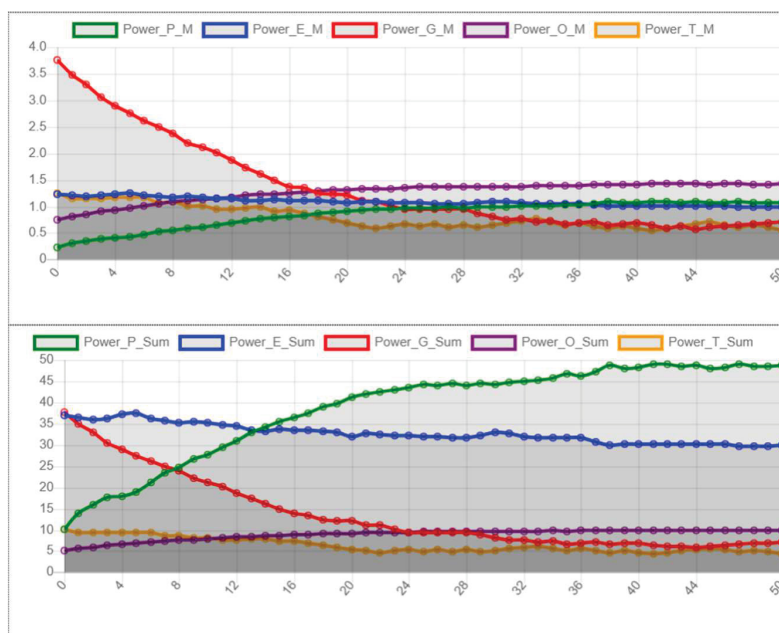
FIGURA 14 – INFLUÊNCIA DOS AGENTES – REDE



FONTE: O Autor (2025)

Na Figura 14, relativa à influência, o que chama a atenção aqui é que as pessoas, depois de um pico inicial, decaem gradualmente, e as Empresas assumem uma influência acima de 30%, enquanto o Governo só alcança valores em torno de 10%. No final, a soma de influência dos grupos apresenta um quadro bem parecido ao verificado nos outros cenários: ONGs e técnicos permanecem ao redor de 5%. Em termos de dinâmica de rede, esse arranjo confirma que a existência de conexões horizontais não anula as vantagens iniciais de certos agentes, nem impede a consolidação de núcleos de influência mais robustos.

FIGURA 15 – PODER DOS AGENTES – REDE



FONTE: O Autor (2025)

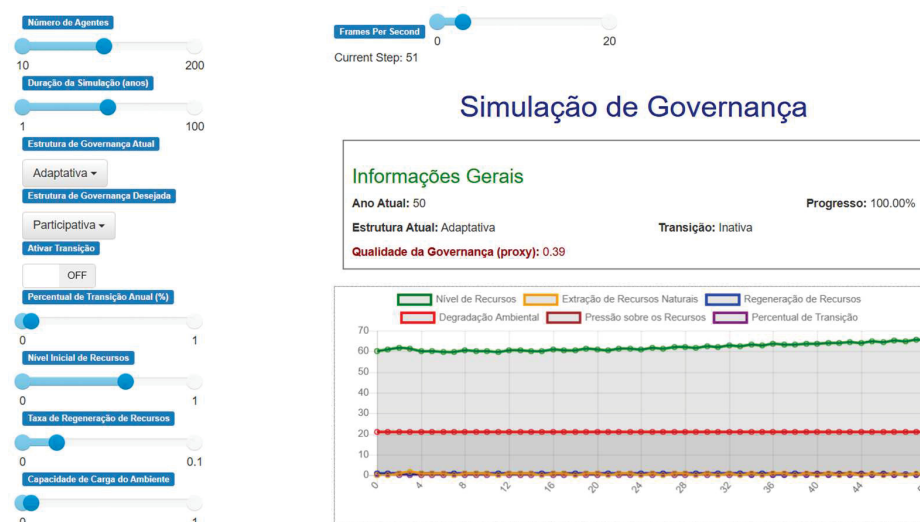
Por fim, a Figura 15 detalha como a evolução do poder passa por uma espécie de acomodação ao longo do período de cinquenta anos, com as somas agregadas, das Pessoas alcançando cerca de 45%, e as empresas algo como 30%, o que não difere substancialmente das outras simulações. Esse resultado reforça a persistência de concentração.

Comparando a Governança Tradicional e Hierárquica com a de Rede, tem-se que esta última não apresenta resultados satisfatórios em termos de redução de assimetria de poder ou na promoção de uma distribuição mais equitativa de recursos. Fato que contraria a expectativa de que uma rede horizontalizada traria soluções mais colaborativas e melhores para o uso comum, o que não se efetivou no horizonte simulado, isso porque alguns agentes, por deterem posição privilegiada (seja por riqueza, influência ou capacidade produtiva), acabaram consolidando suas posições, e os demais, ainda que conectados, não conseguiram reverter esse quadro. Tal constatação é coerente com a lógica de que, mesmo em redes “distribuídas”, sem mecanismos institucionais fortes de regulação e cooperação, mantém-se a tendência de concentração de poder.

6.3.4 Modelo para Governança Adaptativa

A expectativa teórica para a Governança Adaptativa é a de que haja maior capacidade de resposta diante de pressões externas e oportunidades de cooperação. A análise detalhada das figuras a seguir, no entanto, revela que o sistema, ao longo de cinquenta anos, não atinge uma ruptura significativa em relação às limitações verificadas nos modelos Tradicional, Hierárquico e em Rede. O nível de recursos naturais, por exemplo, mantém-se numa faixa de aproximadamente 65%. Ainda que a Governança Adaptativa disponha de mecanismos de ajuste pontual (como variações na taxa de regeneração ou na redistribuição quando detectada alta desigualdade), o conjunto de interações não conduz a um salto de qualidade ambiental ou a um uso mais equilibrado dos bens naturais.

FIGURA 16 – DINÂMICA GERAL DA GOVERNANÇA – ADAPTATIVA

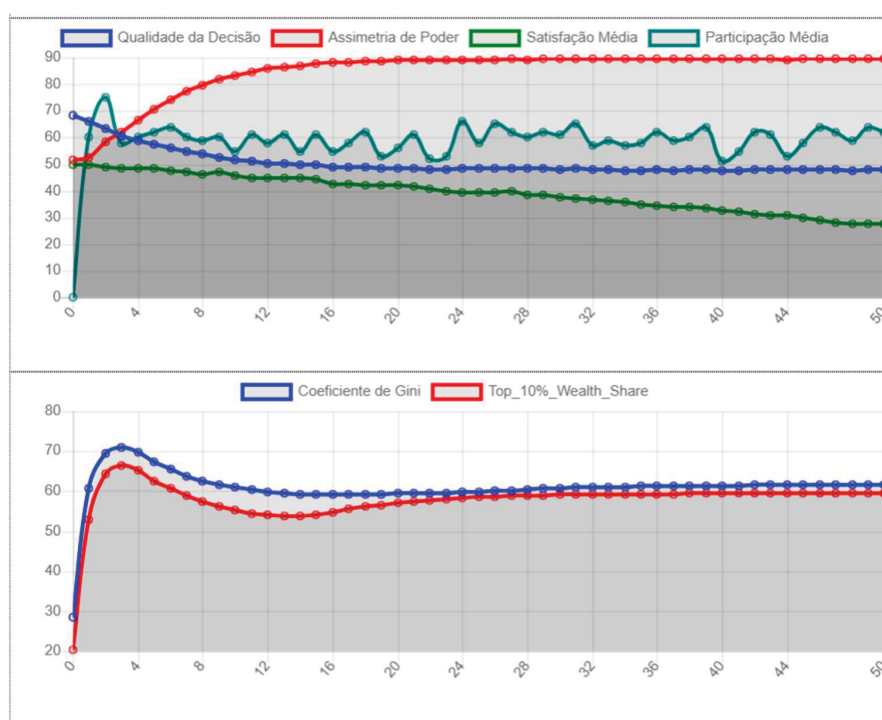


FONTE: O Autor (2025)

Observando-se a evolução dos indicadores de poder, participação, satisfação e qualidade decisória (Figuras 16 e 17), nota-se que a qualidade da decisão começa bem acima de 70% nos primeiros anos, todavia esta sofre uma queda rápida, estabilizando-se na faixa de 50%. A assimetria de poder, por sua vez, cresce de forma expressiva, ultrapassando 80% e mantendo-se nesse patamar, à semelhança do observado nos modelos Tradicional e Hierárquico.

Um fato que chama a atenção é que, mesmo com maior flexibilidade institucional, o poder concentra-se rapidamente num conjunto de agentes que tiraram proveito das condições iniciais de influência e riqueza, tanto que as correções pontuais previstas não chegam a inverter a tendência geral de concentração. A satisfação média, por outro lado, oscila ao redor de 50%, para depois decair de maneira suave para algo em torno de 40%. Há, portanto, um período inicial em que a adaptabilidade institui alguma melhora em termos de sentimento coletivo, mas essa melhora não se consolida a longo prazo. A participação, de igual modo, exibe altos e baixos: atinge picos acima de 70% em certos momentos, mas decresce para faixas ao redor de 40%.

FIGURA 17 – QUALIDADE DA DECISÃO E DISTRIBUIÇÃO DE PODER – ADAPTATIVA



7

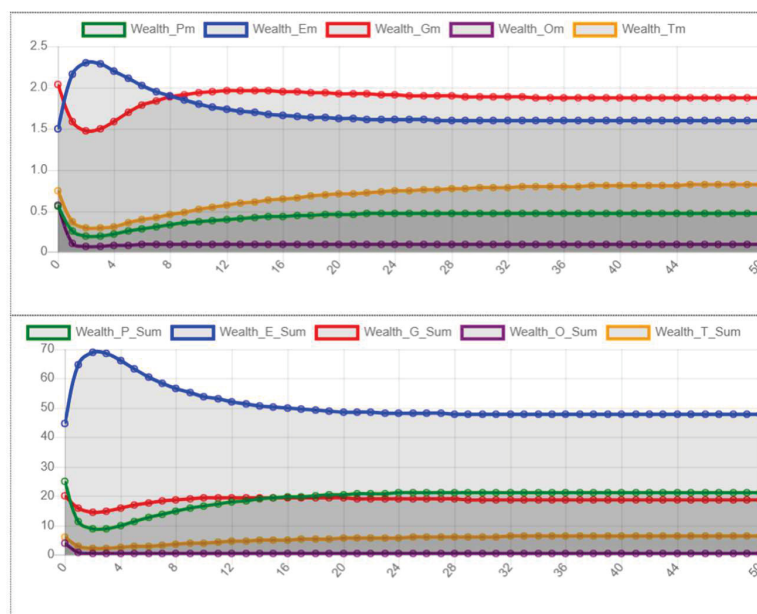
FONTE: O Autor (2025)

Na parte inferior da Figura 17, o coeficiente de Gini e a fração de riqueza nos 10% mais ricos evidenciam a mesma dualidade: inicia-se com números muito altos (Gini acima de 70% e os 10% mais ricos acima de 60%), que recuam para um patamar perto de 50%. Em comparação com a governança em Rede, a queda do Gini ocorre em velocidade semelhante e, ao final, esses indicadores acabam próximos do que se

constatou na governança Hierárquica, com a diferença de que pequenas variações no decorrer do processo sugerem que a Adaptativa consegue reagir brevemente a saltos ou quedas bruscas de desigualdade. O cenário, porém, não sinaliza uma distribuição equitativa.

Sua capacidade de reação a mudanças, com maior flexibilidade e resiliente, fez com que a Governança Adaptativa alcançasse uma qualidade da governança igual a 0,39 (Figura 16). Além disso, ao se avaliar que as decisões tomadas sob essa estrutura são ligeiramente mais eficazes e ajustadas às demandas ambientais e sociais em comparação às estruturas analisadas até aqui, uma qualidade da decisão, ao final do período de análise, superior a 50 (Figura 17) parece razoável. Contudo, apesar desse desempenho superior em alguns aspectos, o modelo ainda não promove uma redistribuição significativa de riqueza ou uma igualdade material mais profunda.

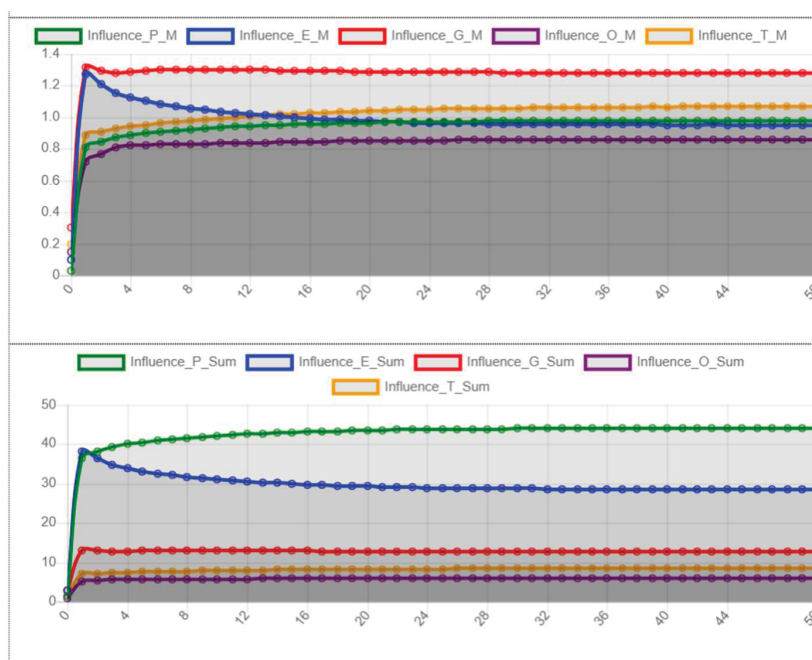
FIGURA 18 – DISTRIBUIÇÃO DE RIQUEZAS – ADAPTATIVA



FONTE: O Autor (2025)

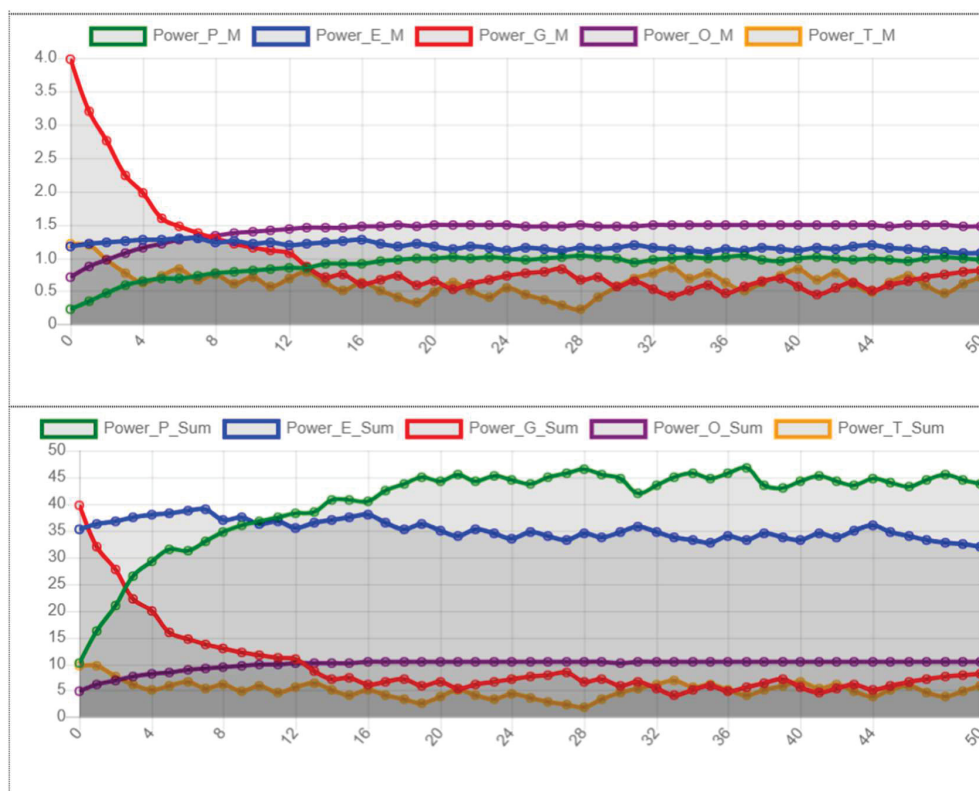
. A Figura 18, por sua vez, apresenta comportamento semelhante as outras estruturas de governança com alguma variação pontual.

FIGURA 19 – INFLUÊNCIA DOS AGENTES – ADAPTATIVA



FONTE: O Autor (2025)

FIGURA 20 – PODER DOS AGENTES – ADAPTATIVA



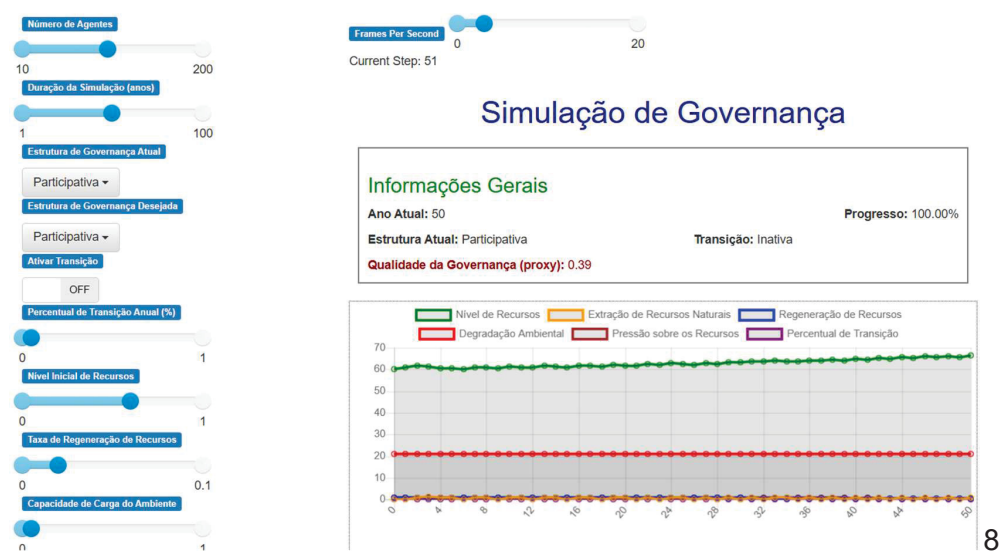
FONTE: O Autor (2025)

No tocante à influência e ao poder (Figuras 19 e 20), pode-se observar certa compensação mútua entre os agentes à medida que o sistema evolui, com concentração de riqueza em pessoas e empresas. Em teoria, esse arranjo adaptativo deveria gerar maior cooperação e respostas ambientais mais eficazes, mas a manutenção de níveis relativamente altos de concentração (assimetria ao redor de 80%) e a queda final da satisfação indicam que tais mecanismos não são suficientes para romper inércias ou corrigir desequilíbrios estruturais. Ao comparar a Governança Adaptativa com as demais (Tradicional, Hierárquica e em Rede), fica evidente que os ganhos esperados de flexibilidade e capacidade de resposta não se traduzem em melhor qualidade decisória ou distribuição de recursos no horizonte simulado.

6.3.5 Modelo para Governança Participativa

A Governança Participativa, estrutura que, em princípio, apresentaria melhores processos decisórios, a despeito de níveis altos de engajamento e de um cenário institucional voltado para a inclusão, não apontam para transformações substanciais no manejo sustentável dos recursos nem para uma queda drástica na desigualdade socioeconômica. O nível de recursos naturais em torno de 60%, praticamente reproduzindo o comportamento dos demais cenários (Tradicional, Hierárquico, em Rede e Adaptativo). A capacidade de regeneração não atinge patamares que pudessem sinalizar uma recuperação efetiva dos ecossistemas como esperado.

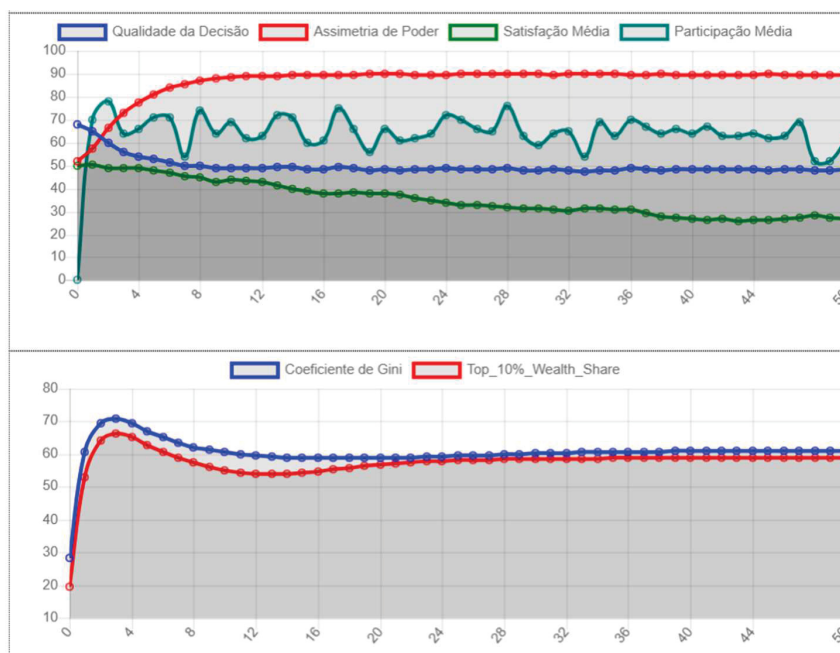
FIGURA 21 – DINÂMICA GERAL DA GOVERNANÇA – PARTICIPATIVA



FONTE: O Autor (2025)

A Figura 21, onde se vê a “Qualidade da Governança (proxy)” registrada em aproximadamente 0.39, reflete um quadro pouco animador do ponto de vista sistêmico.

FIGURA 22 – QUALIDADE DA DECISÃO E DISTRIBUIÇÃO DE PODER – PARTICIPATIVA



9

FONTE: O Autor (2025)

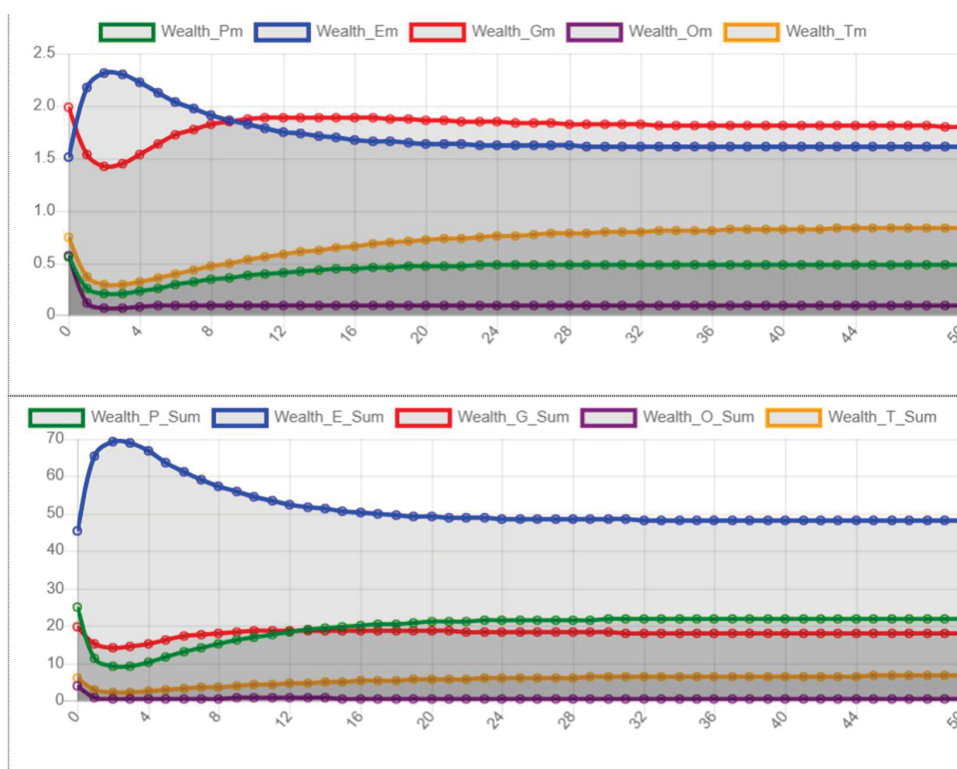
A Figura 22 surpreende, à primeira vista, por apresentar uma participação que se mantém em valores muito elevados desde o início da simulação; ainda assim, a qualidade decisória, depois de um pico inicial acima de 70%, decai para 50% e segue flutuando em torno desse patamar. Nesse sentido, essa governança reproduz o fenômeno de “participação ineficaz” também visto na estrutura Tradicional, mas agora com maior ênfase no engajamento formal dos agentes, que, mesmo reunindo esforços coletivos, não conseguem impor medidas que elevem a qualidade das decisões ao longo do tempo. Em paralelo, a assimetria de poder (rapidamente crescendo para 80%) reafirma o domínio de um conjunto mais restrito de atores, geralmente aqueles que reúnem vantagens de riqueza e influência. A satisfação média, embora se situe na faixa de 60% nos primeiros anos, exhibe uma tendência de queda gradual, atingindo cerca de 50%, o que contrasta com a ideia de que a governança participativa, por si só, garantiria um bem-estar crescente.

A observação do coeficiente de Gini e da parcela de riqueza dos 10% mais ricos (a porção inferior da Figura 22) confirma que o modelo não desarticula a desigualdade socioeconômica estruturante. Os valores iniciais, novamente muito altos, cederiam para algo entre 50% e 60%, estagnando-se ali. Assim como na governança Adaptativa (e, de modo semelhante, nos demais cenários), a participação

ampla não se traduz em uma redistribuição intensa de recursos, revelando que o arranjo formal de participação não elimina a possibilidade de concentração material.

Essa limitação, contudo, não ofusca completamente os méritos da governança Participativa, pois o seu foco na inclusão e engajamento ativo dos cidadãos e demais agentes nos processos decisórios fez com que essa estrutura alcançasse 0,39 (Figura 21) como indicativo de qualidade da governança e uma qualidade da decisão, ao final da simulação, superior a 50 (Figura 21). Esse desempenho, embora marginalmente maior que o das outras estruturas, ressalta que a ampliação do espaço participativo pode melhorar a legitimidade e a qualidade das decisões, ainda que não seja suficiente para reverter as desigualdades estruturais profundamente enraizadas.

FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO DE RIQUEZAS – PARTICIPATIVA

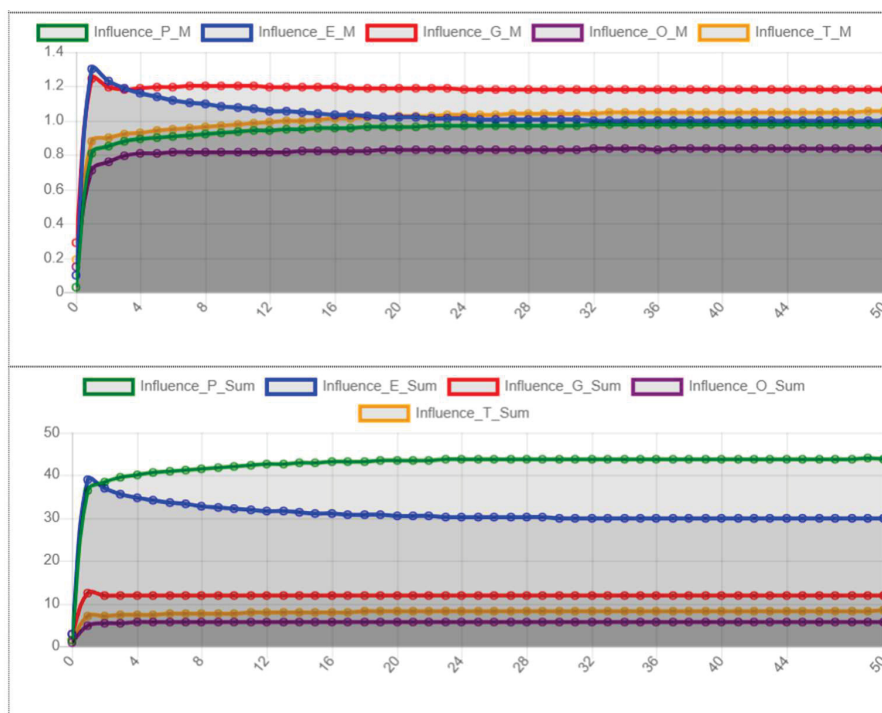


FONTE: O Autor (2025)

Na prática, a soma agregada da riqueza Figura 23 permanece amplamente nas mãos de empresas (E), enquanto pessoas (P), Governo (G), ONGs (O) e Técnicos

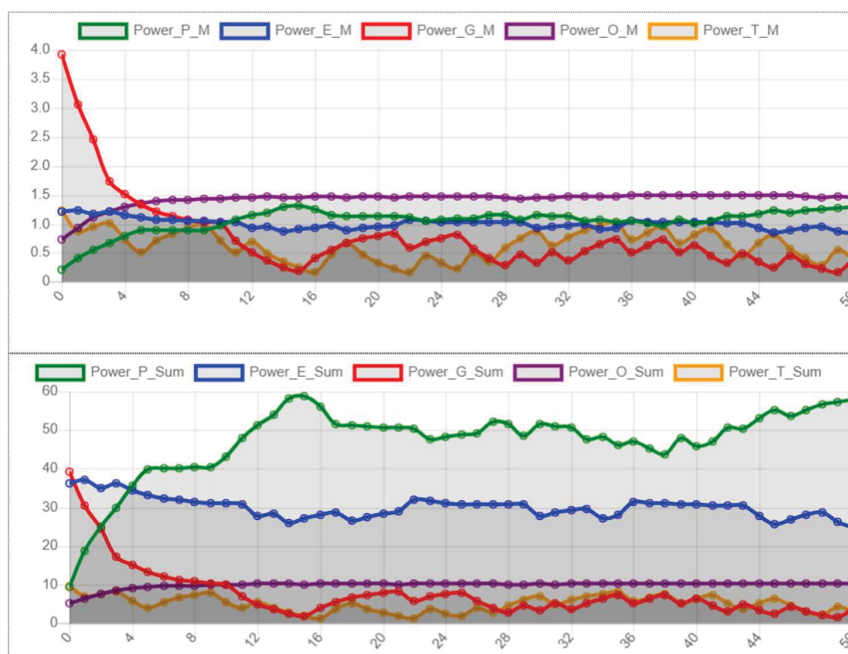
(T) não alcançam, mesmo com participação elevada, um acúmulo significativo de capital à semelhança das outras estruturas de governança.

FIGURA 24 – INFLUÊNCIA DOS AGENTES – PARTICIPATIVA



FONTE: O Autor (2025)

FIGURA 25 – PODER DOS AGENTES – PARTICIPATIVA



FONTE: O Autor (2025)

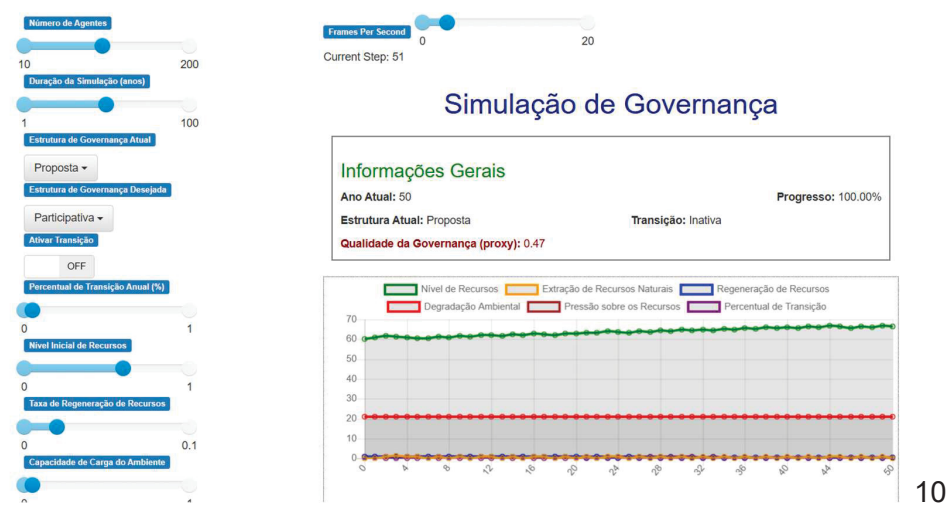
As Figuras 24 e 25, que tratam de influência e poder, reiteram a ideia de um envolvimento formalmente inclusivo, porém sem eficácia distributiva. A soma de influência das Pessoas ultrapassa 40% nos primeiros anos, ao passo que as Empresas alcançam algo próximo de 30%. Com o passar do tempo, surge um relativo equilíbrio em termos de poder. No tocante ao poder, mesmo que a participação formal seja elevada, esse indicador concentra-se de modo expressivo em dois ou três grandes grupos. O quadro final, entretanto, não sugere uma situação de equidade real: a assimetria, repetindo o padrão dos demais cenários, instala-se em torno de 80%, o que implica uma alta concentração de poder em poucos atores. Em comparação às governanças Hierárquica e Tradicional, a Participativa sequer consegue diminuir a disparidade de modo consistente e duradouro.

As Figuras de 21 a 25 desmentem o ideal romântico de que a simples ampliação formal de participação seria capaz de reduzir assimetrias. O que se vê, em vez disso, é um arranjo que se mostra mais plural na aparência, mas que, na essência, reproduz os mecanismos de reforço de influência e poder observados nas outras governanças, fazendo com que o coeficiente de Gini, a fatia de riqueza nos 10% mais ricos e a assimetria de poder sigam altos ao longo dos 50 anos de simulação.

6.3.6 Modelo para Governança Proposta

Os resultados da chamada Governança Proposta, que, em princípio, foi concebida como uma evolução das estruturas anteriores, incorporando elementos de participação, adaptabilidade, distribuição em rede e reformulações institucionais mais incisivas, teria um maior potencial de romper ciclos de desigualdade socioeconômica. Contudo, a análise detalhada dos gráficos não demonstra, ao menos no horizonte temporal de cinquenta anos, uma guinada tão radical em relação aos padrões observados nas outras cinco configurações (Tradicional, Hierárquica, em Rede, Adaptativa e Participativa).

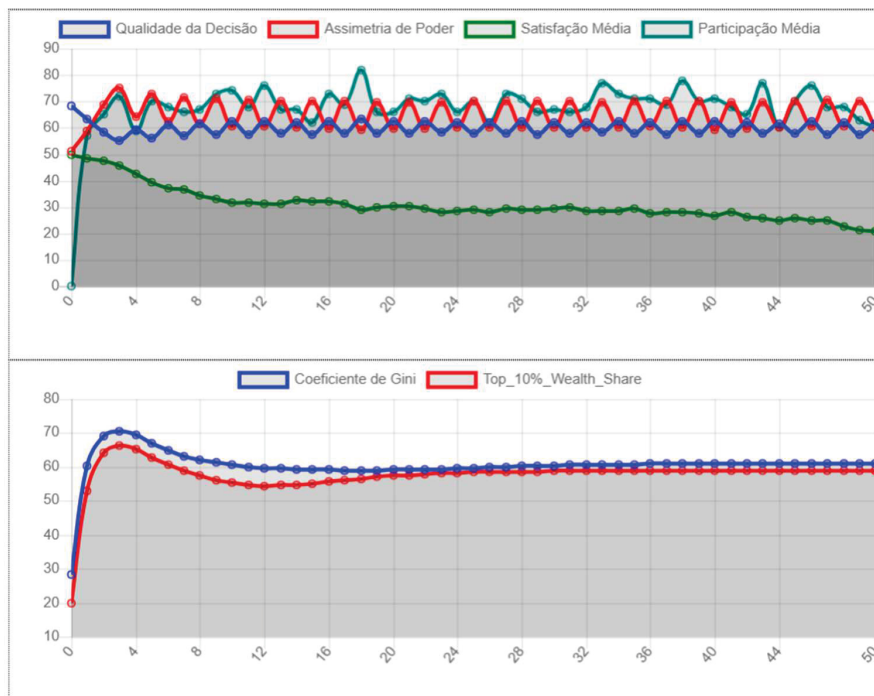
FIGURA 26 – DINÂMICA GERAL DA GOVERNANÇA – PROPOSTA



FONTE: O Autor (2025)

Uma primeira constatação emerge na Figura 26: o **nível de recursos naturais** permanece acima dos 60% durante toda a simulação, e a **degradação ambiental** mantém-se constante e relativamente baixa, na faixa de 20% a 25%. Tal como nos outros modelos, a pressão sobre os recursos não ultrapassa um limiar crítico que levaria a um colapso, mas também não se vê um ganho expressivo na capacidade de regeneração, sugerindo que a Governança Proposta não resultou num regime de exploração ambientalmente regenerativo. Dessa forma, conserva-se uma espécie de “estabilidade de médio alcance”, que evita a exaustão completa, mas não revela qualquer trajetória de recuperação ambiental substancial.

FIGURA 27 – QUALIDADE DA DECISÃO E DISTRIBUIÇÃO DE PODER – PROPOSTA



11

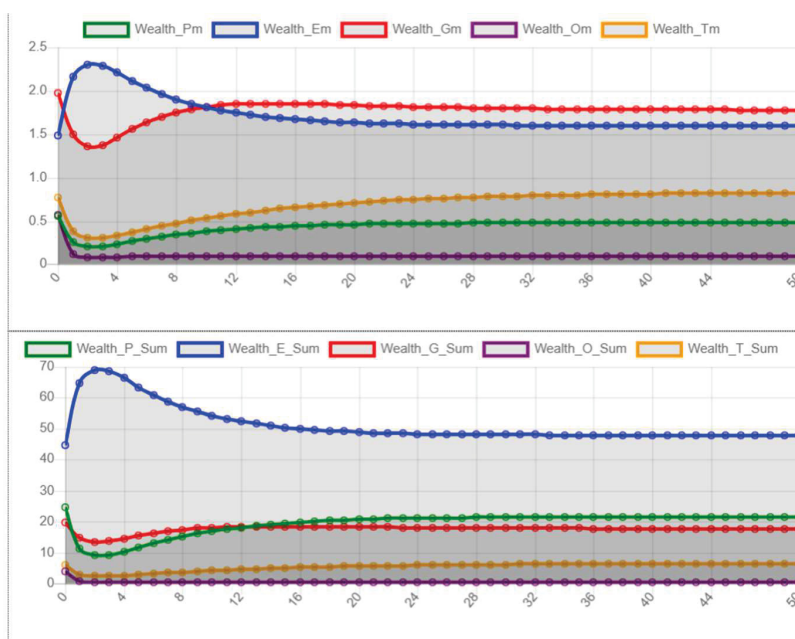
FONTE: O Autor (2025)

A Figura 27, dedicada às variáveis de qualidade da decisão, assimetria de poder, satisfação média e participação média, apresenta menos estáveis do que a de algumas outras estruturas. A qualidade decisória tem oscilações bruscas, em alguns passos superando 70% e, em outros, descendo para pouco mais de 50%; o que se percebe, no entanto, é que ela não tende a valores sistematicamente mais altos do que nos arranjos anteriores: em média, estabiliza-se em torno de 60%. Já a assimetria de poder flutua, em certos momentos, abaixo de 70%, mas, em outros, ultrapassa a casa dos 80%, mantendo-se consideravelmente alta. A satisfação média, por sua vez, inicia-se acima de 60%, porém declina de forma lenta até a faixa de 40%. Chama atenção o fato de a participação média oscilar em amplitude notável: há ciclos em que ultrapassa 80% e, logo a seguir, cai para algo ao redor de 50%. Tais variações, aparentemente, estão relacionadas a mecanismos de “redistribuição pontual” presentes no modelo decorrente de conselhos de governança — o que a Governança Proposta tentava incrementar — mas que, na prática, promovem apenas ajustes localizados em vez de uma tendência firme de melhoria contínua.

O coeficiente de Gini e aos 10% mais ricos (parte inferior da Figura 27) revelam uma dinâmica não muito diferente dos outros cenários. Parte-se de valores acima de 70%, respectivamente, que recuam para a casa de 50%, estabilizando-se aí. Ou seja, há uma concentração expressiva no início, seguida de uma redistribuição parcial, mas que não elimina a disparidade fundamental. Logo, a proposta de governança não conseguiu instituir mecanismos abrangentes que permanecessem ativos e sistematicamente alocassem recursos de maneira equitativa. Esse “padrão em U invertido” — em que a desigualdade começa muito elevada, desce até certo ponto e, depois, estabiliza — assemelha-se aos resultados de Governança Adaptativa e Participativa, sugerindo que os incrementos adicionais incorporados ao modelo Proposta ainda não bastam para superar as vantagens e inércias históricas de certos agentes.

Ainda assim, a qualidade da governança alcança o maior índice, 0,47 (Figura 26), dentre todas as estruturas de governança avaliadas, indicando que ela possui uma combinação mais equilibrada e eficiente de elementos adaptativos e participativos, e os alia a mecanismos de monitoramento e retroalimentação, de forma mais eficiente, o que contribui para o aumento do desempenho geral. A qualidade da decisão final, também ficou superior a 60 (Figura 27), o que reforça a visão de que essa abordagem possui a capacidade mitigar assimetrias de poder. Agora, infelizmente, ainda não é capaz de superar completamente as assimetrias de poder de forma duradoura.

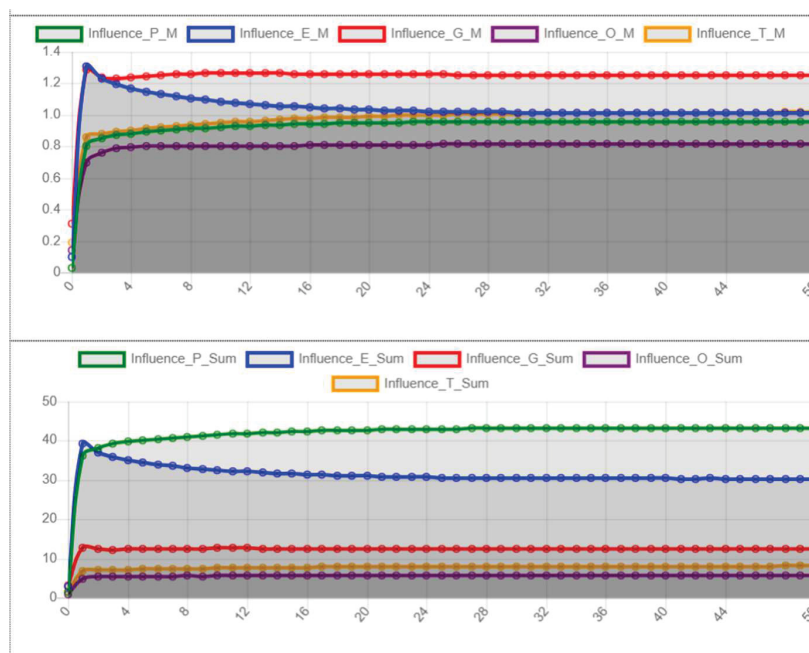
FIGURA 28 – DISTRIBUIÇÃO DE RIQUEZAS – PROPOSTA



FONTE: O Autor (2025)

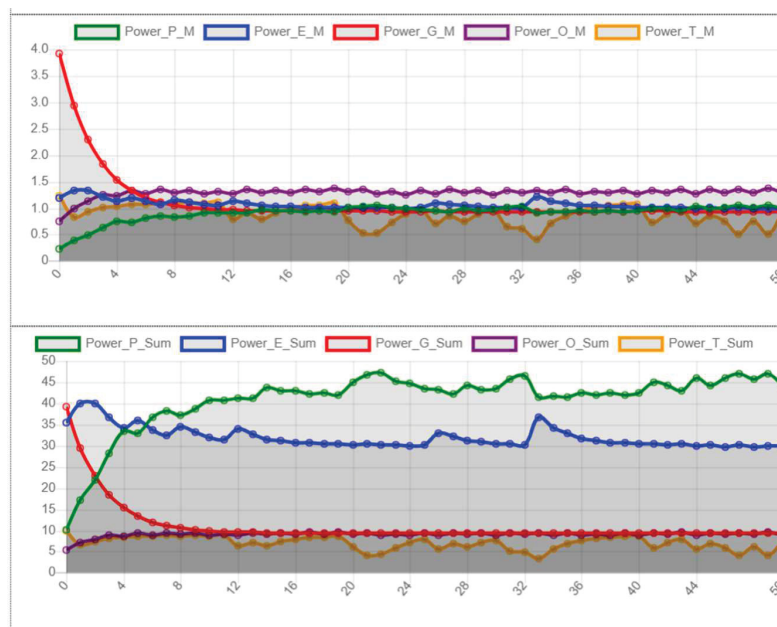
Na Figura 28, que mostra as empresas (E) e, em menor escala, o governo (G) e as pessoas (P) vão se fortalecendo. ONGs (O) e técnicos (T) exibem alguma melhora relativa em comparação aos cenários mais rígidos, mas mantêm-se em um patamar bem inferior ao dos “três grandes” (P, E, G). Em nenhum momento a soma de recursos de ONGs ou Técnicos se aproxima de 20% do total, o que confirma a perpetuação de uma estrutura socioeconômica desigual, ainda que menos abrupta do que no cenário tradicional.

FIGURA 29 – INFLUÊNCIA DOS AGENTES – PROPOSTA



FONTE: O Autor (2025)

FIGURA 30 – PODER DOS AGENTES – PROPOSTA



FONTE: O Autor (2025)

As Figuras 29 e 30 revelam um comportamento no mínimo paradoxal da Governança Proposta: ainda que apresente maior “complexidade institucional” no

modelo, com arranjos de redistribuição, participação, adaptabilidade e mecanismos de correção de assimetrias, o sistema acaba reproduzindo as limitações básicas vistas nas outras governanças, sem alcançar o salto qualitativo que se esperaria de uma inovação tão profunda. O nível de recursos não se recompõe acima de patamares médios, a desigualdade socioeconômica mantém-se em níveis altos, a concentração de poder oscila, mas não se dissipa e a satisfação média também decai ao longo dos cinquenta anos simulados. Em algumas passagens, percebe-se maior volatilidade — o que indica que o modelo, de fato, tenta reagir aos choques — mas, ao fim, não consegue estabelecer um regime mais equitativo e sustentável.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A jornada intelectual empreendida nesta tese, "Entre Sísifo e Cronos: Uma Jornada Coletiva Rumo à Sustentabilidade", culmina nestas considerações finais, onde se busca não apenas sintetizar os principais achados da pesquisa, mas também refletir sobre as implicações mais amplas desse trabalho, suas limitações e os caminhos que se abrem para futuras investigações. O objetivo central, recorde-se, foi apresentar uma proposta de estrutura de governança que auxilie na redução das assimetrias de poder na tomada de decisões para o desenvolvimento sustentável, respondendo à questão norteadora: como a sociedade poderia superar as assimetrias de poder na operacionalização do desenvolvimento sustentável?

A pesquisa, desde sua concepção, abraçou a complexidade inerente ao tema da governança para a sustentabilidade de bens comuns, e reconheceu que as assimetrias de poder, longe de serem meros desvios ou anomalias em sistemas, constituem um elemento estrutural, profundamente enraizado nas relações sociais, econômicas e políticas. Assimetrias essas que como demonstrado ao longo dos capítulos de trabalho, moldam a distribuição de recursos, a capacidade de influenciar, a definição de prioridades e, em última instância, a própria trajetória dos indivíduos e sociedades.

A revisão teórica empreendida nos Capítulos 2 e 3, com ênfase nas contribuições de autores como Foucault, Bourdieu, Dahl, Lukes, Weber e a Economia Institucional Original, revelou a multiplicidade de dimensões do poder – desde o poder coercitivo e material até as formas mais sutis de poder simbólico e ideológico. Evidenciou-se que o poder não é um atributo estático, possuído por uns e negado a outros, mas um fluxo dinâmico, constantemente negociado e disputado em redes sociais complexas. As instituições, nesse contexto, não são meros instrumentos neutros de coordenação, mas sim arenas onde as assimetrias de poder são reproduzidas, contestadas e, por vezes, transformadas.

A análise das estruturas de governança existentes, tanto em nível teórico quanto em sua aplicação a casos concretos (Mariana, Cidade do Cabo e outros exemplos internacionais), evidenciou as limitações dos modelos convencionais em lidar com a complexidade dos desafios socioambientais existentes, assim como na própria proposta aqui apresentada. A governança hierárquica, com sua ênfase na centralização e na autoridade estatal, revelou-se frequentemente incapaz de integrar

a diversidade de interesses e conhecimentos, bem como de responder de forma ágil e flexível a crises e mudanças inesperadas. A governança multinível, por sua vez, apesar de sua promessa de articulação entre diferentes esferas de poder, esbarrou em problemas de coordenação, fragmentação institucional e captura por interesses específicos.

Mesmo as abordagens mais recentes, como a governança participativa, adaptativa e cívica digital, apesar de seus avanços inegáveis, poucas vezes têm sido capazes de superar as assimetrias de poder de forma consistente. A participação, como evidenciado, pode ser meramente simbólica se não for acompanhada de mecanismos efetivos de empoderamento das comunidades e de redistribuição recursos e de poder. A própria capacidade de adaptação ou adaptabilidade pode ser cooptada por atores dominantes com interesses pecuniários (*vested interest*), valendo-se de sua capacidade de influência para moldar as mudanças em seu próprio benefício. A tecnologia, embora ofereça ferramentas promissoras para a transparência e a participação, pode reproduzir ou até mesmo amplificar as desigualdades existentes, se não for acompanhada de políticas de inclusão digital e de combate à desinformação.

Diante desse panorama, a proposta de estrutura de governança apresentada no Capítulo 4 integra, de maneira coerente e operacionalizável, princípios fundamentais como inclusão, equidade, participação, transparência, responsabilidade e adaptabilidade através de elementos como a criação de Conselhos de Governança Locais com maior representatividade representação e integrada entre diferentes atores sociais, é um elemento central da proposta e foi concebido como um mecanismo que confere de forma efetiva voz às comunidades e auxiliar na incorporação de conhecimento local na tomada de decisões. O conceito de coordenação multinível, com mecanismos claros de cooperação intersetorial e intergovernamental, buscou superar a fragmentação institucional e aumentar a coerência das políticas. A ênfase na transparência, na responsabilização e no monitoramento contínuo visa garantir que as ações dos gestores de bens públicos sejam submetidas ao escrutínio público e que os resultados sejam avaliados de forma sistematizada.

A avaliação da proposta, realizada no Capítulo 5, englobou análises quanto a sua aplicabilidade aos casos de Mariana e Cidade do Cabo, bem como comparações com outras abordagens existentes, o que revelou seu potencial para a melhoria da

tomada de decisão e na redução de assimetrias de poder, assim como na promoção de uma governança mais sustentável. A proposta, como argumentado, supera algumas limitações dos modelos convencionais ao articular de forma mais coerente e consistente as diferentes dimensões da governança, ao conferir poder decisório efetivo às comunidades, ao promover a adaptação contínua e ao valorizar a diversidade de saberes.

Contudo, a pesquisa não se limitou realizar somente a análise teórica ou à avaliação conceitual da proposta. No Capítulo 6, apresenta um modelo de simulação computacional baseado em agentes (ABM), que representa um esforço inovador de operacionalizar os conceitos e princípios discutidos ao longo da tese, permitindo testar hipóteses, explorar cenários e avaliar o impacto de diferentes configurações institucionais na dinâmica do sistema socioecológico. O modelo, inspirado em dados da região de Mariana e parâmetros econômicos e sociais Brasileiros, tem o potencial de ser aplicado a outros contextos, representou as interações entre agentes heterogêneos (indivíduos, empresas, governo, ONGs, especialistas) em uma rede social, considerando fatores como riqueza, poder, capital social, conhecimento, satisfação, participação, bem como variáveis externas como preços de mercado e pressão sobre os recursos naturais.

Os resultados das simulações, apresentados e discutidos em detalhe no Capítulo 6, forneceram pontos de vista valiosos sobre as dinâmicas inerente a governança de bens comuns para a sustentabilidade. Em primeiro lugar, confirmaram a persistência das assimetrias de poder nas diversas estruturas de governança estudadas, aqui incluindo cenários que incorporavam mecanismos de participação e adaptação. As simulações mostraram que, em contextos de desigualdade inicial elevada, os agentes com maior poder e influência tendem a consolidar essas vantagens, potencialmente capturando os processos decisórios e moldando as políticas em seu próprio benefício. Logo, a participação, por si só, não se mostra suficiente para reverter essa tendência; também é evidenciada a necessidade de mecanismos robustos para reverter assimetrias de poder como Conselhos com poder decisório real, apoio técnico e financeiro a grupos marginalizados, e integração de diversos saberes de forma a redistribuir poder e empoderar comunidades.

Em segundo lugar, as simulações revelaram a importância da coordenação e da integração entre múltiplos níveis e setores para uma melhor governança. A fragmentação institucional, como demonstrado ao longo do texto, com parâmetros que

representavam essas desagregações, mostrou que podem levar a decisões inconsistentes e à ineficiência na alocação de recursos. Logo, a criação de mecanismos de cooperação intersetorial e intergovernamental, como delineado na proposta de estrutura de governança aqui defendida, mostrou-se essencial para o aumento da coerência de políticas e para uma melhor eficiência de decisões e ações.

Em terceiro lugar, as simulações destacaram a relevância da transparência, da responsabilização e do monitoramento contínuo, conjuntamente com a disponibilidade de informações claras e acessíveis, além da existência de mecanismos de responsabilização, a avaliação sistemática dos resultados, pois são elementos fundamentais para que decisões sejam tomadas de forma informada, para que os gestores públicos sejam responsabilizados por suas ações e para que as políticas sejam ajustadas com base em evidências. Cabe aqui frisar que esses elementos se mostraram muito complexos para modelar, simular e validar.

Em quarto lugar, as simulações evidenciaram como pequenas mudanças nas condições ou nos parâmetros iniciais do modelo podem ter efeitos significativos na trajetória de sistemas complexos baseados em agentes, demonstrando o quão importante é uma abordagem adaptativa e flexível, capaz de lidar com a incerteza e com as mudanças inesperadas. Isso porque a capacidade de aprender com a experiência, de ajustar as políticas com base em retroalimentações e de incorporar novos conhecimentos são essenciais para a governança de bens comuns de acesso aberto.

Comparando as diferentes estruturas de governança simuladas (Tradicional, Hierárquica, em Rede, Adaptativa, Participativa e Proposta), observou-se que a Governança Proposta, embora não tenha eliminado completamente as assimetrias de poder, como já era esperado, apresentou os melhores resultados em termos de qualidade da decisão, satisfação média e redução da desigualdade, fato que sugere que a integração dos princípios da inclusão, equidade, participação, transparência, responsabilidade e adaptabilidade em um arcabouço coerente pode, de fato, contribuir para uma governança mais justa e sustentável.

Contudo, é fundamental ressaltar as limitações do modelo de simulação e, por extensão, das conclusões que dele podem ser extraídas. O modelo, por sua própria natureza, é uma simplificação da realidade, que captura apenas alguns aspectos selecionados do sistema socioecológico em questão, ou seja, da realidade. As equações que governam as interações entre os agentes, os pressupostos subjacentes

e os parâmetros utilizados são, inevitável e inerentemente aproximações, que não refletem a complexidade e a diversidade das relações sociais reais.

Além disso, o modelo, em sua versão atual, não incorpora de forma explícita diversas dimensões como por exemplo a cultural, que desempenha um papel fundamental na moldagem dos valores, das normas e das práticas sociais.

Outra limitação importante do modelo reside em sua escala temporal. As simulações foram realizadas em um horizonte de 50 anos, o que, embora seja um período consideravelmente longo, muitas vezes não são suficientes para capturar todos os efeitos de longo prazo de políticas e das mudanças institucionais. A transformação das estruturas de poder, como argumentado, é um processo lento e gradual, que envolve a mudança de mentalidades, a construção de novas instituições e a superação de resistências arraigadas. A extensão do horizonte temporal das simulações, em futuras pesquisas, poderia fornecer informações adicionais sobre a dinâmica da governança para a sustentabilidade.

Apesar dessas limitações, o modelo de simulação apresentado nesta tese representa uma contribuição original e relevante para o campo da governança de bens comuns para a sustentabilidade. Ao operacionalizar conceitos e princípios teóricos em um ambiente computacional, o modelo permite testar hipóteses, explorar cenários e avaliar o impacto de diferentes configurações institucionais de forma sistemática e controlada. O modelo, como argumentado, não se propõe a ser uma representação exata da realidade, mas sim um instrumento heurístico, que auxilia na compreensão das dinâmicas complexas da governança e na identificação de estratégias promissoras para a promoção do desenvolvimento sustentável.

As implicações desta pesquisa, portanto, transcendem os resultados específicos das simulações, pois em conjunto com avaliações de casos empíricos e teóricos, aponta para a necessidade de uma profunda transformação na forma como a sociedade governa seus recursos hídricos e enfrenta os desafios socioambientais. A superação das assimetrias de poder, como demonstrado, não é uma tarefa simples ou rápida, mas um processo contínuo e multifacetado, que exige a mobilização de diferentes atores sociais, a criação de novas instituições e a adoção de uma abordagem sistêmica e integrada.

A governança para a sustentabilidade, como argumentado ao longo desta tese, não pode ser reduzida a um conjunto de técnicas ou a um modelo único a ser aplicado de forma universal. É preciso reconhecer a diversidade de contextos, a

pluralidade de interesses e a importância da adaptação das estratégias às especificidades de cada situação. A participação, a transparência, a responsabilização e a adaptabilidade, como demonstrado, são princípios fundamentais, mas sua implementação efetiva requer um compromisso contínuo com a inclusão, a equidade e a justiça social.

A jornada "Entre Sísifo e Cronos", como sugere o título desta tese, é uma jornada contínua, marcada por avanços e retrocessos, por sucessos e fracassos. A cada passo, a sociedade se depara com novos desafios, com novas complexidades, com novas assimetrias de poder a serem superadas. A pesquisa aqui apresentada, longe de oferecer uma solução definitiva, representa um convite à reflexão, ao diálogo e à ação. Um convite para que, juntos, possamos construir um futuro no qual a sustentabilidade não seja apenas um ideal distante, mas sim uma realidade concreta, acessível a todos.

Em última análise, a superação das assimetrias de poder na governança para a sustentabilidade de bens comuns de acesso aberto hídrico não é apenas uma questão de eficiência ou de eficácia, mas sim uma questão de justiça. Trata-se de garantir que todos os indivíduos e grupos sociais tenham voz, que seus direitos sejam respeitados e que suas necessidades sejam atendidas. Trata-se de construir uma sociedade onde a riqueza, o poder e as oportunidades sejam distribuídos de forma mais equitativa, onde a diversidade seja valorizada e onde a solidariedade prevaleça sobre o individualismo.

A pesquisa aqui apresentada, com suas limitações e seus desafios, representa um passo nessa direção. Um passo que, espera-se, possa inspirar novas pesquisas, novas políticas e novas práticas, que contribuam para a construção de um futuro mais justo, sustentável e em harmonia com o planeta.

REFERÊNCIAS

- ABERS, R. N.; KECK, M. E. **Practical Authority: Agency and Institutional Change in Brazilian Water Politics**. Oxford: Oxford University Press, 2013.
- ABRAHAM, J. A. **Traditional institutions, water rights and sustainable water management in Ghana**. Wageningen University, PhD thesis, 2010.
- ACEMOGLU, D.; ROBINSON, J. A. **Why nations fail: the origins of power, prosperity, and poverty**. New York: Crown Business, 2012.
- ACEVES, A.; BAK-COLEMAN, J. B.; BARON, M. **Power asymmetry and the Gini index in social networks**. *Journal of Complex Networks*, v. 10, n. 4, 2022.
- ACSELRAD, H. **Ambientalização das lutas sociais: o caso do movimento por justiça ambiental**. *Estudos Avançados*, v. 24, n. 68, p. 103-119, 2010.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2015**: Informe Anual. Brasília: ANA, 2015.
- AGRANOFF, Robert. **Managing Within Networks**: Adding Value to Public Organizations. Washington, D.C.: Georgetown University Press, 2007.
- AGRAWAL, Arun; GIBSON, Clark C. Enchantment and disenchantment: The role of community in natural resource conservation. **World Development**, v. 27, n. 4, p. 629-649, 1999.
- AJZEN, I. The theory of planned behavior. **Organizational Behavior and Human Decision Processes**, v. 50, n. 2, p. 179-211, 1991.
- ANSELL, Chris; GASH, Alison. Collaborative governance in theory and practice. **Journal of Public Administration Research and Theory**, v. 18, n. 4, p. 543-571, 2007.
- ARNSTEIN, Sherry R. A ladder of citizen participation. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 35, n. 4, p. 216-224, 1969.
- ARROW, Kenneth J.; DEBREU, Gerard. Existence of an Equilibrium for a Competitive Economy. **Econometrica**, v. 22, n. 3, p. 265-290, 1954.
- AYRES, Clarence Edwin. **The theory of economic progress**. New York: Schocken Books, 1962.
- AXTELL, Robert. **Why agents?** On the varied motivations for agent computing in the social sciences. Washington, D.C.: Brookings Institution Press, 2000. (Center on Social and Economic Dynamics Working Paper, 17).
- BACHRACH, P.; BARATZ, M. S. Two Faces of Power. **The American Political Science Review**, v. 56, n. 4, p. 947-952, dec. 1962.

BACKSTRAND, Karin. Democratizing global environmental governance? Stakeholder democracy after the World Summit on Sustainable Development. **European Journal of International Relations**, v. 12, n. 4, p. 467-498, 2006.

BAKKER, K. **Privatizing water**: Governance failure and the world's urban water crisis. Ithaca: Cornell University Press, 2010.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório de inflação – 2020**. Brasília: Banco Central, 2020.

BAI, Xiaodong; ROBERT, Kanitsorn; KAN, Hyo-Jung; YANG, Jing; WANG, Yi. Governance of urban sustainability transitions in China. **Environmental Science & Policy**, v. 112, p. 1-9, 2020.

BAI, Xuemei; GANUZA, Ernesto. **Popular democracy**: The paradox of participation. Stanford: Stanford University Press, 2017.

BAIOCCHI, Gianpaolo. Why participatory budgeting? Lessons from Porto Alegre. **Politics & Society**, [S.l.], v. 33, n. 1, p. 43-72, 2005.

BAKKER, K. **Privatizing water**: Governance failure and the world's urban water crisis. Ithaca: Cornell University Press, 2010.

BARRAQUÉ, B. **Les politiques de l'eau en Europe**. Paris: La Découverte, 1995.

BARNES, Michele L.; JAGERS, Sverker C. Environmental justice research shows the importance of social feedbacks in ecosystem-based management. **Ecological Economics**: the journal of the International Society for Ecological Economics, 2019. ISSN: 0921-8009, 1873-6106.

BARANYAI, Gábor. **European water law and hydropolitics**: an inquiry into the resilience of transboundary water governance in the European Union. Cham: Springer, 2019.

BAUER, C. J. **Reforming water rights in Chile**: Trading institutions in a contested policy arena. Washington, DC: RFF Press/Routledge, 2015.

BEBBINGTON, A. et al. Mining and social movements: struggles over livelihood and rural territorial development in the Andes. **World Development**, v. 36, n. 12, p. 2888-2905, 2008.

BECK, Ulrich. **Risk society**: Towards a new modernity. London: Sage, 1992.

BEHN, Robert D. The performance paradox in the public sector. **Public Performance & Management Review**, v. 25, n. 2, p. 144-157, 2001.

BENKLER, Y.; FARIS, R.; ROBERTS, H. **Network Propaganda**: Manipulation, Disinformation, and Radicalization in American Politics. New York: Oxford University Press, 2018.

BERTOT, John C.; JAEGER, Paul T.; GRIMES, Justin M. Using ICTs to create a culture of transparency: E-government and social media as openness and anti-corruption tools for societies. **Government Information Quarterly**, v. 27, n. 3, p. 264-271, 2010.

BERKES, Fikret; COLDING, Johan; FOLKE, Carl. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. **Ecological Applications**, v. 10, n. 5, p. 1251-1262, 2000.

BERKES, Fikret; FOLKE, Carl. **Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience**. Cambridge: Cambridge University Press, 1998.

BERLAND, J.-M.; BERTILLE, A. Towards adaptive water governance: insights from drought management in France. **Regional Environmental Change**, v. 21, art. 79, 2021.

BETTENCOURT, P et al.; NEMUS – Gestão e Requalificação Ambiental, Lda; Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF). Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio São Francisco 2016-2025. **Recursos Hídricos**, v. 37, p. 73-80, 2016.

BETTENCOURT, Luís M. A.; LOBO, José; HELBING, Dirk; KÜHNERT, Christian; WEST, Geoffrey B. Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 17, p. 7301-7306, 2007.

BIERMANN, Frank; PATTBERG, Philipp H. **Global Environmental Governance Reconsidered**. Cambridge, MA: MIT Press, 2012.

BIERMANN, Frank; PATTBERG, Philipp; VAN ASSHE, Klaas. The fragmentation of global governance architectures: A framework for analysis. **Global Environmental Politics**, v. 9, n. 4, p. 45-64, 2009.

BIGGS, Harry; ROGERS, Kevin. An adaptive system to link science, monitoring, and management in practice. In: *Adaptive Management of Social-Ecological Systems*. Dordrecht: Springer, 2011. p. 59-80.

BNDES. **Relatório de inovação e produtividade industrial**. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2021.

BODIN, Örjan; CRONA, Beatrice. Management of natural resources at the community level: Exploring the role of social capital and leadership in a rural fishing community. **World Development**, v. 37, n. 12, p. 2763-2777, 2009.

BOESCH, Donald F. Scientific requirements for ecosystem-based management in the restoration of Chesapeake Bay and coastal Louisiana. **Ecological Engineering**, v. 26, n. 1, p. 6-26, 2006.

BONABEAU, Eric. Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. In: PROCEEDINGS of the National Academy of Sciences. Washington, D.C.: National Academy of Sciences, 1999. v. 99, n. 3, p. 7280-7287.

BOURDIEU, P. The forms of capital. In: RICHARDSON, J. (Ed.). **Handbook of Theory and Research for the Sociology of Education**. Nova York: Greenwood, 1986. p. 241-258.

BOVENS, Mark. Public accountability. In: Ferlie, Ewan; Lynn Jr, Lawrence E.; Pollitt, Christopher (Eds.). **The Oxford Handbook of Public Management**. Oxford: Oxford University Press, 2007a. p. 182-208.

BOVENS, M. Analysing and assessing accountability: A conceptual framework. **European Law Journal**, v. 13, n. 4, p. 447-468, 2007b.

BOWLES, S.; GINTIS, H. **A cooperative species: human reciprocity and its evolution**. Princeton: Princeton University Press, 2011.

BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 set. 2010. Seção 1, p. 2.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470.

BRIDGE, G. Contested terrain: mining and the environment. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 29, p. 205-259, 2004.

BRYSON, John M.; CROSBY, Barbara C.; STONE, Melissa M. The design and implementation of Cross-Sector collaborations: Propositions from the literature. **Public Administration Review**, v. 66, n. s1, p. 44-55, 2006.

BRUGHA, R.; VARVASOVSKY, Z. Stakeholder analysis: a review. **Health Policy and Planning**, v. 15, n. 3, p. 239-246, Sept. 2000.

BRUNDTLAND, Gro Harlem. **Our Common Future**: The World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press, 1987.

BULKELEY, Harriet; BETSILL, Michele M. **Cities and climate change**: Urban sustainability and global environmental governance. New York: Routledge, 2005.

BULLARD, Robert D. **Dumping in Dixie**: Race, class, and environmental quality. Boulder: Westview Press, 1993.

BURT, R. **Brokerage and Closure: An Introduction to Social Capital**. Oxford: Oxford University Press, 2005a.

BURT, R. S. **Structural Holes: The Social Structure of Competition**. Cambridge: Harvard University Press, 2005b.

CASTELLANO, C.; FORTUNATO, S.; LORETO, V. Statistical physics of social dynamics. **Reviews of Modern Physics**, v. 81, p. 591-646, 2009.

CITY OF CAPE TOWN. **Integrated Development Plan 2017-2022: 2018/19 Review**. Cape Town: City of Cape Town, 2018a.

CITY OF CAPE TOWN. Service Delivery and Budget Implementation Plan 2018/19. Cape Town: City of Cape Town, 2018a.

COLEMAN, J. S. **Foundations of social theory**. Cambridge: Harvard University Press, 1990.

CALICOTT, J. Baird. **Environmental philosophy: from animal rights to radical ecology**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1990.

CAPISTRANO, Doris; LEE, M. J.; RAUDSEPP-HEARNE, C.; SAMPER, C.; SCHOLLES, ROBERT J.; SHARMA, K.; ZAKRI, A. H. **Ecosystems and Human Well-being: Multiscale Assessments**. Findings of the Sub-global Assessments Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment. Washington, DC: Island Press, 2005.

CARMO, F. F. et al. Fundão tailings dam failures: The environmental tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, n. 3, p. 145-151, 2017.

CASH, David W.; ADGER, W. Neil; BERKES, Fikret; GARDEN, Peter; LEBEL, Louis; OLSSON, Per; PULSIPHER, Ashwini; YOUNG, Oran R. Scale and cross-scale dynamics: governance and information in a multilevel world. **Ecology and Society**, v. 11, n. 2, 2006.

CHADWICK, Andrew. Web 2.0: New challenges for the study of e-democracy in an era of informational exuberance. **I/S: A Journal of Law and Policy for the Information Society**, v. 5, p. 9-41, 2009.

CENTRAL POLLUTION CONTROL BOARD (India). **Status of Water Quality in India – 2019-2020**. New Delhi: CPCB, 2021

COASE, R. H. The Problem of Social Cost. **Journal of Law and Economics**, v. 3, p. 1-44, Oct. 1960.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo 2016**. São Paulo: CETESB, 2017.

COMMONS, John Rogers. **Institutional economics: Its place in political economy**. Madison: University of Wisconsin Press, 1934.

CONNELL, Daniel. **Water politics in the Murray-Darling Basin**. Annandale: Federation Press, 2007.

COLEMAN, Stephen; BLUMLER, Jay G. **The Internet and Democratic Citizenship: Theory, Practice and Policy**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

COLEMAN, J. S. **Foundations of Social Theory**. Cambridge: Harvard University Press, 1990.

CRAMER, J. S. **Logit Models from Economics and Other Fields**. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

DAHL, R. A. The Concept of Power. **Behavioral Science**, v. 2, n. 3, p. 201-215, jul. 1957.

DAL BÓ, E. Regulatory Capture: A Review. **Oxford Review of Economic Policy**, v. 22, n. 2, p. 203-225, 2006.

Daly, H. E. (1996). **Beyond Growth: The Economics of Sustainable Development**. Beacon Press.

DE BOER, Cheryl; KRANTZBERG, Gail. Great Lakes water governance: A transboundary inter-regime analysis. In: SMITH, John; MARTINEZ, Anna (Eds.). **Water Governance as Connective Capacity: Challenges and Opportunities**. London: Routledge, 2016. p. 315–332.

DENARDIS, Laura. **The Global War for Internet Governance**. New Haven: Yale University Press, 2014.

DIETZ, Thomas; OSTROM, Elinor; STERN, Paul C. The struggle to govern the commons. **Science**, v. 302, n. 5652, p. 1907-1912, 2003.

DORFMAN, R. A formula for the Gini coefficient. **The Review of Economics and Statistics**, v. 61, n. 1, p. 146-149, 1979.

DRYZEK, John S. **The politics of the Earth: Environmental discourses**. Oxford: Oxford University Press, 2013.

DUGGER, William M. **Radical institutionalism: Basic concepts**. New York: Greenwood Press, 1988.

DUTI, Andreas; GALAZ, Victor. Governance and complexity – emerging issues for governance theory. **Governance**, v. 21, n. 3, p. 311-335, 2008.

EINS, Paul; USUBIAGA, Ana. **Resources, society and the environment**. London: Routledge, 2019.

ELSTER, Jon. **Ulysses and the Sirens: Studies in rationality and irrationality**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

EMERSON, Kirk; NABATCHI, Tina; BALOGH, Stephen. An integrative framework for collaborative governance. **Journal of Public Administration Research and Theory**, v. 22, n. 1, p. 1-29, 2012.

EMPINOTTI, V. L.; JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. Governança da Água no Brasil: uma análise a partir das redes de políticas públicas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219-232, mar./abr. 2019.

ENQVIST, J. P.; ZIERVOGEL, G. Water governance and justice in Cape Town: An overview. **WIREs Water**, v. 6, n. 4, e1354, 2019.

EPSTEIN, Joshua M. Generative social science: **Studies in agent-based computational modeling**. Princeton: Princeton University Press, 2006.

EPSTEIN, Joshua M.; AXTELL, Robert. **Growing artificial societies: Social science from the bottom up**. Cambridge, MA: MIT Press, 1996.

ERNST, H. **Chesapeake Bay Blues**: Science, Politics, and the Struggle to Save the Bay. Washington, D.C.: Island Press, 2003.

FAO; UNEP. **The State of the World's Forests 2020**: Forests, biodiversity and people. Rome: FAO; UNEP, 2020

FERNANDES, G. W. et al. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Natureza & Conservação**, v. 14, n. 2, p. 35-45, 2016.

FISCHER, Frank. Participatory governance: From theory to practice. Oxford: Oxford University Press, 2006.

FOLKE, Carl; HAHN, Thomas; OLSSON, Per; NORBERG, Jon. Adaptive governance of social-ecological systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 30, p. 441-473, 2005a.

FOLKE, C.; CARPENTER, S. R.; WALKER, B.; SCHEFFER, M.; CHAPIN, T.; ROCKSTRÖM, J. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 35, p. 557-581, 2005b.

FOLKE, Carl; HAHN, Thomas; OLSSON, Per; NORBERG, Jon. Resilience and sustainable development: building adaptive capacity in a world of transformations. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 31, n. 5, p. 437-440, 2002.

FORRESTER, Jay W. **Industrial Dynamics**. Cambridge, MA: MIT Press, 1961.

FOUCAULT, Michel. **Discipline and Punish**: The birth of the prison. New York: Pantheon Books, 1977.

FOSS, Nicolai J.; KLEIN, Peter G. **Organizing Entrepreneurial Judgment**: A New Approach to the Firm. Cambridge: Cambridge University Press, 2012.

FRASER, Nancy. **Scales of Justice**: Reimagining Political Space in a Globalizing World. New York: Columbia University Press, 2009.

FUNG, Archon. Varieties of participation in complex governance. **Public Administration Review**, v. 66, p. 66-75, 2006. doi:10.1111/j.1540-6210.2006.00667.

FUNG, A. **Empowered participation: reinventing urban democracy**. Princeton: Princeton University Press, 2006a.

FUNG, Archon; WRIGHT, Erik Olin. **Deepening democracy**: Institutional innovations in empowered participatory governance. New York, NY: Verso, 2003.

FUNK, Cary; WRIGHT, T. **Sustainable governance in the twenty-first century**. Stanford: Stanford University Press, 2003.

FUNTOWICZ, Silvio O.; RAVETZ, Jerome R. Science for the post-normal age. **Futures**, v. 25, n. 7, p. 739-755, 1993.

FUNTOWICZ, Silvio O.; RAVETZ, Jerome R. **Incerteza e qualidade na ciência para políticas**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990.

Gagg, A. (2014). Governança represada: assimetria de poder e resistência no Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Tibagi. **Revista Interdisciplinar da Mobilidade Humana**, 22(42), 45-60

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. **The Entropy Law and the Economic Process**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1971.

GERLAK, A. K.; GRANT, J. T. Politics, science, and institutional choice in transboundary water governance: lessons from the Danube and Rhine basins. **Policy Studies Journal**, v. 38, n. 4, p. 637-659, 2010.

GILBERT, N.; TROITZSCH, K. G. **Simulation for the social scientist**. 2nd ed. Maidenhead: Open University Press, 2005.

GINI, C. **Variabilità e Mutabilità**. Bologna: Cuppini, 1912.

GRAY, Barbara. **Collaborating**: Finding common ground for multiparty problems. San Francisco: Jossey-Bass, 1989.

GRUMBINE, R. Edward. What is ecosystem management? **Conservation Biology**, v. 8, n. 1, p. 27-38, 1994.

GUNDERSON, Lance H.; HOLLING, C.S. **Panarchy**: Understanding transformations in human and natural systems. Washington, D.C.: Island Press, 2002.

GUNDERSON, Lance H.; LIGHT, Stephen S. Adaptive management and adaptive governance in the everglades ecosystem. **Policy Sciences**, v. 39, n. 4, p. 323-334, 2006.

HAGBERG, A.; SCHULT, D. A.; SWART, P. J. Exploring network structure, dynamics, and function using NetworkX. In: **Proceedings of the 7th Python in Science Conference (SciPy2008)**, 2008.

HAJER, M. A. **The Politics of Environmental Discourse: Ecological Modernization and the Policy Process**. Oxford: Clarendon Press, 1995.

HARDIN, G. The tragedy of the commons. **Science**, v. 162, n. 3859, p. 1243-1248, 1968.

HARRIS, Charles R.; MILLMAN, K. Jarrod; VAN DER WALT, Stéfan J.; GOMMERS, Ralf; VIRTANEN, Pauli; COURNAPEAU, David; WIESER, Eric; TAYLOR, Julian; BERG, Sebastian; SMITH, Nathaniel J.; KERN, Robert; PICUS, Matti; HOYER, Stephan; VAN KERKWIJK, Marten H.; BRETT, Matthew; HALCHENKO, Alex; GARCÍA, Iván F.; ZITO, Tiziano; WÄCHTER, Andreas; [...] OLIPHANT, Travis E. Array programming with NumPy. **Nature**, v. 585, n. 7825, p. 357-362, 2020. DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2.

HARVEY, D. **O Novo Imperialismo**. São Paulo: Loyola, 2005.

HEINELT, H.; KÜBLER, D. (Eds.). **Metropolitan Governance: Capacity, Democracy and the Dynamics of Place**. London: Routledge, 2005.

HELLER, Patrick. Moving the State: The Politics of Decentralization in Kerala, South Africa, and Porto Alegre. **Politics & Society**, v. 29, n. 1, p. 131-163, 2001.

HELSPER, Ellen Johanna. A corresponding fields model for the links between social and digital exclusion. **Communication Theory**, v. 22, n. 4, p. 403-426, 2012.

HODGE, Graeme; GREVE, Carsten. Public-private partnerships: An international performance review. **Public Administration Review**, v. 67, n. 3, p. 545-558, 2007.

HODGSON, G. M. **The Evolution of Institutional Economics: Agency, Structure and Darwinism in American Institutionalism**. London: Routledge, 2004.

HOLLING, C. S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 4, n. 1, p. 1-23, 1973.

HOOGHE, Liesbet; MARKS, Gary. Contrasting Visions of Multi-level Governance. In: BACHE, Ian; FLINDERS, Matthew (Eds.). **Multi-level Governance**. Oxford: Oxford University Press, 2004.

HOOGHE, L.; MARKS, G. Unraveling the central state, but how? Types of multi-level governance. **American Political Science Review**, v. 97, n. 2, p. 233-243, 2003.

HOOGHE, Liesbet; MARKS, Gary. **Multi-level governance and European integration**. Lanham: Rowman & Littlefield, 2001.

HOWARD, Philip N.; PARKS, Malcolm R. Social media and political change: Capacity, constraint, and consequence. **Journal of Communication**, v. 62, n. 2, p. 359-362, 2012.

HUXHAM, Chris; VANGEN, Siv. **Managing to Collaborate**: the theory and practice of collaborative advantage. New York: Routledge, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Relatório de Gestão 2018**. Brasília, DF: IBAMA, 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br>. Acesso em: 20 jan. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). **Nota Técnica nº 01/2016 – COHID/CGENE/DILIC**: Diagnóstico Ambiental Preliminar da Área Impactada pelo Rompimento da Barragem de Fundão, Município de Mariana/MG. Brasília, DF: IBAMA, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Meio ambiente e sustentabilidade: relatório anual**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População estimada e distribuição geográfica**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Relatório de desigualdade de renda no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). **Eficiência produtiva e inovação no Brasil**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2019.

IMPERIAL, Mark T. Using collaboration as a governance strategy: Lessons from six watershed management programs. **Administration & Society**, v. 37, n. 3, p. 281-320, 2005.

INNES, Judith E.; BOOHER, David E. **Planning with Complexity**: an introduction to collaborative rationality for public policy. New York: Routledge, 2018.

INNES, Judith E.; BOOHER, David E. Collaborative policymaking: Governance through dialogue. **Deliberative Democracy in Practice**, v. 2, p. 35-66, 2004.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Contribution of Working Group II to the Sixth **Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. DOI: 10.1017/9781009325844.

JACOBI, P. R.; FRACALANZA, A. P. Comitês de bacias hidrográficas no Brasil: desafios para o fortalecimento de uma governança participativa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, n. 11/12, p. 61-79, jan./dez. 2005.

JESSOP, Bob. Governance and metagovernance: On reflexivity, requisite variety, and requisite irony. *In: Governance as social and political communication*. Manchester: Manchester University Press, 2009. p. 101-116.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect theory: An analysis of decision under risk. **Econometrica**, v. 47, n. 2, p. 263-291, 1979.

KAZIL, J.; MASAD, D.; CROOKS, A. Mesa: An agent-based modeling framework. **Journal of Open Source Software**, v. 5, n. 51, p. 1440, 2020.

KENIS, Patrick. Governance Networks: Conceptualization, Theoretical Challenges, and Research Perspectives. *In: SØRENSEN, Eva; TORFING, Jacob (Eds.). Theories of Democratic Network Governance*. New York: Palgrave Macmillan, 2008

KINGDON, J. W. **Agendas, Alternatives, and Public Policies**. Boston: Little, Brown, 1984.

KLIJN, Erik-Hans; KOPPENJAN, Joop. **Governance networks in the public sector**. New York: Routledge, 2016.

KLOPFER, Walter. Life cycle assessment: from the beginning to the current state. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 3, n. 3, p. 123-126, 1996.

KOPP, Raymond. Toward a more sustainable energy future. *In: Energy and Environmental Policy Center Conference on Energy, Environment and the Economy*, Harvard University, 1986.

KOPPELL, Jonathan G. Pathologies of accountability: ICANN and the challenge of "multiple accountabilities disorder." **Public Administration Review**, v. 65, n. 1, p. 94-108, 2005.

KUKS, S. The evolution of the national water regime in the Netherlands. **Water Policy**, v. 4, n. 3, p. 197-215, 2002.

LEJARS, C. et al. Participatory processes for adapting agriculture to climate change: Lessons from water management issues in France. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 65, n. 11, p. 2057-2076, 2022.

LEACH, Melissa; MEARNNS, Robin; SCOONES, Ian. Transforming Innovation for Sustainability. **Ecology and Society**, v. 17, n. 3, 2012.

LEACH, Melissa; MEARNNS, Robin; SCOONES, Ian. Environmental entitlements: dynamics and institutions in community-based natural resource management. **World Development**, v. 27, n. 2, p. 225-247, 1999.

LEACH, M.; SCOONES, I.; WYNNE, B. (Eds.). **Science and Citizens**: Globalization and the Challenge of Engagement. London: Zed Books, 2005.

LEJARS, C.; COURTECUISSIE, V.; DEUFF, N. L.; GOBIN, A. Participatory processes for adapting agriculture to climate change: Lessons from water management issues in France. **Journal of Environmental Planning and Management**, v. 65, n. 11, p. 2057-2076, 2022.

LEMOS, M. C.; AGRAWAL, A. Environmental governance. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 31, p. 297-325, 2006.

LESLIE, Heather M.; MCLEOD, Karen L. Confronting the challenges of implementing marine ecosystem-based management. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 10, p. 540-548, 2007.

LEVY, D. L.; NEWELL, P. J. (Eds.). **The Business of Global Environmental Governance**. Cambridge, MA: MIT Press, 2005.

LOORBACH, Derk. Transition management for sustainable development: a prescriptive, complexity-based governance framework. **Governance**, v. 23, n. 1, p. 161-183, 2010.

LORENZ, E. N. Deterministic Nonperiodic Flow. **Journal of the Atmospheric Sciences**, v. 20, n. 2, p. 130-141, 1963.

LOSEKANN, C. (Org.). **Atingidos por barragens**: violações de direitos humanos no Brasil. Viçosa, MG: Editora UFV, 2017.

LUKES, Steven. **Power**: A radical view. 2nd ed. London: Macmillan International Higher Education, 2005.

MANZINI, Ezio. **Design, when everybody designs**: An introduction to design for social innovation. Cambridge: MIT Press, 2015.

MARGETTS, Helen; DUNLEAVY, Patrick. The second wave of digital-era governance: a quasi-paradigm for government on the Web. **Philosophical Transactions of the Royal Society**: A mathematical, physical and engineering sciences, v. 371, n. 1987, 2013.

MARTENS, Pim; ROTMANS, Jan; VAN ASSELT, Marjolein B.A.; VELDKAMP, Tom. Transitions in a globalizing world. **Futures**, v. 40, n. 10, p. 885-891, 2008.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic Theory**. Oxford: Oxford University Press, 1995.

MANSURI, Ghazala; RAO, Vijayendra. **Localizing development**: Does participation work? Washington, D.C.: World Bank Publications, 2012.

MARTINEZ-ALIER, J. **The Environmentalism of the Poor**: A Study of Ecological Conflicts and Valuation. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.

MEADOWCROFT, James. Who is in charge here? Governance for sustainable development in a complex world. *In: **Governance for sustainable development: the challenge of adapting form to function.*** Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2013. p. 107-122.

MEADOWCROFT, James. Democracy and accountability: The challenge for cross-sectoral partnerships. *In: **Natural resources forum.*** Oxford: Blackwell Publishing Ltd, 2004. p. 176-185.

MEADOWCROFT, James. Participation and sustainable development: Modes of citizen, community and organisational involvement. *In: **Governance for Sustainable Development: the challenge of adapting form to function.*** Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 1999. p. 162-193.

MEADOWCROFT, James. Planning, democracy and the challenge of sustainable development. **International Political Science Review**, v. 22, n. 2, p. 167-185, 2001.

MEADOWS, Donella H. **Thinking in Systems: A Primer.** Chelsea Green Publishing, 2008.

MEADOWS, Donella H.; MEADOWS, Dennis L.; RANDERS, Jørgen; BEHRENS III, WILLIAM W. **The Limits to Growth.** New York: Universe Books, 1972.

MEKONG RIVER COMMISSION (MRC). **Strategic Plan 2011–2015.** Vientiane: Mekong River Commission, 2011.

MILANEZ, B.; LOSEKANN, C.; SANTOS, R. O desastre da Samarco e a política dos afetados: Uma análise da construção social e política dos danos. **Dados**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 3, e20170087, 2019.

MILANEZ, B.; SANTOS, R. Do.; LOSEKANN, C. O desastre no Vale do Rio Doce: antecedentes, impactos e ações sobre a destruição. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 31, p. 1-4, 2015.

MILLER, J. H.; PAGE, S. E. **Complex adaptive systems: an introduction to computational models of social life.** Princeton: Princeton University Press, 2007.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Rompimento da barragem de Fundão, em Mariana: resultados e desafios cinco anos após o desastre. 2020.** Disponível em: <https://www.mpmg.mp.br/portal/menu/comunicacao/noticias/rompimento-da-barragem-de-fundao-em-mariana-resultados-e-desafios-cinco-anos-apos-o-desastre.shtml>. Acesso em: 21 jan. 2025.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS. **Relatório de Fiscalização da Política Nacional de Segurança de Barragens.** Belo Horizonte: MPMG, 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO DE MINAS GERAIS. **Relatório de Monitoramento Socioambiental da Bacia do Rio Doce.** Belo Horizonte: MPMG, 2016.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Relatório técnico constata que barragem de Fundão não teria rompido com drenagem adequada.** 2015. Disponível em: <https://www.mpmg.mp.br/portal/menu/comunicacao/noticias/relatorio-do-mpmg-constata-que-barragem-de-fundao-nao-teria-rompido-com-drenagem-adequada.shtml>. Acesso em: 21 jan. 2025.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Ação Civil Pública – 2ª Promotoria de Justiça de Mariana – IC 0400.15.00306-1 e 0400.15.000307-9.** Disponível em: https://www2.mppa.mp.br/sistemas/gcsubsites/upload/25/Acao%20Civil%20Publica%20-%20MPMG%20-%202%20PJ%20MARIANA%20-%20IC%200400_15_00306-1%20e%200400_15_000307-9.pdf. Acesso em: 21 jan. 2025

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (Brasil). **Atuação do MPF no Caso Samarco/Vale/BHP: Relatório de atividades – Força Tarefa Rio Doce.** Brasília, DF: MPF, 2017. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/grandes-casos/caso-samarco/atuacao-do-mpf/linha-do-tempo>. Acesso em: 21 jan. 2025

MOLLE, F.; WESTER, P. (Eds.). **River basin trajectories:** Societies, environments and development. Wallingford: CABI, 2009.

MORIN, Jean-Frédéric; ORSINI, Amandine. **Essential concepts of global environmental governance.** New York: Routledge, 2020.

MOSBERGER, Karen; TOLBERT, Caroline J.; MCNEAL, Ramona S. **Digital citizenship:** the internet, society, and participation. Cambridge: MIT Press, 2007.

MOUFFE, C. **The Democratic Paradox.** London: Verso, 2000.

MOVIK, Synne. The dynamics of participation: Water user associations in South Africa. **Water Alternatives**, v. 5, n. 2, p. 434-448, 2012.

MOVIMENTO DOS ATINGIDOS POR BARRAGENS (MAB). **Relatório Anual de Atividades 2019**

MULLER, M. Cape Town's drought: Don't blame climate change. **Nature**, v. 559, n. 7713, p. 174-176, 2018.

NAJAM, Adil; CHRISTOPOULOU, Iphigenia; MOOMAW, William R. The emergent “system” of global environmental governance. **Global Environmental Politics**, v. 4, n. 4, p. 23-35, 2004.

NEWMAN, M. E. J. **Networks: An introduction.** Oxford: Oxford University Press, 2010.

NOOTEBOOM, B. **Learning and Innovation in Organizations and Economies.** Oxford: Oxford University Press, 2000.

NORTH, Douglass C. **Institutions, institutional change and economic performance**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

NORRIS, Pippa. **Digital divide**: Civic engagement, information poverty, and the Internet worldwide. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

NOVECK, Beth Simone. **Smart citizens, smarter state**: The technologies of expertise and the future of governing. Cambridge: Harvard University Press, 2015.

ODUM, E. P. **Fundamentals of Ecology**. 3. ed. Philadelphia: Saunders, 1971.

ODUM, H. T. **Systems Ecology**. New York: Wiley, 1983.

OLIVERA, O.; LEWIS, T. **¡Cochabamba!**: Water War in Bolivia. Cambridge, MA: South End Press, 2004. (*Livro clássico sobre o caso*).

OLSSON, Per; FOLKE, Carl; BERKES, Fikret. Adaptive co-management for building resilience in social-ecological systems. **Environmental Management**, v. 34, n. 1, p. 75-90, 2004.

OLSSON, Per; GUNDERSON, Lance H.; CARPENTER, Stephen R.; RYAN, Paul; LEBEL, Louis; FOLKE, Carl; HOLLING, C. S. Shooting the rapids: navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems. **Ecology and Society**, v. 11, n. 1, 2006.

ORTH, R. J. et al. Long-term trends in Chesapeake Bay submerged aquatic vegetation: An unprecedented recovery and implications for management. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 114, n. 47, p. E10117-E10126, 2017.

OSTROM, Elinor. **Governing the commons**: The evolution of institutions for collective action. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

OSTROM, Elinor. Polycentric systems for coping with collective action and global environmental change. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 4, p. 550-557, 2010.

OSTROM, E.; NAGENDRA, H. Insights on linking forests, trees, and people from the air, on the ground, and in the laboratory. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 51, p. 19224-19231, 2006.

PAGE, S. **Diversity and Complexity**. Princeton: Princeton University Press, 2011.

PAHL-WOSTL, Claudia. A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. **Global Environmental Change**, v. 19, n. 3, p. 354-365, 2009.

PALMER, Margaret A.; BERKOWITZ, Alan R.; ZEDLER, Joy B.; NELLIS, Lee. Ecological planning and restoration in practice. *In*: **Foundations of Restoration Ecology**. Washington, D.C.: Island Press, 2009. p. 182-207.

PARLIAMENTARY COMMISSIONER FOR THE ENVIRONMENT (New Zealand). **Making Good Decisions**: Improving the Quality of Environmental Decision-Making Under the Resource Management Act 1991. Wellington: PCE, 1997.

PEART, M. Rochelle; RAO, M. V.; CAPASSO, Vincent. **An introduction to fuzzy sets and their applications**. New York: John Wiley & Sons, 2001.

PEREIRA, L. Social learning for water resilience: lessons from the Cape Town drought. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 7, p. 596-605, 2020.

PIETERSE, E.; PARNELL, S. (Eds.). **Africa's Urban Revolution**. London: Zed Books, 2014.

POLANYI, Karl. **The Great Transformation: The Political and Economic Origins of Our Time**. New York: Farrar & Rinehart, 1944.

POLÍTICAS PÚBLICAS E PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO. **Estudos de impacto e cenários governamentais**. Brasília: Ministério da Economia, 2019.

POMEROY, R. S.; GARCES, L. R.; PIDO, M. D.; SILVESTRE, G. T. Ecosystem-based fisheries management: the Philippine experience. **Ocean & Coastal Management**, v. 50, n. 3-4, p. 234-244, 2007.

PORTER-BOLLAND, L. et al. Community managed forests and forest protected areas: An assessment of their conservation effectiveness across the tropics. **Forest Ecology and Management**, v. 268, p. 6-17, 2012.

POWELL, Walter W. Neither market nor hierarchy: Network forms of organization. **Research in Organizational Behavior**, v. 12, p. 295-336, 1990.

PRETTY, Jules. Social capital and the collective management of resources. **Science**, v. 302, n. 5652, p. 1912-1914, 2003.

PROVAN, Keith G.; KENIS, Patrick. Modes of network governance: Structure, management, and effectiveness. **Journal of Public Administration Research and Theory**, v. 18, n. 2, p. 229-252, 2008.

PUTNAM, R. D. **Bowling Alone: The Collapse and Revival of American Community**. New York: Simon & Schuster, 2000.

PUTNAM, R. D. (1993). **Making Democracy Work: Civic Traditions in Modern Italy**. Princeton University Press.

RAILSBACK, Steven F.; GRIMM, Volker. **Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction**. Princeton University Press, 2019.

RAYMOND, Eric S. **The cathedral and the bazaar**: Musings on Linux and open source by an accidental revolutionary. Cambridge: O'Reilly Media, 2001.

RAWLS, J. **A Theory of Justice**. Cambridge: Harvard University Press, 1971.

REED, Mark S. Stakeholder participation for environmental management: A literature review. **Biological Conservation**, v. 141, n. 10, p. 2417-2431, 2008.

REISNER, Marc. **Cadillac Desert: The American West and Its Disappearing Water**. Revised Edition. New York: Penguin Books, 1993.

RHEINGOLD, Howard. Using participatory media and public voice to encourage civic engagement. *In: Civic life online: Learning how digital media can engage youth*. Cambridge: MIT Press, 2008. p. 97-118.

ROBINS, S. L. Cape Town's water crisis: speculating on the 'Day Zero' scenario. **Anthropology Today**, v. 35, n. 1, p. 1-3, Feb. 2019.

RODINA, L. Planning for water resilience: an evaluation of Cape Town's water strategy. **Urban Forum**, v. 30, n. 4, p. 411-426, 2019.

ROCKSTRÖM, Johan et al. A safe operating space for humanity. **Nature**, v. 461, p. 461, n. 7263, p. 472-475, 2009.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence: A modern approach**. 3rd ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2016.

SABEL, C. F.; ZEITLIN, J. (Eds.). **Experimentalist Governance in the European Union: Towards a New Architecture**. Oxford: Oxford University Press, 2012.

SÁNCHEZ, L. E. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SÁNCHEZ, L. E.; CROAL, P. Environmental Impact Assessment: Challenges from the Perspective of International Development Cooperation. *In: MORRISON-SAUNDERS, A.; POPE, J.; BOND, A.; RETIEF, F. (Eds.). Handbook of Environmental Impact Assessment*. Cheltenham: Edward Elgar, 2015. v. 2, p. 140-158.

SANTOS, R. S. P.; MILANEZ, B. Entre a "Repactuação" e a Deliberação Democrática: os Desafios da Governança no Caso do Desastre do Rio Doce. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 58, p. 316-340, 2021.

SARGENT, T. J. Verification and Validation of Simulation Models. *In: Winter Simulation Conference*, 2013. IEEE, 2013.

SAVELLI, E.; RUSCA, M.; CLOKE, J.; DI BALDASSARRE, G. Don't blame the rain: Social power and the 2015-2017 drought in Cape Town. **Journal of Hydrology**, v. 594, 125953, 2021.

SCHMEIER, Susanne. **Governing international watercourses: River basin organizations and the sustainable governance of internationally shared rivers and lakes**. New York: Routledge, 2013.

SCOTT, W. R. **Institutions and Organizations: Ideas, Interests, and Identities**. Thousand Oaks: Sage, 2003.

SCOTT, J. C. **Seeing Like a State: How Certain Schemes to Improve the Human Condition Have Failed**. New Haven: Yale University Press, 1998.

SEN, Amartya. **The idea of justice**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 2011.

SEN, Amartya. **Development as freedom**. Oxford: Oxford University Press, 1999.

SENGE, Peter M. **The fifth discipline: The art and practice of the learning organization**. New York: Doubleday, 2006.

SIMON, Herbert A. **Administrative behavior: A study of decision-making processes in administrative organizations**. New York: Free Press, 1957.

SIMPSON, G. B.; HEADRICK, D.; BARTA, B.; FALKO, T. Cape Town's "Day Zero" water crisis: a manufactured condition?. **Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)**, v. 55, n. 4, p. 1049-1060, 2019.

SIQUEIRA-GAY, J.; SÁNCHEZ, L. E.; LUIZ, A. J. B. How does mining policymaking perform in a complex environment? A study on the regulatory frameworks of iron mining in Brazil. **Resources Policy**, v. 61, p. 172-180, 2019.

SLAUGHTER, Anne-Marie. **A new world order**. Princeton: Princeton University Press, 2009.

SØRENSEN, Eva; TORFING, Jacob (Eds.). **Theories of democratic network governance**. New York: Springer, 2016.

SOUTH AFRICA. Department of Water and Sanitation. **National Water and Sanitation Master Plan**. Pretoria: DWS, 2019.

SPADONI, PAOLO. The Political Economy of Adjustment and Reorganization in Cuba's Sugar Industry. **Latin American Perspectives**, v. 40, n. 3, p. 21-40, 2013.

STEFFEN, W.; GRINEVALD, J.; CRUTZEN, P.; MCNEILL, J. The Anthropocene: conceptual and historical perspectives. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 369, n. 1938, p. 842-867, 2011.

STERMAN, John D. **Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world**. Boston: Irwin McGraw Hill, 2000.

STEPNO, Bob. *Smart mobs: The next social revolution transforming cultures and communities in the age of instant access*. **Newspaper Research Journal**, v. 24, n. 2, p. 125-127, 2003.

STIGLER, G. J. The Theory of Economic Regulation. **The Bell Journal of Economics and Management Science**, v. 2, n. 1, p. 3-21, 1971.

SULTANA, F.; LOFTUS, A. (Eds.). **The Right to Water**: Politics, Governance and Social Struggles. London: Earthscan, 2012.

SUNSTEIN, C. R. **#Republic**: Divided Democracy in the Age of Social Media. Princeton: Princeton University Press, 2017.

SWATUK, L. A. **Water, state and the 'necessity' of power**: resource politics in southern Africa. London: Routledge, 2020.

TAPSCOTT, Don; TAPSCOTT, Alex. **Blockchain revolution**: How the technology behind bitcoin is changing money, business, and the world. New York: Penguin, 2016.

TRIBUNAL DE CONTAS DO ESTADO DE MINAS GERAIS (TCE-MG). **Relatório de Auditoria Operacional**: Licenciamento Ambiental de Empreendimentos Minerários. Belo Horizonte: TCE-MG, 2019.

TISUE, Shawn; WILENSKY, Uri. **NetLogo: A simple environment for modeling complexity**. In: International conference on complex systems, 2004, p. 16-21.

TRANSPARENCY INTERNATIONAL. **Global Corruption Report**: Climate Change. London: Earthscan, 2011.

TUCCI, Carlos E.M.; BRAGA, Benedito P.F. Management of the Brazilian water resources system. **Water Resources Development**, v. 25, n. 4, p. 609-631, 2009.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) on behalf of UN-Water. **The United Nations World Water Development Report 2021**: Valuing Water. Paris: UNESCO, 2021.

UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) on behalf of UN-Water. **The United Nations World Water Development Report 2020**: Water and Climate Change. Paris: UNESCO, 2020.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **MyEnvironment. Envirofacts**. Washington, DC: EPA, atualizado em jan. 2025. Disponível em: <https://enviro.epa.gov/myenvironment>. Acesso em: 24 jan. 2025.

VALADÃO, G. E. S.; ARAÚJO, J. C.; ALMEIDA, I. M. A Política Nacional de Segurança de Barragens e o rompimento da barragem de Fundão. In: ZHOURI, A.; VALENCIO, N. (Org.). **Formas de matar, de morrer e de resistir**: limites da resolução negociada de conflitos ambientais. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2018. p. 149-178.

VEBLEN, Thorstein. **The theory of the leisure class**: An economic study of institutions. New York: Macmillan, 1899.

VERHULST, P. F. Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement. **Correspondance Mathématique et Physique**, v. 10, p. 113-121, 1838.

WASKOM, Michael L. Seaborn: statistical data visualization. **Journal of Open Source Software**, v. 6, n. 60, p. 3021, 2021. DOI: 10.21105/joss.03021.

WASSERMAN, S.; FAUST, K. **Social Network Analysis: Methods and Applications**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

WALKER, Brian; HOLLING, C. S.; CARPENTER, Stephen R.; KINZIG, Ann. Resilience, adaptability and transformability in social–ecological systems. **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, p. 5-20, 2004.

WAMPLER, B. **Participatory Budgeting in Brazil: Contestation, Cooperation, and Accountability**. University Park, PA: Penn State Press, 2007.

WATTS, D. J.; STROGATZ, S. H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks. **Nature**, v. 393, n. 6684, p. 440-442, 1998.

WEBER, Max. **Economy and society: An outline of interpretive sociology**. Berkeley: University of California Press, 2019.

WILENSKY, Uri; RAND, William. **An introduction to agent-based modeling: Modeling natural, social, and engineered complex systems with NetLogo**. Cambridge, MA: MIT Press, 2015.

WILENSKY, Uri. **NetLogo**. Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University. Evanston, IL, 1999.

WILLIAMSON, O. E. **The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting**. New York: Free Press, 1985.

WILSON, Edward O. **The future of life**. New York: Vintage Books, 2002.

WYNNE, B. May the sheep safely graze? A reflexive view of the expert-lay knowledge divide. In: LASH, S.; SZERSZYNSKI, B.; WYNNE, B. (Eds.). **Risk, Environment and Modernity: Towards a New Ecology**. London: Sage, 1996. p. 44-83.

WORLD BANK. **World development report 2021: data for better lives**. Washington, D.C.: The World Bank, 2021.

WWF. **Living Planet Report 2018: Aiming Higher**. Grooten, M.; Almond, R.E.A.(Eds). Gland, Switzerland: WWF, 2018.

YOUNG, Oran R. **Institutional dynamics: Emergent patterns in international environmental governance**. Cambridge: MIT Press, 2010.

ZHOURI, A. From 'development' to 'rights': The mining tailings dam rupture disaster in Mariana, Brazil. *Vibrant: Virtual Brazilian Anthropology*, v. 15, p. e15498, 2018.

ZIERVOGEL, G. et al. Day Zero revisited: Urban water resilience in Cape Town. *Urban Climate*, v. 28, p. 100440, 2019a.

ZIERVOGEL, G. Unpacking the Cape Town drought: lessons learned. Report for Cities Support Programme, **University of Cape Town**, 2019b.

ZONTA, M.; TROCATE, C. (Org.). **Antes fosse mais leve a carga**: avaliação dos aspectos econômicos, políticos e sociais do desastre da Samarco/Vale/BHP em Mariana (MG). Marabá: Editorial iGuana, 2016.

ZUBOFF, S. **The Age of Surveillance Capitalism**: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. New York: PublicAffairs, 2019.

ZWARTEVEEN, M. Z.; BOELEN, R. Defining, researching and struggling for water justice: explorations of justice in water allocation, access and governance. **Water International**, v. 39, n. 2, p. 138-158, 2014.