



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Laís Lima Ambrosio

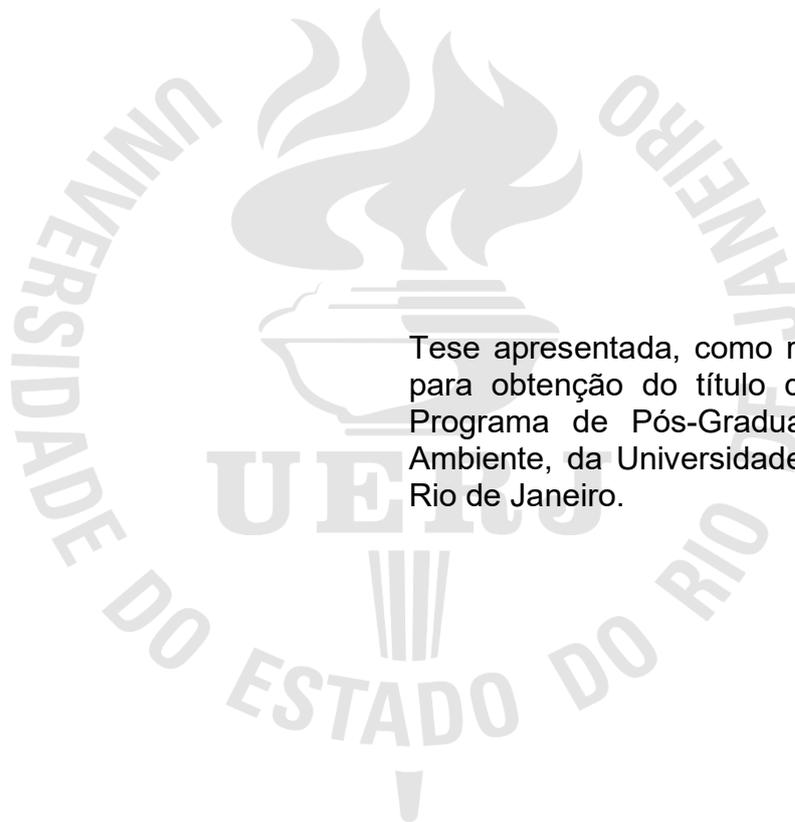
**Capacidade adaptativa da Bacia do Rio Paraíba do Sul  
face às secas e à escassez hídrica**

Rio de Janeiro

2025

Lafís Lima Ambrosio

**Capacidade adaptativa da Bacia do Rio Paraíba do Sul face às secas e à  
escassez hídrica**



Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Rosa Maria Formiga Johnsson

Coorientador: Prof. Dr. Bruno Peregrina Puga

Rio de Janeiro

2025

CATALOGAÇÃO NA FONTE  
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC-A

A496      Ambrosio, Lais Lima.  
              Capacidade adaptativa da Bacia do Rio Paraíba do Sul face às  
              secas e à escassez hídrica/ Lais Lima Ambrosio. – 2025.  
              276 f. : il.

              Orientadora: Rosa Maria Formiga Johnsson  
              Coorientadora: Bruno Peregrina Puga  
              Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do  
Rio de Janeiro.

              1. Recursos hídricos – Escassez – Paraíba do Sul (RJ) - Teses.  
              2. Gestão ambiental - Teses. 3. Mudanças climáticas - Teses. I.  
              Johnsson, Rosa Maria Formiga. II. Puga, Bruno Peregrina. III.  
              Universidade do Estado do Rio de Janeiro. IV. Título.

CDU 556.51 (815.3)

Patricia Bello Meijinhos CRB7/5217 - Bibliotecária responsável pela elaboração da ficha catalográfica

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

---

Assinatura

---

Data

Lais Lima Ambrosio

**Capacidade adaptativa da Bacia do Rio Paraíba do Sul  
face às secas e à escassez hídrica**

Tese apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Doutora, ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro..

Aprovada em 31 de março de 2025.

Banca Examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Rosa Maria Formiga Johnsson (Orientadora)  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Bruno Peregrina Puga (Coorientador)  
Universidade do Vale do Paraíba

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Luciene Pimentel da Silva  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Junior  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Elmo Rodrigues da Silva  
Faculdade de Engenharia - UERJ

---

Prof. Dr. Guilherme Fernandes Marques  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Alexandra Nauditt  
Technical University Cologne

Rio de Janeiro

2025

## **AGRADECIMENTOS**

A realização desta tese foi um caminho desafiador, com aprendizados e superações, e não teria sido possível sem o apoio de muitas pessoas queridas.

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Rubens e Maria, por sua compreensão diante das minhas ausências e pelo amor que sempre me fortaleceu. Ao meu marido, Daniel Placido, cujo incentivo e apoio foram fundamentais em cada etapa deste percurso.

À minha professora orientadora, Rosa Formiga e ao coorientador Bruno Puga, sou profundamente grata pelas discussões acadêmicas instigantes e pelo direcionamento preciso que enriqueceram este trabalho. À Natália Ribeiro, que me coorientou na pesquisa durante o mestrado e que teve um papel essencial sobretudo no início da pesquisa para tese, meu sincero agradecimento.

Aos amigos e familiares, que me deram força nos desafios pessoais que enfrentei ao longo desta jornada. Um agradecimento especial ao meu querido amigo, Thiago Fontenelle, que com conversas enriquecedoras contribuiu para minha reflexão sobre o tema de estudo, sempre com muito carinho e humor.

Por fim, expresso minha gratidão aos entrevistados, que, com generosidade e entusiasmo, compartilharam suas vivências e percepções sobre a gestão e o uso das águas na Bacia do Paraíba do Sul. Suas contribuições foram essenciais para dar vida e significado a esta pesquisa.

A todos, meu mais sincero agradecimento.

## RESUMO

AMBROSIO, Laís Lima. *Capacidade adaptativa da Bacia do Rio Paraíba do Sul face às secas e à escassez hídrica*. 2025. 283 f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

A pesquisa investiga a capacidade adaptativa de sistemas socioecológicos frente a eventos climáticos extremos, com foco no enfrentamento e nas medidas posteriores à seca de 2014-2015 na Bacia do Rio Paraíba do Sul (BPS), especificamente em sua porção beneficiada pela infraestrutura hídrica. Entendendo que crises hídricas fornecem janelas de oportunidade para transformações na governança e gestão das águas, o estudo propõe um quadro analítico para avaliar a capacidade adaptativa institucional e local, considerando as dimensões: (i) aprendizado, (ii) flexibilidade, (iii) participação e colaboração, (iv) liderança e poder, e (v) recursos. A intensificação dos eventos de seca, associada às mudanças climáticas, demonstra a necessidade de uma gestão de recursos hídricos mais adaptativa. A pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, com revisão sistemática e integrativa da literatura, análise de documentos técnicos, registros de reuniões e entrevistas com atores-chave. Dez anos depois da crise hídrica de 2014-2016, os resultados indicam que a maior parte das estratégias adaptativas adotadas na BPS foram ações de enfrentamento e medidas adaptativas incrementais, como ajustes nos sistemas de captação, reduções progressivas da vazão defluente dos reservatórios, protocolo de comunicação de emergências e construção de unidades de tratamento de rios. Medidas transformativas, que promovem mudanças profundas, foram limitadas. Durante a crise, houve avanços em aprendizado, participação e colaboração, com a mobilização de recursos técnicos e financeiros para ações emergenciais. No entanto, a integração limitada das dimensões da capacidade adaptativa, especialmente liderança e poder, dificultou a promoção de mudanças transformativas, particularmente no aspecto de recuperação ambiental da bacia hidrográfica. Após a crise, observou-se uma acomodação dos atores, com pouca mobilização para medidas de longo prazo. As novas regras operativas pós-crise, em vigor desde 2016, acomodaram melhor as necessidades de múltiplos setores usuários. No entanto, embora transformativas, essas regras ainda não teve os seus limites testados quanto ao atendimento dos diversos usos e usuários, em níveis confortáveis, para atravessar uma nova seca severa. Além disso, as mudanças das regras operativas não foram acompanhadas por outras medidas transformativas. A dependência excessiva de soluções baseadas em infraestrutura cinza, como reservatórios, e a pressão expressiva das transferências para outras bacias aumentam a vulnerabilidade do sistema a crises futuras. A ausência das incertezas climáticas nas ações também limita a capacidade de planejamento a longo prazo. Em síntese, a BPS avançou em sua capacidade adaptativa após a crise hídrica, mas permanece em um estágio incremental. As estratégias adotadas foram eficazes para lidar com a crise imediata, mas insuficientes para promover um conjunto de mudanças transformativas robustas. Para alcançar uma adaptação transformativa, é essencial combinar, entre outras, medidas de gestão da demanda, proteção de mananciais e maior flexibilidade na operação do sistema, além de mobilizar lideranças e recursos de forma mais articulada. A tese contribui com um quadro analítico original para a avaliação multinível da capacidade adaptativa, potencialmente aplicável a outros sistemas

socioecológicos, além de destacar a necessidade de integrar estratégias adaptativas de curto, médio e longo prazos, com foco na construção de resiliência frente a secas e escassez hídrica.

Palavras-chave: Quadro analítico. Dimensões da capacidade adaptativa. Sistemas socioecológicos. Mudanças climáticas. Estratégias adaptativas. Mudanças transformativas. Medidas incrementais. Ações de enfrentamento.

## ABSTRACT

AMBROSIO, Laís Lima. *Adaptive capacity of the Paraíba do Sul River Basin to droughts and water scarcity*. 2025. 283 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2025.

This research explores the adaptive capacity of socio-ecological systems in response to extreme climate events, focusing on coping mechanisms and post-drought measures implemented after the 2014–2015 drought in the Paraíba do Sul River Basin (BPS), particularly in the portion of the basin that benefits from water infrastructure. Water crises often create windows of opportunity for transformations in governance and management. Building on this premise, the study proposes an analytical framework to assess institutional and local adaptive capacity across five key dimensions: (i) learning, (ii) flexibility, (iii) participation and collaboration, (iv) leadership and power, and (v) resources. The increasing frequency and intensity of droughts, exacerbated by climate change, highlight the need for more adaptive approaches to water management. The study adopts a qualitative approach, drawing on a systematic and integrative literature review, analysis of technical documents and meeting records, and interviews with key stakeholders. A decade after the 2014–2016 water crisis, findings reveal that most adaptive strategies in the BPS consisted of coping mechanisms and incremental adjustments, such as modifications to water intake systems, gradual reductions in reservoir outflows, emergency communication protocols, and the construction of river treatment units. However, transformative measures—those driving deeper systemic change—were limited. During the crisis, there were advances in learning, participation, and collaboration, as technical and financial resources were mobilized for emergency responses. Yet, limited integration across the dimensions of adaptive capacity, particularly leadership and power, hindered the implementation of transformative changes, especially in restoring the basin's environmental resilience. After the crisis, stakeholder engagement waned, and momentum for long-term adaptation weakened. The post-crisis operational rules, in effect since 2016, have improved how multiple water users' needs are accommodated. However, despite their transformative potential, these rules have not yet been tested under severe drought conditions to assess their ability to balance competing demands effectively. Moreover, regulatory changes were not accompanied by broader transformative measures. Heavy reliance on gray infrastructure solutions, such as reservoirs, combined with growing pressure from inter-basin water transfers, has heightened the system's vulnerability to future crises. Additionally, the failure to incorporate climate uncertainty into decision-making has further constrained long-term planning. Overall, while the BPS has strengthened its adaptive capacity since the water crisis, progress remains incremental. The strategies adopted effectively addressed the immediate crisis but fell short of driving broader systemic change. Achieving transformative adaptation will require a more integrated approach that includes demand management, watershed protection, greater operational flexibility, and stronger leadership and resource mobilization. This thesis contributes an original analytical framework for assessing adaptive capacity at multiple levels, with potential applications in other socio-ecological systems. It also underscores the need for a more

coordinated integration of short-, medium-, and long-term adaptation strategies to build resilience to drought and water scarcity.

Keywords: Analytical framework. Dimensions of adaptive capacity. Socioecological systems. Adaptive strategies. Climate change. Transformative changes. Incremental measures. Coping mechanisms.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema analítico & Estrutura da tese .....	14
Figura 2 - Procedimentos metodológicos .....	16
Figura 3 - etapas de desenvolvimento do quadro analítico da capacidade adaptativa .....	16
Figura 4 - Etapas e procedimentos para aplicação do quadro analítico no ambiente do <i>Software Atlas.ti</i> .....	23
Figura 5 - Resumo esquemático da ideia basilar da tese .....	26
Figura 6 - Distribuição dos artigos sobre capacidade adaptativa e secas por região geográfica, tipo de clima, temporal e tipo de uso da água. ....	35
Figura 7 - Distribuição dos artigos sobre capacidade adaptativa e secas por tipos de clima.....	36
Figura 8 - Mapa sobre cenário de redução na disponibilidade hídrica até 2040 .....	55
Figura 9 - Os subsistemas principais do Framework para análise de sistemas socioecológicos .....	64
Figura 10 - Exemplos de variáveis de segundo nível sob os subsistemas principais de primeiro nível (S, RS, GS, RU, U, I, O e ECO) em uma estrutura para análise de sistemas socioecológicos .....	65
Figura 11- Abordagem de trajetórias .....	68
Figura 12 – Dimensões e estratégias adaptativas em Sistemas Socioecológicos ....	83
Figura 13 - Dimensões da Capacidade Adaptativa .....	86
Figura 14 - Estratégias adaptativas: ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e transformativas .....	95
Figura 15 - Quadro analítico da capacidade adaptativa institucional (SINGREH) e local (usuários) às secas e a escassez hídrica .....	100
Figura 16 - Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul com seus componentes e exemplos de interações entre eles .....	103
Figura 17 - Principais estruturas do Sistemas Hidráulico Paraíba do Sul Guandu..	107
Figura 18- Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (detalhamento da ligação com Lajes-Guandu/RJ). .....	108
Figura 19 - Diagrama de resultado de entrega de vazão e referência anuais (m <sup>3</sup> /s) para as principais bacias e trechos específicos do Rio Paraíba do Sul para avaliação das entregas na região .....	112
Figura 20 - Esquema da governança do Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul com foco em secas e escassez hídrica .....	117
Figura 21 - Dominalidade dos rios da Bacia do Rio Paraíba do Sul.....	119
Figura 22 - Diagrama unifilar do sistema hidráulico Paraíba do Sul-Lajes-Guandu	125

Figura 23 - Evolução no armazenamento do Sistema Equivalente do Complexo Hidráulico Paraíba do Sul (Vol. acumulado no mês em relação ao volume útil do reservatório) .....	127
Figura 24 - Categorias de estratégias adaptativas e número de citações marcadas nos documentos durante a crise hídrica .....	130
Figura 25 - Vazões mínimas estabelecidas em atos normativos entre 2014-2016 .	134
Figura 26 - Agendas do PIRH que contribuem para estratégias adaptativas às secas .....	144
Figura 27 - Localização de cada microbacia contemplada no1º ciclo do Programa Mananciais do CEIVAP .....	150
Figura 28 - Descrição dos cenários de magnitude para estiagem .....	152
Figura 29 -Fase de gestão, respectivas ações e gatilhos de deflagração de ações do PLANCON referente a estiagem.....	153
Figura 30 - Fluxograma dos níveis e respectivas ações do PLANCON de estiagem .....	154
Figura 31 - Componentes do Programa Estadual de Segurança Hídrica (Prosegh-RJ) e foco de atuação .....	162
Figura 32 - Boletim mensal de segurança hídrica .....	165
Figura 33 - Índice Integrado de Seca (IIS) referente ao mês de janeiro de 2025 nas escalas de 3 meses (IIS3, esquerda) e 6 meses (IIS6, direita). .....	168
Figura 34 – Exemplo de informações apresentadas no Boletim de Impactos do CEMADEN .....	169
Figura 35 - Evolução do armazenamento do Reservatório Equivalente do SHPSG	179
Figura 36 - Evolução do armazenamento dos reservatórios que compõem o armazenamento equivalente do SHPSG de 2015 até 2025.....	179
Figura 37 - Curva de segurança para operação normal do SHPSG para o período abril a novembro de 2024.....	180
Figura 38 - Evolução do armazenamento do RE em 2024 em comparação à curva de segurança e aos anos de 2014 (pior do histórico), 2021, 2022 e 2023. ....	181
Figura 39 - Citações codificadas no software Atlas.ti, organizadas em rede, sobre a dimensão de flexibilidade da capacidade adaptativa às secas e escassez hídrica.....	182
Figura 40 - Citações codificadas no software Atlas.ti, organizadas em rede, sobre a dimensão de aprendizado e preocupação com secas futuras no SSE-BPS	188
Figura 41 - Participação e colaboração relacionam-se ao aprendizado para construção de estratégias adaptativas e processos decisórios .....	193
Figura 42 - Usinas e reservatórios na Bacia do Rio Paraíba do Sul integrantes do SIN .....	196
Figura 43 - Liderança e poder nas discussões no âmbito do GTA OH .....	200

Figura 44 - Mudanças nos papéis do ONS e dos órgãos gestores estaduais na definição das regras operativas do Sistema Hidráulico (Citações 9:69 e 53:2) .....	201
Figura 45 - Liderança e poder durante a construção da Resolução Conjunta 1.382/2015 .....	203
Figura 46 - Ilustração da estrutura do reservatório de Paraibuna, com o indicativo que o volume morto não era conhecido.....	205
Figura 47 - Liderança e poder nas discussões sobre o uso do volume morto em situações de escassez hídrica .....	206
Figura 48 - Regras operativas (Res. Conj. 1.382/2015) e recuperação e manutenção dos volumes acumulados nos reservatórios pós- crise hídrica .....	208
Figura 49 - Avaliação e revisão das Regras Operativas (Res. Conj. 1.382/2015) ..	210
Figura 50 - Participações do CBH Médio Paraíba do Sul em reuniões do GTA OH durante e pós crise hídrica 2014-2016.....	212
Figura 51 - Participações do CBH-Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana nas reuniões do GTA OH pós- crise hídrica.....	213
Figura 52 - Exemplos de trechos extraídos dos documentos sobre a dimensão recursos quanto suas origens e disponibilidade durante e pós- crise hídrica	217
Figura 53 - Exemplos de trechos extraídos dos documentos sobre a dimensão recursos quanto dificuldades e entraves para liberá-los/obtê-los.....	218
Figura 54 - Diagrama de Sankey de associação entre ações de enfrentamento (M1) e dimensões da capacidade adaptativa .....	225
Figura 55 - Diagrama de Sankey de associação entre medidas adaptativas incrementais (M2) e dimensões da capacidade adaptativa.....	227
Figura 56 – Diagrama de Sankey de associação entre medidas adaptativas transformativas (M3) e dimensões da capacidade adaptativa.....	228
Figura 57 - Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa aprendizado (D1) e as demais.....	229
Figura 58 - Diagrama de Sankey de associação da dimensão flexibilidade (D2) às demais da capacidade adaptativa.....	230
Figura 59 - Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa participação e colaboração (D3) e as demais.....	231
Figura 60 - Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa liderança e poder (D4) e as demais.....	231
Figura 61 – Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa recursos (D5) e as demais.....	232
Figura 62 - Diagrama de Sankey de associação entre estratégias adaptativas e dimensões da capacidade adaptativa .....	234

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Expressões de busca utilizadas na pesquisa nas bases de dados WoS e Scopus. ....	32
Quadro 2 - Protocolo de extração de dados. ....	34
Quadro 3 - Capacidade adaptativa & conceitos associados (continua). ....	37
Quadro 4 - Dimensões da capacidade adaptativa identificada em <i>frameworks</i> aplicação para avaliação da capacidade adaptativa às secas .....	81
Quadro 5 - Descrição do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul – Guandu.....	106
Quadro 6 - Estratégias adaptativas implementadas durante a crise hídrica .....	131
Quadro 7 - Quadro resumo das estratégias adaptativas pós-crise hídrica 2014-2016 (continua) .....	171
Quadro 8 - Caracterização da dimensão quanto à presença ou negação na citação extraída dos documentos .....	221
Quadro 9 - Quadro de ocorrência simultânea das dimensões entre si .....	222
Quadro 10 - Quadro Associação entre os tipos de estratégias adaptativas e as dimensões da capacidade adaptativa mobilizadas .....	224
Quadro 11 - Quadro geral de coocorrências entre os códigos, que incluem dimensões da capacidade adaptativa e estratégias adaptativas, empregados para avaliação da capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica aplicadas ao SSE-BPS .....	236

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SP Águas	Agência de Águas do Estado de São Paulo (Antigo Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE)
AGEVAP	Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BPS	Bacia do Rio Paraíba do Sul
CA	capacidade adaptativa
CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas 60
CEIVAP	Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
CEMADEN	Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Minas Gerais/ MG
CERHI	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro/RJ
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CNARH	Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo/SP
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica (atual SP Águas)
DAURH	Declaração Anual de Uso
GAOPS	Grupo de Assessoramento de Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul
GIRH	Gestão Integrada de Recursos Hídricos
GTAOH	Grupo de Trabalho Permanente de Acompanhamento da Operação Hidráulica na Bacia do Rio Paraíba do Sul para atuação conjunta com o Comitê da Bacia do Rio Guandu do CEIVAP
GWP	Global Water Partnership
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INEA	Instituto Estadual do Ambiente - RJ
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas

MTF	Management and Transition Framework
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PAMC-RJ	Plano de adaptação às mudanças climáticas do estado do Rio de Janeiro
PAP	Plano de Aplicação Plurianual
PCJ	Piracicaba-Capivari-Jundiaí
PERHI-RJ	Plano estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro
PGR	Plano de Risco da bacia do Rio Paraíba do Sul
PIRH-PS	Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul
PLANCON	Plano de Contingência
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica.
PPGMA	Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente.
PROSEGH	Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas.
RE	Reservatório Equivalente.
SAAE	Serviço Autônomo de Água e Esgoto
SEDEC	Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil
SEMAD	Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
SEMIL	Secretaria Estadual de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística - SP
SHPSG	Sistema Hidráulico Paraíba do Sul – Guandu
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINGREH	Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos
SNSH	Secretaria Nacional de Segurança Hídrica
SSE	sistemas socioecológicos
SSE-BPS	Sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>1 METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>15</b>
1.1 Estudo de caso como estratégia metodológica .....	18
1.1.1 Entrevista .....	19
1.1.2 Documentos .....	19
1.2 O emprego da análise de conteúdo qualitativa para interpretação dos dados	21
1.2.1 Emprego do software Atlas.ti para a análise de conteúdo qualitativa dos documentos .....	23
<b>2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL.....</b>	<b>26</b>
2.1 Capacidade adaptativa e seca na literatura .....	27
2.1.1 Introduzindo o conceito de capacidade adaptativa .....	27
2.1.2 Metodologia de revisão dos estudos.....	31
2.1.3 As oito abordagens da capacidade adaptativa às secas.....	35
2.1.4 Potencialidades e limitações do conceito.....	48
2.2 Capacidade adaptativa e conceitos relacionados que norteiam a tese .....	54
2.2.1 Seca e escassez hídrica em regiões de clima úmido .....	54
2.2.2 Sistemas Socioecológicos .....	60
2.2.3 Segurança hídrica e capacidade adaptativa: aproximação entre os conceitos no contexto da gestão das águas .....	67
2.2.4 Gestão de recursos hídricos, governança e gestão adaptativa .....	69
2.2.5 Capacidade adaptativa às secas e estratégias adaptativas .....	70
<b>3 PROPOSIÇÃO DE UM QUADRO ANALÍTICO PARA AVALIAR A CAPACIDADE ADAPTATIVA ÀS SECAS E À ESCASSEZ HÍDRICA .....</b>	<b>75</b>
3.1 Quadros analíticos para avaliação da capacidade adaptativa.....	77
3.2 Quadro analítico da capacidade adaptativa institucional e local às secas e à escassez hídrica .....	82
3.2.1 Dimensões da Capacidade Adaptativa que caracterizam um sistema socioecológico como adaptativo .....	86
3.2.2 Mobilização das dimensões para criação e execução de estratégias adaptativas em sistemas socioecológicos .....	95

<b>4</b>	<b>CAPACIDADE ADAPTATIVA INSTITUCIONAL E LOCAL ÀS SECAS E À ESCASSEZ HÍDRICA DO SISTEMA SOCIOECOLÓGICO DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL.....</b>	<b>101</b>
4.1	A Bacia do Paraíba do Sul como um sistema socioecológico e a gestão de suas águas em situações de secas e escassez hídrica .....	101
4.1.1	Sistemas de recursos do SSE-BPS: Sistema hidráulico Paraíba do Sul-Guandu, bacias contribuintes e receptoras .....	104
4.1.2	Unidades de recursos: disponibilidade hídrica gerida pelo SHPSG .....	109
4.1.3	Sistema de governança e usuários: Identificação dos atores institucionais e locais com atuação no enfrentamento da crise hídrica 2014-2016.....	115
4.1.4	Usuários: Identificação dos atores locais durante o enfrentamento da crise hídrica 2014-2016.....	123
4.2	Secas e escassez hídrica no Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul .....	124
4.3	Estratégias adaptativas na Bacia do Paraíba do Sul durante a crise hídrica 2014-2016 .....	129
4.3.1	Discutindo as ações de enfrentamento durante a crise.....	132
4.3.2	Discutindo as medidas adaptativas incrementais durante a crise .....	136
4.3.3	Discutindo as medidas adaptativas transformativas durante a crise .....	137
4.4	Estratégias adaptativas na Bacia do Paraíba do Sul pós-crise hídrica 2014-2016 .....	137
4.4.1	Estratégias adaptativas específicas para a Bacia do Rio Paraíba do Sul e Sistema Hidráulico.....	138
4.4.2	Planos, programas e ações desenvolvidas pelos estados .....	158
4.4.3	Planos, programas e ações nacionais para a preparação e enfrentamento às secas e escassez hídrica.....	167
4.4.4	Síntese sobre as estratégias adaptativas pós crise hídrica.....	171
4.5	Dimensões e estratégias adaptativas: inércia e preparação dos sistemas socioecológicos para lidar com secas e escassez hídrica .....	176
4.5.1	Flexibilidade (D2): mais opções para lidar com secas e escassez hídrica ...	177
4.5.2	Aprendizado (D1): mais informações disponíveis para a tomada de decisão e para a preparação do sistema .....	185

4.5.3	Participação e Colaboração (D3): impulsionam a criação de soluções inovadoras .....	190
4.5.4	Liderança e Poder (D4): comprometimento com a construção da capacidade adaptativa do sistema socioecológico.....	194
4.5.5	Recursos (D5): meios para promoção da capacidade adaptativa .....	216
4.5.6	Como as dimensões da capacidade adaptativa se relacionam entre si e com os tipos de estratégias adaptativas: síntese e considerações .....	221
	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>237</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>244</b>
	<b>APÊNDICE - Lista de entrevistados .....</b>	<b>272</b>

## INTRODUÇÃO

Eventos climáticos extremos, como as secas, configuram-se como um desafio complexo para sistemas de governança e gestão das águas, à medida que se tornam mais frequentes e/ou severos devido às mudanças globais de múltiplas ordens – sociais, econômicas e climáticas (NOAA/NIDIS, 2023). Essas mudanças adicionam incertezas aos problemas já existentes (Sivakumar, 2011), com grande potencial de desencadear crises hídricas, a depender de fatores como exploração excessiva da disponibilidade hídrica, ineficiências na gestão e degradação ambiental. Enfrentar esses desafios exige um esforço de adaptação dos sistemas hídricos, frequentemente resistentes às mudanças radicais (Sayers et al., 2016). Predominantemente focados na gestão da oferta de água (Spinola, 2018), esses sistemas têm apostado, tradicionalmente, em soluções ligadas à expansão da oferta, como construção de reservatórios e transposições de bacias (Quintslr et al., 2022; Castro, 2022).

A estabilidade e a estacionariedade dos sistemas hídricos, construídos e operados para garantir um nível adequado de segurança hídrica, podem ser perturbadas em momentos de crise (Milly et al, 2008). Apesar de indesejáveis, seja qual for o prisma analisado, as crises podem oferecer uma janela de oportunidade para mudanças rumo à um estado mais desejável. Kingdon (1995) argumenta que, para que as crises possam de fato oferecer uma janela de oportunidade para a transformação de políticas, elas precisam estar associadas a outros movimentos políticos. Novaliaa e Malekpourb (2020) acrescentam que a alocação de recursos, a cultura cognitiva e a mobilização social são fatores essenciais dentro de um arranjo comprometido com mudanças de longo prazo.

As secas são fenômenos naturais caracterizados pela redução ou ausência de chuvas por períodos prolongados (OMM, 2025; IDMP, 2022), podendo configurar eventos climáticos extremos de preocupação global (CEMADEN, 2024). Atualmente, cerca de metade da população mundial enfrenta escassez hídrica em algum momento do ano (IPCC, 2022), agravada pelas mudanças climáticas, que intensificam tanto secas quanto inundações, inclusive em regiões de clima úmido e subúmido. Embora esses locais sejam tradicionalmente associados a chuvas abundantes, crises hídricas têm se tornado mais frequentes e severas, afetando bacias hidrográficas ao redor do mundo (De Nys et al., 2016; Haile et al., 2019).

No Brasil, além do Nordeste semiárido, eventos de seca vêm impactando diferentes regiões, como Sudeste, Pantanal, Amazônia e Sul, em períodos recentes, conforme apontam relatórios da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2017; 2021a) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN, 2024). A ANA tem acompanhado a frequência desses eventos e expandiu o Monitor de Secas para todo o país em colaboração com os órgãos gestores de recursos hídricos estaduais, o que reforça a importância da governança das águas para secas.

As secas evoluem gradualmente e impactam a sociedade, a economia e os ecossistemas, classificadas em meteorológica, hidrológica, agrícola e socioeconômica (Sayers et al., 2017). É importante diferenciá-la da escassez hídrica, que resulta da insuficiência de recursos hídricos disponíveis para os usos múltiplos devido ao crescimento populacional, à urbanização e à intensificação das atividades econômicas (Flörke et al., 2018). Enquanto a seca tem causas predominantemente naturais, como variabilidade climática, padrões atmosféricos globais e regionais (El Niño, La Niña, Zonas de Convergência), e condições geográficas locais (Haile et al., 2019), a escassez hídrica reflete também pressões antrópicas sobre os sistemas hídricos. Em alguns casos, a dificuldade de acesso à água independe da disponibilidade natural e está relacionada a falhas operacionais e ineficiências na gestão, configurando o que se denomina "seca operacional" (De Nys et al., 2016). Diante da interdependência entre fatores naturais e socioeconômicos, a tese adota a expressão "secas e escassez hídrica" para abarcar esse conjunto de fenômenos e suas implicações para a governança e gestão das águas (La Jeunesse e Larrue, 2019). A recorrência desses eventos reforça a necessidade de estratégias adaptativas que considerem tanto os aspectos hidrológicos quanto os socioeconômicos, buscando garantir a segurança hídrica em um cenário de incertezas (Sayers et al., 2017; Taylor e Sonnenfeld, 2017). As incertezas, no contexto de mudanças climáticas, estão relacionadas às dificuldades de previsibilidade das secas, pois os modelos utilizados baseiam-se em dados históricos estacionários, enquanto o clima atual se caracteriza pela não estacionariedade (Lisonbee et al. 2024).

A Bacia do Rio Paraíba do Sul (BPS) possui importância estratégica nacional devido ao seu papel no abastecimento das duas maiores metrópoles do país - São Paulo e Rio de Janeiro. Mais conhecida por problemas de qualidade de água e de

cheias, a bacia enfrentou entre os anos de 2014 e 2016 uma crise sem precedentes, resultado da forte pressão sobre seus recursos e da seca de maior severidade do seu histórico (ANA, 2016). No contexto de intensificação das mudanças climáticas, estudos de modelagens meteorológicas e hidrológicas da BPS (Almeida, et al., 2023) indicam incertezas a respeito de secas futuras e a necessidade de mais estudos. A ANA (2024a) e a AGEVAP (2024) apontam redução da disponibilidade hídrica nos próximos anos (até 2040) sob mudanças climáticas. Além disso, a combinação entre o aumento da demanda, degradação ambiental da bacia hidrográfica e secas compõe um quadro que coloca em risco a segurança hídrica nas Bacias dos Rios Paraíba do Sul e Guandu.

A crise hídrica 2014-2016 impactou significativamente os setores industrial e hidroenergético, além de comprometer o abastecimento público de diversos municípios e a qualidade das águas (Vasconcellos, 2019; Registros de reuniões do grupo de trabalho do Comitê da Bacia entre 2014-2016). Apesar de os impactos terem afetado toda a bacia, eles se diferenciam entre a porção com reservatórios e infraestrutura de regularização de vazões – onde os efeitos da operação do Sistema Hidráulico são relevantes e foram centrais nas ações de enfrentamento – e a porção sem essa infraestrutura, especialmente no trecho do Baixo Paraíba do Sul, onde os efeitos da seca se manifestaram de forma mais direta, sem o amortecimento proporcionado pela reservação. Essa distinção evidencia que o enfrentamento da escassez hídrica requer estratégias diferenciadas para cada contexto hidrográfico da bacia.

Diante disso, esta tese concentrou-se na análise da capacidade adaptativa e das ações e medidas adotadas pelas instituições do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos atuantes na BPS e pelos usuários localizados na porção da bacia beneficiada pela infraestrutura hídrica e pela operação de reservatórios – notadamente, nos rios Paraíba do Sul e Guandu.

Dez anos após a crise, emerge uma indagação central: a Bacia do Rio Paraíba do Sul conseguiu aproveitar o impulso gerado pelo enfrentamento da crise hídrica para construir uma capacidade adaptativa mais robusta e transformativa?

O complexo contexto de governança e gestão da Bacia do Rio Paraíba do Sul e a recorrência das secas podem ser analisados a partir de um arcabouço teórico-conceitual advindo do campo científico da resiliência e da capacidade adaptativa

(Engle e Lemos, 2010). Esse campo possui convergências com o campo da ciência política, em especial a respeito das crises possuírem um papel relevante na indução das mudanças transformadoras em sistemas socioecológicos (Folke et al., 2005). Na gestão dos recursos hídricos, Wilhite et al. (2007) alertam para a ineficiência do enfrentamento de secas baseado em atenuar os impactos durante a crise e defendem que a gestão das águas lide com secas proativamente. Hill (2013) e Pahl-Wostl (2007; 2015) apontam a abordagens baseadas em sistemas socioecológicos, capacidade adaptativa e aprendizagem social como sendo promissoras para lidar com os desafios da gestão dos recursos hídricos, no qual eventos extremos como as secas podem se tornar o novo padrão no futuro.

Para responder a esta indagação, foi feita uma revisão bibliográfica sistemática sobre como eram conduzidos os estudos de avaliação da capacidade adaptativa. Percebemos que as pesquisas empregam quadros analíticos (*frameworks*), que relacionam dimensões da capacidade adaptativa para avaliar como sistemas socioecológicos lidam com eventos extremos de seca e escassez hídrica. Parte dos estudos limitam a análise às instituições, enquanto outra parte prefere compreender a capacidade adaptativa no nível do usuário local. Ambas as abordagens mantêm o foco em um setor usuário único, desde sistemas agrícolas simples até os mais complexos sistemas hídricos urbanos. Na roda da capacidade adaptativa<sup>1</sup>, Gupta et al. (2010) empregam seis dimensões para avaliar como as instituições (regras, normas e práticas) podem melhorar a capacidade adaptativa (CA), posteriormente Hurlbert e Gupta (2019) aplicam o *framework* ao uso agrícola em localidades de Canadá, Chile e Argentina. Nesta mesma perspectiva institucional, inclui-se estudos de Du et al. (2018), que analisam as mudanças institucionais para governança adaptativa em serviços urbanos de água, em uma cidade no Vietnã. Bettini et al. (2015) comparam os serviços em duas cidades australianas e diferenciam as fases de adaptação dentro do ciclo adaptativo. Engle e Lemos (2010) avaliam a CA comparativamente em 18 bacias hidrográficas no Brasil sob a perspectiva institucional e desenvolvem um índice de governança com dados qualitativos.

Outro grupo de trabalhos investiga a capacidade adaptativa que parte de usuários em nível local. Um exemplo é o estudo de Matewos (2019), que utilizou o

---

<sup>1</sup> O conceito em língua inglesa é: "*Adaptive Capacity Wheel*".

quadro analítico da capacidade adaptativa local<sup>2</sup>, desenvolvido em 2010 e aplicado a oito estudos de caso em países africanos, para conduzir sua análise em nível familiar em uma comunidade rural da Etiópia. Dessa forma, a avaliação da capacidade adaptativa multinível, que leve em conta as iniciativas dos diversos setores usuários incluídos no sistema socioecológico, constitui-se em lacuna a ser mais bem explorada da literatura científica.

De modo geral, os estudos, incluindo os mencionados, restringem a avaliação da capacidade adaptativa ao momento do enfrentamento da seca, isto é, avaliam a adaptação no período da adversidade instalada. Além disso, a literatura sobre capacidade adaptativa e sistemas socioecológicos explora pouco o conjunto de dimensões que influenciam a atuação em momentos de crise para promover mudanças transformativas (Ajulo, 2022). Hill (2013), destaca a necessidade de integrar *frameworks* que avaliam as estratégias adaptativas aos que avaliam o potencial de construir capacidade adaptativa a longo prazo, afim de tornar as avaliações menos teóricas. Por exemplo, Dilling et al. (2019) utilizam eficácia, eficiência e equidade para avaliação de ações de adaptação às secas em serviços de água urbanos nos Estados Unidos. Esses fatores de avaliação são insuficientes para entender se o sistema socioecológico pode desenvolver capacidade adaptativa (Hill, 2013). Neste contexto, o *framework* de Dilling et al. (2023) avança ao conectar as estratégias adaptativas à construção da capacidade adaptativa dos sistemas em estágios. Entretanto, os autores focam em um único setor usuário, composto por três grandes sistemas de abastecimento urbano dos Estados Unidos.

Apesar da existência de variados *frameworks* e modelos conceituais para avaliação da capacidade adaptativa, a literatura não enfatiza a combinação entre avaliação multinível (envolvendo iniciativas de gestores e de setores usuários) e a dinâmica de construção de capacidade adaptativa por meio de medidas adaptativas em diferentes estágios, permitindo a identificação de distintos níveis (ou uma construção gradual) dessa capacidade.

Diante disso, foram adotados alguns referenciais para esta tese: construção gradual da capacidade adaptativa (Bettini et al., 2015); sua conexão com medidas de adaptação de curto e longo prazos (Dilling et al., 2023); e análise multinível (HILL,

---

<sup>2</sup> O conceito em língua inglesa é: *Local Adaptive Capacity Framework* (LACF).

2013; Pahl-Wostl, 2009), incluindo os setores usuários em sistemas socioecológicos (Ostrom, 2009). Esses referenciais abordam teorias que, em conjunto, contribuem para a compreensão da complexidade do estudo de caso do Paraíba do Sul. A revisão também oportunizou identificar as dimensões convergentes da capacidade adaptativa.

Assim, chegou-se à conclusão de que era necessário construir nosso próprio quadro analítico como uma ferramenta heurística. Dessa forma, a tese, que começou com uma indagação sobre um estudo de caso, precisou avançar na construção de um quadro analítico, criando assim um enquadramento teórico-metodológico original, adequado ao objeto investigado.

A surpresa com que gestores e usuários perceberam a seca de 2014-2015 na Bacia do Paraíba do Sul pode ser explicada, ao menos em parte, pelo fato de estar situada em uma região de clima úmido. As secas, comumente associadas aos climas áridos e semiáridos, têm se tornado mais frequentes e/ou severas recentemente, em razão da intensificação dos efeitos das mudanças climáticas, desencadeando escassez hídrica em áreas antes menos afetadas por esses fenômenos, como as regiões tropicais do planeta.

### **Questões e Hipótese**

A principal questão que esta tese busca responder é se os atores dos sistemas de gestão das águas aproveitam crises hídricas como oportunidades para promover a segurança hídrica frente às secas e à escassez hídrica, e, em caso afirmativo, de que maneira o fazem. Em outras palavras, como os atores de sistemas socioecológicos aproveitam (ou não) crises hídricas para construir capacidade adaptativa visando maior segurança hídrica em contexto de secas?

A hipótese central é a de que há uma resistência sistêmica para ajustes profundos nos sistemas de governança e gestão das águas, mesmo diante da pressão crescente de estressores climáticos e não climáticos, dificultando, assim, a construção de uma capacidade adaptativa verdadeiramente transformativa.

Essa capacidade adaptativa é formada por um conjunto de estratégias que habilitam sistemas socioecológicos a lidar com os riscos de escassez hídrica associados às secas, diante da complexidade e incerteza inerentes a esses eventos

extremos. Qualquer combinação de ações de enfrentamento (ações em resposta aos impactos, reativas e temporárias), medidas adaptativas incrementais (promovem melhorias graduais mantendo a lógica estrutural) e medidas transformativas (alteram significativamente gestão, governança e a concepção de infraestruturas existentes e novas, com ganhos a longo prazo) podem compor este conjunto de estratégias (Fedelle et al., 2019; Dilling et al., 2023).

Para testar essa hipótese, será desenvolvido um quadro analítico (*framework*), que então será aplicado ao estudo de caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Outras questões que norteiam a pesquisa mais especificamente são:

- Quais fatores (dimensões da capacidade adaptativa) caracterizam um sistema com habilidade para aproveitar a janela de oportunidade de crises hídricas na construção da capacidade adaptativa?
- Como o enfrentamento da crise se relaciona com a construção da capacidade adaptativa de longo prazo no período pós-crise hídrica?
- O Sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul (SSE-BPS) está mais adaptado às secas e escassez hídrica, dez anos após a crise hídrica de 2014-2016?

## **Objetivos**

Esta tese teve como objetivo principal desenvolver um quadro analítico para a avaliação qualitativa da capacidade adaptativa de sistemas socioecológicos frente às secas e à escassez hídrica, após a vivência de eventos severos de crises hídricas, e aplicá-lo ao sistema de governança e gestão da Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Para alcançar esse objetivo geral, o estudo foi estruturado em quatro objetivos específicos:

- Investigar como a literatura científica explora o conceito de capacidade adaptativa em sistemas socioecológicos aplicada aos recursos hídricos em situações de seca e quais são os conceitos mais frequentemente associados.
- Identificar e compreender quais dimensões da capacidade adaptativa influenciam o enfrentamento de secas e escassez hídrica e contribuem para o aumento da resiliência do sistema como um todo;

- Analisar, na prática, se essas dimensões estavam presentes no caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul e se contribuíram para a construção de estratégias adaptativas durante e após a crise hídrica 2014-2016.
- Identificar limitações e potencialidades da aplicação do quadro analítico na análise de capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica.

## **Métodos**

Para investigar essas questões, esta pesquisa seguiu a abordagem metodológica qualitativa com a estratégia de estudo de caso. Os métodos empregados foram, resumidamente:

- (i) revisão sistemática e integrativa para construção do enquadramento teórico-conceitual e desenvolvimento de um quadro analítico sobre capacidade adaptativa e secas;
- (ii) Coleta de dados em documentos técnicos-científicos, registros de reuniões e entrevistas com atores-chave do estudo de caso;
- (iii) Análise de conteúdo qualitativa para interpretar os significados extraídos dos documentos e entrevistas à luz do quadro analítico.

## **Estrutura da tese**

A tese se organiza em quatro capítulos, além desta introdução e das considerações finais. No primeiro capítulo detalhamos a metodologia especialmente o desenvolvimento da análise de conteúdo qualitativa.

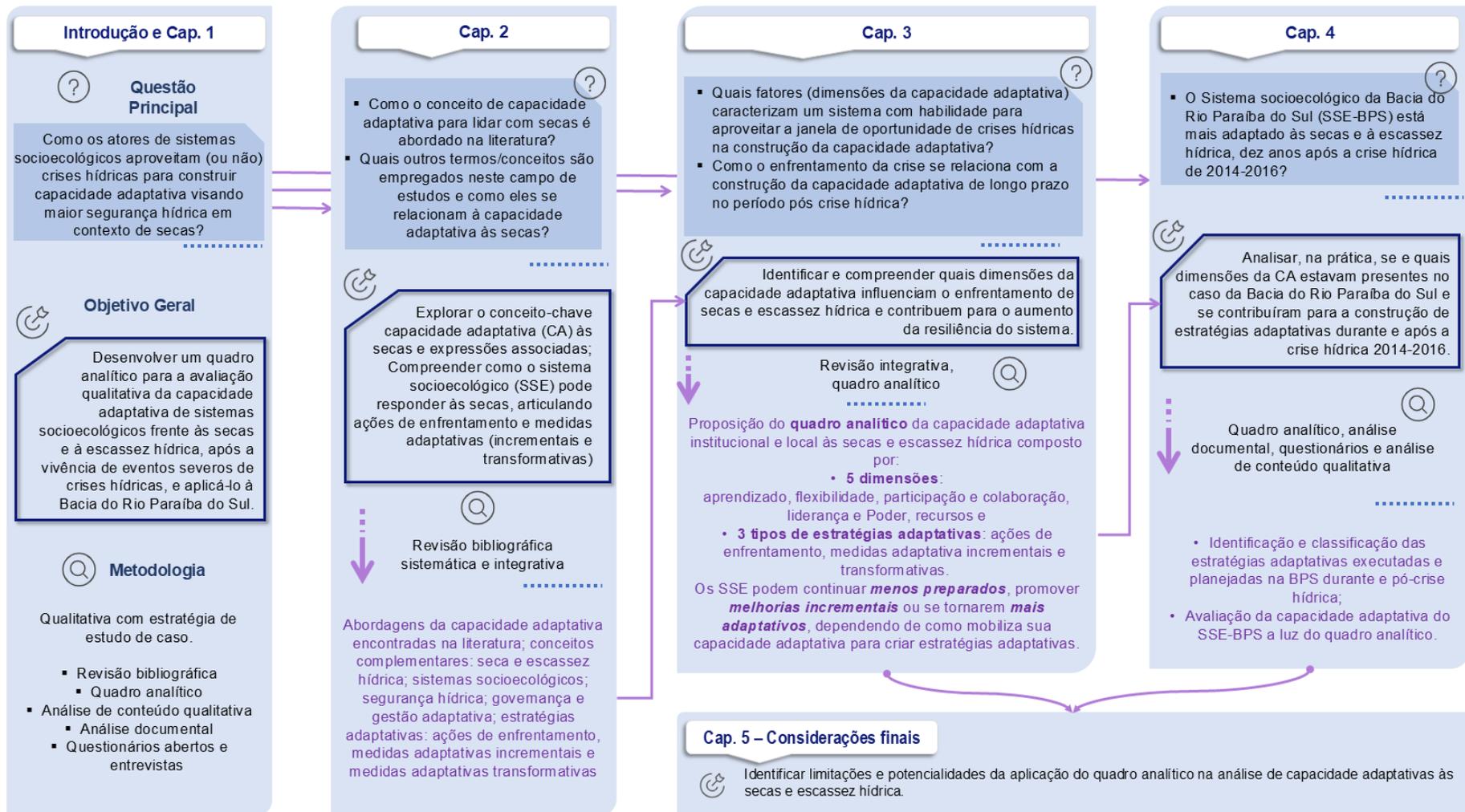
No segundo capítulo apresentamos a revisão de literatura sobre a capacidade adaptativa como uma característica desejável para a governança e gestão das águas, especialmente em momentos de secas. Trazemos para esta discussão outros conceitos que formam o arcabouço teórico para a tese: seca e escassez hídrica, sistemas socioecológicos, segurança hídrica, governança e gestão de recursos hídricos, resiliência e estratégias adaptativas. Este é um conjunto de conceitos e temas ainda com vastas possibilidades de exploração pela literatura no Brasil, especialmente no campo de gestão dos recursos hídricos, por isso, a necessidade de uma revisão abrangente.

O terceiro capítulo é constituído pelo desenvolvimento de uma metodologia de avaliação qualitativa da capacidade adaptativa, institucional e local, às secas e escassez hídrica de sistemas socioecológicos (quadro analítico), considerando as dimensões da capacidade adaptativa que permitem ao sistema a aproveitar a janela de oportunidade na promoção de mudanças transformativas.

No quarto capítulo, aplicamos o quadro analítico proposto ao sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul, constituído por seus limites territoriais, infraestruturas hidráulicas, disponibilidade hídrica, sistemas de governança e gestão das águas e usuários.

A fim de trazer uma prévia para o leitor e facilitar sua navegação pelos próximos quatro capítulos, incluímos o esquema analítico e estrutura da tese (Figura 1).

Figura 1 - Esquema analítico &amp; Estrutura da tese



Fonte: A autora, 2025.

## 1 METODOLOGIA DE PESQUISA

Esta tese se insere no campo das pesquisas qualitativas, partindo de uma revisão sistemática da literatura para identificar as dimensões da capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica, empregadas posteriormente na construção de um quadro analítico, utilizado para compreender um estudo de caso, sobre o qual as informações foram levantadas em entrevistas e documentos examinados por meio da análise de conteúdo qualitativa.

O quadro analítico funciona como uma lente teórica<sup>3</sup> organizada, construído a partir da literatura, que permitirá explorar o estudo de caso. Durante o processo exploratório, as dimensões ou elementos não identificados na literatura podem emergir e, conseqüentemente, serem integradas a análise para melhor compreensão do estudo de caso. Assim, a interação entre o quadro analítico (teoria) e o estudo de caso é caracterizada por uma relação dialética<sup>4</sup>.

A gestão de secas e escassez hídrica requer atenção devido às crises recentes causadas por condições climáticas regionais, locais e efeitos das mudanças climáticas globais. Sobre este pano de fundo, pesquisadores destacam a capacidade adaptativa como crucial para sistemas socioecológicos resilientes diante desses desafios (Folke, 2005; Pahl-Wostl, 2009; Gupta, 2010). Mesmo em bacias hidrográficas situadas em regiões com climas úmidos e dotadas de infraestrutura hídrica para reservação das águas, mudanças recentes nos padrões de chuvas e vazões têm exacerbado o problema. A gestão inadequada de recursos hídricos também contribui para crises, tornando o problema ainda mais complexo em meio a um contexto de incertezas crescentes, o que ressalta a necessidade urgente de pesquisa para abordar essas questões emergentes.

Em uma primeira etapa, com base na literatura, utilizamos as dimensões da capacidade adaptativa e os atributos das ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e transformativas para criar um conjunto de categorias principais baseadas em conceitos. Como um segundo passo, validamos as categorias

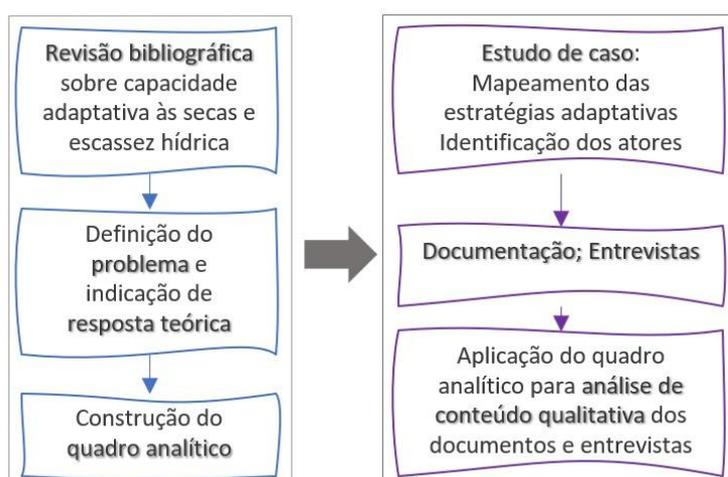
---

<sup>3</sup> De acordo com Creswell (2007. p. 141), as lentes ou perspectivas teóricas são empregadas para guiar o estudo a partir de questões que serão abordadas.

<sup>4</sup> A dialética como uma abordagem da pesquisa qualitativa é um ideal que permitiria relacionar a parte e o todo, o mundo natural e o social (Minayo, 2001. p. 24).

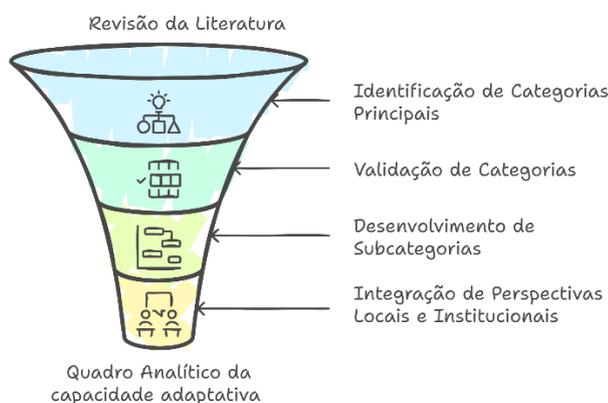
principais que se ajustariam ao estudo de caso proposto. Para detalhar a análise, bem como possibilitar a avaliação qualitativa, criamos subcategorias baseadas nos dados. Subcategorias adicionais foram criadas toda vez que novos aspectos surgiram da análise dos documentos e entrevistas. Esses procedimentos resultaram no quadro analítico com as categorias da capacidade adaptativa incremental e transformativa para gestão das águas do ponto de vista local (iniciativas de usuários de água bruta) e institucional (órgãos e instituições do sistema de gestão organizados em múltiplos níveis) (Figura 2 e 3).

Figura 2 - Procedimentos metodológicos



Fonte: A autora, 2025.

Figura 3 - etapas de desenvolvimento do quadro analítico da capacidade adaptativa



Fonte: A autora, 2025.

Cabe ressaltar que o processo iterativo de construção do quadro analítico possibilita justamente a adequação da lente teórica ao estudo de caso. No entanto,

em uma tentativa de criar um quadro que se aplique a outros contextos, a primeira fase, de buscar dimensões da capacidade adaptativa na literatura, não coloca o estudo de caso como condicionante. Ademais, busca-se nas discussões apresentar como o estudo de caso desta tese conversa com outras pesquisas na mesma temática, sobretudo quanto às congruências dos achados sobre a influência das dimensões na construção da capacidade adaptativa as secas e escassez hídrica.

As estratégias adaptativas foram identificadas e caracterizadas como medidas adaptativas e incrementais e ações de enfrentamento considerando critérios específicos de momento de criação e de implementação, resultados obtidos, abrangência espacial etc. Em seguida a análise desse conjunto sob a perspectiva das dimensões da capacidade adaptativa foi empregada para responder a principal questão da tese.

O quadro analítico relaciona estratégias adaptativas às dimensões da capacidade, a fim de entender como as estratégias adaptativas podem contribuir para construção da capacidade adaptativa local e institucional para o enfrentamento das secas e escassez hídrica. Mas não somente, uma vez que as dimensões podem ser observadas em processos e práticas da governança e gestão das águas sem necessariamente resultarem em uma estratégia adaptativa.

Diferenciar estratégias adaptativas - em ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e medidas adaptativas transformativas - requer compreender como cada uma delas incorpora as principais dimensões da capacidade adaptativa, que nesta tese, são: aprendizado, flexibilidade, liderança e poder, participação e colaboração e recursos.

A aplicação do quadro analítico implica na seleção do estudo de caso, levantamento dos dados e informações específicas a respeito de cada uma das dimensões da capacidade adaptativa selecionadas, bem como sobre o enfrentamento de crise hídrica e estratégias adaptativas empregadas. Primeiro abordamos o estudo de caso como método. Em seguida falamos dos métodos para levantamento dos dados: as entrevistas e os documentos.

## 1.1 Estudo de caso como estratégia metodológica

Martins (2008) defende que o estudo de caso serve para uma investigação empírica em seu contexto real. Isto se aplica ao estudo da capacidade adaptativa em geral, uma vez que é vista como um conceito dependente do contexto real para ser compreendida. O mesmo autor destaca que o estudo de caso depende que sejam reunidas informações, dados e evidências levantados por diferentes técnicas, sem prescindir de base teórica robusta. O estudo de caso oferece ao pesquisador a oportunidade de

identificar e analisar a multiplicidade de dimensões que envolvem o caso - e, de maneira engenhosa, descrever, compreender, discutir e analisar a complexidade de um caso concreto, construindo uma teoria que possa explicá-lo e prevê-lo. (MARTINS, 2008).

A estratégia aplica-se a estudos que buscam compreender fenômenos contemporâneos (Yin, 2005). Optar por um estudo de caso permite uma investigação aprofundada e detalhada da capacidade adaptativa às secas em uma bacia hidrográfica específica. Isso possibilita a análise das interações entre os diversos elementos do sistema, identificando padrões, desafios e oportunidades que podem não ser evidentes em uma escala mais ampla e genérica.

Betinni et al. (2015) argumentam que apesar de estudos buscarem dimensões e indicadores da capacidade adaptativa, faltam ainda explicações sobre a combinação de atributos do sistema em condições e contextos particulares para construir capacidade adaptativa. Neste sentido, o estudo de caso colabora para melhorar o entendimento em situações específicas.

Uma das críticas mais recorrentes ao estudo de caso como estratégia metodológica é o viés do autor, e no caso das pesquisas de doutorado no Brasil essa crítica é muito importante uma vez que a tese é conduzida por um único pesquisador, ainda que conte com a orientação do professor. Neste caso, trabalhar com fontes diversas de dados e evidências que permitam a triangulação dos resultados ajuda a tratar cientificamente a limitação de viés da interpretação (Martins, 2008; Minayo, 1997; Yin, 2005).

### 1.1.1 Entrevista

O método da entrevista é uma técnica para coletar dados com o objetivo de compreender os significados que o entrevistado construiu a partir das situações que experienciou (Martins, 2008). Martins (2008) ressalta a importância da entrevista ser conduzida a luz da teoria. Nesta pesquisa optou-se por desenvolver um questionário com respostas abertas, que fosse capaz de conduzir a conversa com o entrevistado com base no quadro analítico construído. O objetivo principal era capturar informações provenientes da vivência do entrevistado no contexto do estudo de caso, a crise hídrica 2014-2016 da Bacia do Rio Paraíba do Sul, bem como suas percepções e avaliações posteriores, uma vez que já se passaram 10 anos da crise.

A seleção dos entrevistados<sup>5</sup> foi feita com base na amostragem não probabilística, por variedade de tipos e por bola de neve (Pessoa e Ramires, 2013). Verificamos a partir da identificação dos atores institucionais e usuários da água (tipos de uso da água) aqueles que desempenharam funções durante o enfrentamento da crise, e os usuários mais afetados a fim de obter uma multiplicidade de pontos de vista sobre o mesmo fenômeno. Complementamos a lista com pessoas indicadas para entrevista oriundas daquelas selecionadas na primeira etapa de aplicação dos questionários.

As entrevistas são fontes importantes de averiguação. Alguns entrevistados são capazes de fornecer, inclusive outras fontes de pesquisa. Além disso, a complementariedade das informações de entrevistas e documentos permite validar os achados da pesquisa por meio da triangulação (Martins, 2008). A convergência de informações com origens em técnicas de levantamento distintas, neste caso entrevista e documentos, aumenta a confiabilidade da pesquisa.

### 1.1.2 Documentos

---

<sup>5</sup> A pesquisa utilizou entrevistas anônimas, sem coleta de dados pessoais identificáveis, com o objetivo de aprofundar informações já disponíveis em documentos públicos. Conforme a Resolução nº 510/2016 do Conselho Nacional de Saúde (CNS), pesquisas dessa natureza — que não envolvem riscos, identificação dos participantes ou temas sensíveis — estão isentas de apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Além disso, a coleta e o tratamento dos dados observaram os princípios da Lei Geral de Proteção de Dados (Lei nº 13.709/2018), assegurando confidencialidade, uso exclusivo para fins científicos e consentimento livre dos participantes. Diante disso, não foi necessária a submissão à Plataforma Brasil ou a aprovação por CEP.

Documentos como materiais de pesquisas em estudos de caso podem se referir a materiais não editados, isto é, relatórios, memorandos etc. (Martins, 2008). O compartilhamento de responsabilidades e os instrumentos próprios da gestão de recursos hídricos gera uma série de documentos como relatórios de estudos técnicos, planos de bacia, relatórios de acompanhamento de gestão, atas de reuniões de grupos técnicos, entre outros.

As atas de reunião de grupos técnicos referem-se ao Grupo de Trabalho Permanente de Acompanhamento da Operação Hidráulica na Bacia do Rio Paraíba do Sul para atuação conjunta com o Comitê da Bacia do Rio Guandu do CEIVAP (GTAOH) e ao Grupo de Assessoramento de Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (GAOPS).

As atas de reunião do GTAOH, bem como apresentações feitas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e outros atores estão disponíveis no *site* do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP). Todas as atas disponíveis durante a crise entre 2014-2016 e pós-crise a partir de 2017 até o final de 2023 foram analisadas. Até o final de 2024, as atas das reuniões deste último ano, não estavam disponíveis, apesar da apresentação do ONS e ata de convocação da 1ª reunião do ano estarem disponíveis, evidenciando a ocorrência de pelo menos uma reunião do grupo em 2024.

Quanto ao GAOPS foram analisadas 37 (trinta e sete) transmissões ao vivo das reuniões, disponíveis no canal do Youtube da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), correspondentes ao período entre janeiro de 2022 (1ª gravação disponível) e dezembro de 2024 (término do período de pesquisa). Os vídeos foram transcritos.

Yin (2005) aponta três elementos para condução de estudos de caso: a fundamentação teórica, o cuidado com a confiabilidade do estudo e uma descrição do caso com detalhamento do fenômeno. Seguindo esta linha, criamos o quadro analítico com base na literatura; descrevemos o estudo de caso – a capacidade adaptativa para o enfrentamento da crise hídrica 2014-2016 da Bacia do Rio Paraíba do Sul e seus desdobramentos posteriores e; estivemos atentos a confiabilidade do estudo, buscando diferentes técnicas e fontes de informações, o que incluiu entrevistas com diversas partes interessadas e atores do processo, bem como a análise documental de múltiplas fontes.

## 1.2 O emprego da análise de conteúdo qualitativa para interpretação dos dados

A análise de conteúdo qualitativa é empregada como o principal método para interpretar o significado dos dados de duas fontes principais: documentos e entrevistas. A condução do método está baseada principalmente em Schreier (2012). Os documentos foram identificados e organizados. As entrevistas foram sendo gravadas conforme eram realizadas, posteriormente foi feita a transcrição por meio da ferramenta interna do Google Drive. Em seguida, os documentos, áudios e transcrições das entrevistas foram importados e organizados no software Atlas.ti<sup>6</sup>, no qual foi conduzida toda a análise de conteúdo.

As entrevistas referem-se aos dados primários obtidos para esta pesquisa a partir de questionários semiestruturados aplicados a pessoas de diferentes grupos incluídos nos níveis institucional e local da capacidade adaptativa. Fazem parte do nível institucional representantes de órgãos e organizações integrantes do Sistema Nacional de Gestão Recursos Hídricos (SINGREH), especialmente aqueles com responsabilidades e papéis desempenhados durante a crise hídrica de 2014-2016 na Bacia do Rio Paraíba do Sul. Quanto ao nível local, estamos nos referindo diretamente aos usuários de água bruta de diferentes setores da economia relevantes no território do objeto de estudo. A amostra das entrevistas é representativa do ponto de vista qualitativo, pois buscou-se incluir os diferentes atores envolvidos na gestão dos recursos hídricos durante a crise hídrica 2014-2016 na Bacia do Rio Paraíba do Sul.

Os documentos incluem planos e relatórios institucionais para gestão dos recursos hídricos e atas de reuniões. A análise conduzida leva em conta dois momentos: a crise hídrica (2014-2016) e o pós-crise (2017-2024). Essa divisão interfere no método de análise dos documentos. Para a primeira etapa, o período de crise, os principais documentos são as Atas de reunião do GTAOH e adicionalmente

---

<sup>6</sup> É um programa computacional utilizado com o objetivo de analisar dados, que permite criar as categorias de análise, e associá-las as partes correspondentes do texto, criar anotações específicas de modo sistemático e organizado.

outros documentos. As atas seguem a análise de conteúdo qualitativa estritamente, enquanto os documentos adicionais são verificados a fim de buscar validação para as estratégias apontadas nas atas, ou ainda aquelas que possam ter sido planejadas anteriormente, o que pode incluir estratégias e/ou oferecer mais robustez às discussões apresentadas na pesquisa. Neste caso, utilizamos o Atlas.ti para organizar os documentos, fazer buscas por termos-chave, e ferramentas de Inteligência Artificial, como identificação de conceitos e frequência de palavras. Os termos buscados incluem: mudanças climáticas, seca, escassez hídrica, estiagem.

Para o período pós-crise, além das atas do GTAOH posteriores a crise (2017-2023), são incluídas na análise de conteúdo qualitativa transcrições e anotações de reuniões do GAOPS, e outros documentos mais específicos para lidar com secas e escassez hídrica.

A análise qualitativa depende de uma classificação consistente dos materiais em categorias provenientes de um quadro estruturado de codificação. A análise de conteúdo foi utilizada devido a riqueza de dados que precisam ser interpretados sistematicamente, apesar da diversidade da linguagem empregada.

Minayo (2001) afirma que a análise dos dados em pesquisas qualitativas se dá em várias etapas e que a análise de conteúdo é um dos tipos de técnica para se adotar. Schreier (2012), em seu manual prático, define a análise de conteúdo qualitativa como um método para descrever e interpretar dados qualitativos de forma sistemática. O método é sistemático porque o quadro de codificação é utilizado para atribuir categorias à trechos do material analisado sucessivamente. Nesta tese, foram analisados documentos e entrevistas, utilizando o mesmo quadro de codificação, que foi desenvolvido em etapa anterior, derivado do quadro analítico da capacidade adaptativa institucional e local às secas e à escassez hídrica.

A análise de conteúdo qualitativa colabora com a estratégia metodológica do estudo de caso ao permitir a análise de uma grande quantidade de dados e informações de modo ágil (Martins, 2008), uma vez, que de certa forma reduz a quantidade de material a ser analisado. Isso ocorre pela preconcepção do foco ao que será analisado, por meio das categorias e subcategorias de análise Schreier (2012).

As dimensões da capacidade adaptativa correspondem as categorias principais de análise. Os atributos das medidas de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e transformativas, que detalham cada dimensão, formam as

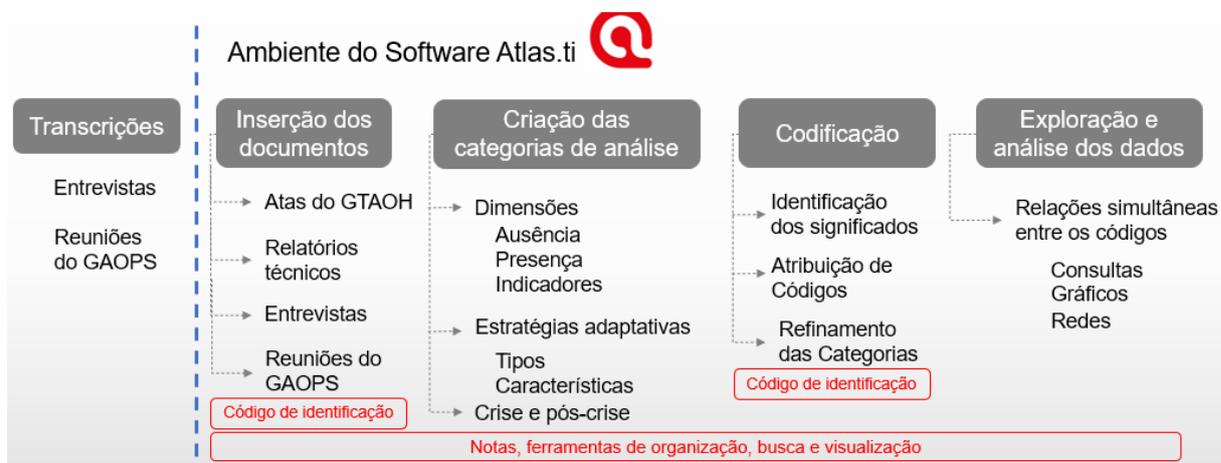
subcategorias. Além destas, subcategorias adicionais encontradas nas entrevistas e documentos podiam ser incorporadas a análise, desde que pudessem ser parte de uma categoria existente, isto é, de uma das dimensões da capacidade adaptativa.

O emprego da análise de conteúdo qualitativa dos documentos e entrevistas permitiu interpretar fontes diferentes de dados a partir de uma mesma lente teórica. O quadro analítico criado a partir da literatura, foi a base para a emergência das categorias e subcategorias do quadro de codificação da análise de conteúdo. Desse modo, foi possível investigar como as estratégias adaptativas foram empregadas para o enfrentamento da crise hídrica 2014-2016 na Bacia do Paraíba do Sul, bem como se contribuem para um aumento da resiliência do sistema socioecológico para lidar com secas e escassez hídrica no contexto de incertezas.

### 1.2.1 Emprego do software Atlas.ti para a análise de conteúdo qualitativa dos documentos

Os procedimentos adotados para a aplicação do quadro analítico e a sistematização da análise de dados qualitativos realizada no software Atlas.ti são descritos (Figura 4).

Figura 4 - Etapas e procedimentos para aplicação do quadro analítico no ambiente do Software Atlas.ti



Fonte: A autora, 2025.

As fontes documentais da pesquisa, incluindo a transcrição e áudios das entrevistas foram inseridas e organizadas no software Atlas.ti, ferramenta especializada em análise qualitativa de dados. A utilização deste ambiente digital proporcionou agilidade e sistematização ao processo analítico, além de permitir a

realização de buscas automatizadas para identificação de padrões, palavras-chave e recorrências, características fundamentais na abordagem da análise de conteúdo qualitativa.

No Atlas.ti, cada documento importado foi identificado por um código numérico, mantendo-se a possibilidade de inclusão de novos documentos ao longo do desenvolvimento do projeto.

Na etapa seguinte, as categorias de análise foram criadas, fundamentadas no quadro analítico previamente definido. As categorias principais corresponderam às dimensões da capacidade adaptativa e aos tipos de estratégias adaptativas, além de suas respectivas subcategorias. No caso das dimensões, cada ocorrência foi qualificada quanto à presença ou ausência nos documentos, sendo utilizados indicadores específicos para identificação desses aspectos (discutido na seção 3.2). Quanto às estratégias adaptativas, estas foram organizadas conforme os diferentes tipos e características observadas ao longo da análise.

O processo de codificação foi conduzido diretamente no ambiente do software, por meio da associação de categorias previamente definidas a trechos de texto específicos dos documentos. À medida que novas interpretações emergiam durante a leitura e análise, novos códigos foram criados, permitindo capturar nuances que não haviam sido previstas inicialmente. Por exemplo, ao analisar a dimensão relacionada à liderança e poder, tornou-se evidente a necessidade de incluir um indicador específico para mediação de conflitos, o que resultou na criação de um novo código. Da mesma forma, na análise referente ao aprendizado organizacional, a categorização inicial – que distinguia os ciclos único, duplo e triplo – foi posteriormente revisada e consolidada em uma categoria única, para melhor refletir os dados encontrados.

Além da codificação, o Atlas.ti também permitiu a inserção de anotações associadas a documentos, trechos específicos (citações) e códigos, o que contribuiu significativamente para a interpretação dos dados ao longo de todas as etapas da análise.

Por fim, destaca-se a etapa de exploração e visualização dos dados. O software ofereceu ferramentas de consulta e geração de visualizações, como tabelas, gráficos e redes de relacionamento entre códigos e citações. Algumas dessas redes de códigos foram incorporadas ao corpo desta tese, com o objetivo de ilustrar a

construção dos significados, evidenciar as conexões entre estratégias e dimensões da capacidade adaptativa, além de facilitar a triangulação e validação das informações coletadas.

Esse conjunto de procedimentos foi fundamental para estabelecer uma análise sistemática e consistente, que embasou os resultados apresentados nos capítulos seguintes.

## 2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL

Este capítulo apresenta os conceitos fundamentais que orientaram a pesquisa, com destaque para o principal deles: a capacidade adaptativa, explorada em maior profundidade na seção 2.1. Em seguida, na seção 2.2, são discutidos conceitos complementares que sustentam a abordagem adotada para a tese, como seca e escassez hídrica em regiões de clima úmido, sistemas socioecológicos, segurança hídrica, governança e gestão adaptativa.

Na sequência, posicionamos a capacidade adaptativa dentro da abordagem da resiliência, destacando como ela se manifesta por meio de estratégias adaptativas — ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e medidas adaptativas transformativas — que servem como eixo condutor da tese (Figura 5).

Figura 5 - Resumo esquemático da ideia basilar da tese



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: Sistemas socioecológicos formados por bacias hidrográficas (SSE-BH) são compostos pelo território da bacia e infraestruturas hídricas, inclusive transposições interbacias; o serviço ecológico fornecido: disponibilidade hídrica; usuários; e sistemas de gestão e governança. As dimensões da capacidade adaptativa são os elementos que a compõem e habilitam o sistema para agir diante de eventos extremos de seca e escassez hídrica. Quando isto ocorre a CA do sistema se manifesta por meio de estratégias adaptativas de diferentes tipos: ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e transformativas.

Ou seja, a análise teórico-conceitual busca também compreender como o sistema socioecológico pode responder às secas, articulando ações de enfrentamento e medidas adaptativas incrementais e transformativas. Outro objetivo é verificar se a capacidade adaptativa mobilizada durante a exposição ao evento extremo pode ser sustentada e, assim, direcionar o sistema para uma trajetória mais resiliente.

A capacidade adaptativa pode ser compreendida como uma característica de sistemas socioecológicos que pode ser amplamente influenciada pela dimensão socioeconômica. Nesse contexto, os principais agentes responsáveis por concretizá-la são as instituições integrantes da gestão dos recursos hídricos e os usuários da água.

## **2.1 Capacidade adaptativa e seca na literatura**

### **2.1.1 Introduzindo o conceito de capacidade adaptativa**

Esse item objetiva explorar o conceito-chave capacidade adaptativa às secas e expressões associadas, identificadas no processo de revisão da literatura acadêmica.

Na literatura acadêmica mundial, encontram-se estudos que, em contexto de secas, definem e avaliam a capacidade adaptativa de sistemas e suas interfaces com os conceitos de adaptação, vulnerabilidade e resiliência (Burchfield e Gilligan, 2016; Epule et al., 2017; Lemos et al., 2016; Sapountzaki e Daskalakis, 2018; Wreford e Adger, 2010). O termo “adaptativo” também tem sido utilizado para caracterizar a gestão e a governança das águas (*adaptive management*; *adaptive governance*), abordando aspectos teóricos e metodologias de análise e avaliação aplicadas a estudos de caso (Bettini et al., 2013; Hurlbert e Gupta, 2019; 2018; 2016).

No entanto, não se verifica amplamente, na literatura acadêmica internacional ou nacional, a aproximação do conceito de capacidade adaptativa à questão da seca especificamente, a ponto de modelar a aplicabilidade do conceito de capacidade adaptativa para a gestão das águas em situações dessa natureza.

A capacidade adaptativa refere-se à resposta e à adaptação de sistemas diante de mudanças, ao invés de apenas reagir aos impactos causados por estressores, como extremos de seca (Pahl-Wostl, 2007). A particularidade das secas, enquanto evento climático extremo, é sua potencialidade de causar impactos de curto, médio e longo prazos, que recaem sobre as pessoas, as atividades econômicas, a geração de energia, propagando-se em cascata, mesmo após o término do período de índices

pluviométricos abaixo da média (Grainger et al., 2021). Em países como o Brasil, as secas afetam diretamente a segurança hídrica, alimentar e energética.

Diante da dificuldade de prever a magnitude e a recorrência de extremos de seca, devido à complexidade dos sistemas (naturais e sociais) e suas incertezas inerentes, a capacidade adaptativa pode ser entendida como o potencial de um sistema para implementar novas ações (incluindo a alteração de processos ou a transformação de elementos estruturais) com base em novas experiências e interesses, ajustando-se para lidar melhor com tensões existentes e futuras (Pahl-Wostl, 2007). Os requisitos para a capacidade adaptativa são, justamente, a aprendizagem social contínua e a flexibilidade para adotar novas ações diante de situações igualmente novas (Pahl-Wostl, 2007; Engle, 2011).

A governança e a gestão de recursos hídricos são desafiadas pela complexidade das interações dos componentes naturais e sociais dos sistemas, em diversas escalas temporais e espaciais, pelas incertezas do ponto de vista climático e pelas escolhas sociais, políticas e econômicas. Tais complexidades inerentes aos sistemas podem ser exploradas de forma mais assertiva pela teoria dos sistemas socioecológicos (Chapin et al., 2009).

Nesta pesquisa, diante do uso de diversos termos nos estudos que abordam adaptação às secas, a capacidade adaptativa foi selecionada pelo entendimento de que é um importante elo – na interface com os demais conceitos – onde as sociedades podem intervir mais precisamente na direção de sistemas mais resilientes, menos vulneráveis e mais propensos a oferecer os serviços ecossistêmicos necessários, em particular a segurança hídrica (Sayers et al., 2017; Welsh et al., 2013; Chapin et al., 2009; Walker et al., 2004).

No Brasil, tanto em língua portuguesa quanto inglesa, foram identificados, na pesquisa, poucos estudos que discutem ou avaliam a capacidade adaptativa à seca. A maior parte aborda o problema da seca vivenciada na região Nordeste do país (Ambrosio et al., 2024), onde, historicamente, o fenômeno climático é recorrente e severo, com consequências drásticas. Trata-se de um contexto de escassez hídrica crônica, agravada pela intensificação de extremos climáticos. É oportuno, portanto, ampliar as discussões sobre abordagens de capacidade adaptativa e riscos de seca, sobretudo para outros contextos de clima mais úmido, que têm enfrentado recentemente crises hídricas por secas.

Adotando a revisão sistemática como metodologia, este capítulo objetiva compreender como a capacidade adaptativa é abordada em relação aos eventos de seca na literatura acadêmica mundial. A pesquisa contribui, ainda, para ampliar a disponibilidade de referências bibliográficas acadêmicas em língua portuguesa sobre o tema e, conseqüentemente, para as discussões e aplicações práticas do conceito na gestão das águas, especialmente em regiões úmidas que enfrentam crises hídricas provocadas por secas.

A capacidade adaptativa tem suas origens no termo adaptação, oriundo da biologia e da ecologia, denotando aprendizagem e ajuste para lidar com o ambiente (Engle, 2011). Em seguida, o conceito de capacidade adaptativa foi aplicado e desenvolvido também nas ciências sociais, notadamente na antropologia (Engle, 2011) e em outras áreas de estudo associadas às mudanças climáticas globais (Smit e Wandel, 2006). A diversidade de campos científicos que empregam a capacidade adaptativa foi demonstrada por Siders (2018). O autor encontrou 529 artigos sobre capacidade adaptativa na base de busca *Web of Science*, desde 1980, distribuídos nas disciplinas de Geografia, Ciências Sociais, Medicina, Biologia, Engenharia e Ciência da Computação.

A capacidade adaptativa aparece como uma abordagem importante para a gestão de recursos naturais frente a eventos climáticos extremos, em conjunto com mudanças globais de ordem social, econômica e ambiental, permeadas por incertezas decorrentes da própria complexidade de sistemas socioecológicos (Chapin et al., 2009).

Nesse sentido, outros conceitos aparecem junto à capacidade adaptativa. Chapin et al. (2009) relacionam capacidade adaptativa, vulnerabilidade, resiliência e capacidade de transformação (*transformability*) como atributos de sistemas socioecológicos. O autor destaca que esses atributos podem se complementar quando mobilizados para a “gestão dos ecossistemas baseada na resiliência”. Nesse quadro teórico, a capacidade adaptativa se destaca e se relaciona aos outros atributos – vulnerabilidade, resiliência e capacidade de transformação – por meio dos seguintes determinantes: agência dos atores, indivíduos ou grupos sociais; mecanismos com foco na aprendizagem e na inovação. Para Smit e Wandel (2006), o conjunto de termos associados à capacidade adaptativa é ainda mais amplo, pois inclui também: estratégias adaptativas, gestão adaptativa e governança adaptativa.

Muitos estudos (citados no Quadro 3) entendem a capacidade adaptativa como um elemento da vulnerabilidade. A ampla disseminação desse entendimento é compartilhada pelos relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), principalmente a partir de 2007, quando os pesquisadores do IPCC passaram a considerar a capacidade adaptativa como um dos três componentes da vulnerabilidade, juntamente com a exposição e a sensibilidade, sendo estas moduladas pela capacidade adaptativa. Desse modo, sociedades que apresentam maior capacidade adaptativa reduzem a vulnerabilidade dos sistemas quando expostas (Engle, 2011; Smit e Wandel, 2006).

Com o objetivo de contribuir para aplicações práticas do conceito de capacidade adaptativa, alguns pesquisadores direcionam seus esforços para a relação entre capacidade adaptativa, adaptação e estratégias adaptativas. Nesse sentido, a adaptação e as estratégias adaptativas são interpretadas como a expressão prática da capacidade adaptativa, ou seja, o potencial da capacidade adaptativa de se realizar por meio de ações e estratégias adaptativas (Clarvis e Engle, 2015; Smit e Wandel, 2006; Brooks et al., 2005).

Outros temas recorrentes entre as abordagens metodológicas da capacidade adaptativa são: os determinantes da capacidade adaptativa (redes de apoio, acesso a recursos financeiros, compartilhamento de informações e de conhecimento, etc.); as escalas espaciais – local, regional e global (Smit e Wandel, 2006; CHAPIN et al., 2009); os níveis de interação desses determinantes – sistemas socioecológicos, comunitário, institucional e individual (Phuong et al., 2017); e a temporalidade – experiências e aprendizados com secas anteriores ou risco de seca (futuro). A partir dos conceitos e temas identificados na prospecção inicial sobre o conceito de capacidade adaptativa na literatura, foram construídos o protocolo de pesquisa e de extração de dados, que embasaram a metodologia da revisão sistemática adotada nesta pesquisa.

Buscou-se, por fim, entender como o conceito de capacidade adaptativa se aproxima da problemática das secas, na literatura acadêmica, partindo do pressuposto de que a capacidade adaptativa à seca necessita de abordagens específicas e particulares, pois seus impactos podem se propagar por diversos setores, não serem sentidos imediatamente ao início da redução dos índices

pluviométricos e se estenderem por longo prazo após o restabelecimento das chuvas. Aplicou-se, então, a metodologia de revisão sistemática da literatura.

### 2.1.2 Metodologia de revisão dos estudos

A revisão bibliográfica sistemática tem sido amplamente utilizada em pesquisas acadêmicas pelo seu potencial de permitir ao pesquisador um entendimento mais aprofundado e específico de um determinado tema por meio de critérios pré-definidos, estabelecidos a partir de uma questão de pesquisa bem delimitada. As áreas em que esta ferramenta tem sido mais utilizada incluem as ciências médicas e, mais recentemente, as ciências ambientais, especialmente aquelas relacionadas aos recursos hídricos (Phuong et al., 2017).

Ao desenvolver a revisão sistemática para este estudo, identificaram-se revisões sistemáticas sobre capacidade adaptativa, entre as quais destacam-se: Siders (2018), que trata da fragmentação do campo científico; Phuong et al. (2017), com foco na relação entre capacidade adaptativa e aprendizagem social; Berrang-Ford et al. (2015), que propõem uma metodologia para revisar sistematicamente a capacidade adaptativa às mudanças climáticas; e Biesbroek et al. (2013), que se concentram em avaliar as metodologias das pesquisas sobre políticas de adaptação. Importante pontuar que as revisões citadas não analisam a capacidade adaptativa especificamente relacionada à seca, além de estarem disponíveis apenas em língua inglesa.

Para avançar na discussão específica sobre capacidade adaptativa e secas, objeto deste estudo, a pesquisa foi delimitada pelas questões:

- Como o conceito de capacidade adaptativa para lidar com secas é abordado na literatura acadêmica?
- Quais outros termos/conceitos são empregados neste campo de estudos e como eles se relacionam à capacidade adaptativa às secas?

Essas questões nortearam o detalhamento do protocolo da pesquisa. Os critérios de busca dos artigos incluem as palavras-chave, a expressão de busca, as bases de dados, o período e o idioma de publicação.

As palavras-chave da pesquisa – capacidade adaptativa, adaptação, gestão adaptativa e governança adaptativa, seca, resiliência, vulnerabilidade e risco –

foram utilizadas para construir a expressão de busca nas plataformas Scopus e *Web of Science* (WoS), a primeira europeia e a segunda norte-americana. A WoS abrange, desde 2014, a base de dados SciELO, que inclui periódicos latino-americanos nas línguas portuguesa e espanhola (Quadro 1). As bases de dados selecionadas estão disponíveis gratuitamente a partir do portal de periódicos da Capes. As buscas iniciais incluíram todo o período de dados disponíveis que, no caso da WoS, tem início em 1945 até 2021. Nessas buscas, encontraram-se artigos sobre o tema de pesquisa a partir de 1999.

O critério principal para a seleção dos artigos foi apresentar uma definição de capacidade adaptativa em um contexto de seca. As regras foram representadas pelas expressões de busca, nas quais as variações da palavra adaptação (“*adapt\**”) e seca precisavam aparecer no título, enquanto os demais termos – vulnerabilidade, resiliência, risco – poderiam aparecer tanto no título, quanto no resumo e/ou nas palavras-chave.

Quadro 1 - Expressões de busca utilizadas na pesquisa nas bases de dados WoS e Scopus.

Bases de dados	Expressões de busca
WoS	((TI= (drought AND adapt*) AND TS= (vulnerability OR risk OR "adaptive capacity" OR "adaptive governance" OR "adaptive management") NOT TS= (genetic* OR intraspecific OR leaf OR specie OR plant* OR tree*)))
Scopus	(TITLE (drought AND adapt*) AND TITLE-ABS-KEY ((vulnerability OR risk OR "adaptive capacity" OR "adaptive governance" OR "adaptive management")) AND NOT TITLE-ABS-KEY ((genetic* OR intraspecific OR leaf OR specie OR plant* OR tree*)))

Fonte: A autora, 2025.

Ao aplicar as regras descritas, verificou-se que as bases de dados retornavam muitos estudos sobre adaptação à seca de uma espécie vegetal ou animal específica, que foram excluídos ainda na expressão de busca, pois pertenciam necessariamente às áreas de ciências biológicas e agrônômicas e, conseqüentemente, estavam muito distantes dos objetivos desta pesquisa.

Ao todo, excluindo-se os trabalhos duplicados nas duas bases, foram encontrados 159 artigos. O cuidado na construção da expressão de busca não garante que todos os artigos estejam dentro do escopo pré-definido. Por isso, as fases seguintes de seleção dos artigos, extração, organização e análise dos dados reduzem significativamente o número total de artigos a serem estudados.

Os arquivos selecionados pelas bases de dados, com base nos critérios de busca adotados, foram organizados em planilhas Excel para a extração sistemática dos dados necessários à análise. A análise dos artigos foi realizada em três fases. Na

primeira fase, a partir do título, palavras-chave e resumo de cada artigo, validou-se e incluiu-se aqueles que tratavam da capacidade adaptativa relacionada às secas, o que resultou na exclusão de 47 artigos, reduzindo o total para 112 artigos na etapa seguinte.

Na segunda etapa, buscou-se identificar a linha teórica e como o conceito de capacidade adaptativa era abordado no estudo. Os artigos que não apresentavam explicitamente o conceito de capacidade adaptativa – um total de 10 – foram excluídos. Os demais artigos, 102 no total, passaram para a terceira fase. Nesta última etapa, o artigo completo foi estudado com o objetivo de identificar quais perspectivas e abordagens eram utilizadas nas pesquisas sobre capacidade adaptativa associada à seca. Nessa etapa, cinco artigos foram rejeitados. Finalmente, 97 artigos foram selecionados.

Por fim, foi aplicado um protocolo de extração de dados, com a definição de parâmetros e a qualificação dos estudos por abordagens da capacidade adaptativa à seca. Assim, buscou-se compreender como o conceito de capacidade adaptativa às secas foi abordado nos estudos científicos e como ele se relaciona com outros conceitos e abordagens teórico-metodológicas. A construção dos parâmetros foi baseada na identificação de conceitos e temas na pesquisa exploratória, que antecedeu a revisão sistemática, e foi determinante para a estruturação da análise dos artigos qualificados de acordo com a abordagem teórico-metodológica preponderante (apresentados nos resultados).

O protocolo de extração de dados incluiu oito parâmetros com categorias particulares para cada um deles (Quadro 2). O principal parâmetro – conceitos abordados – foi empregado para agrupar os artigos em oito abordagens. Na sequência, as categorias que qualificam os demais parâmetros foram identificadas e extraídas dos artigos durante sua análise. Assim, foi possível ressaltar convergências e divergências entre as diferentes abordagens identificadas.

Quadro 2 - Protocolo de extração de dados.

<b>Parâmetros</b>	<b>Categorias</b>	<b>Descrição</b>
Conceitos abordados	Capacidade adaptativa, Adaptação, Gestão adaptativa, Governança adaptativa, Vulnerabilidade, Resiliência, Risco, outros.	Identificar e compreender outras abordagens teóricas que se relacionam ao estudo da capacidade adaptativa à seca.
Tipo de estudo	Revisão, estudos de caso, modelagens.	Identificar se as abordagens são mais teóricas ou práticas, conforme indicação metodológica nos estudos.
Níveis/escalas de estudo	Sistemas (sem caracterização, socioecológicos, outros), comunitário, institucional, individual, outros.	Apreender os níveis e as escalas mais empregados nos estudos para compreensão da capacidade adaptativa.
Região geográfica dos estudos de caso	Ásia, África, Europa, Oceania, América do Norte, América Central, América do Sul.	Caracterizar a distribuição geográfica dos estudos analisados.
Tipo de clima	Árido, Semiárido, Tropical, Temperado, Frio e Polar	Identificar os tipos climáticos onde a ocorrência de secas tem sido abordada em estudos científicos de capacidade adaptativa.
Usos da água	Urbano, Rural (abastecimento humano e agropecuária), Usos múltiplos.	Indicar os usos da água de maior interesse nas pesquisas.
Tipos de estratégia adaptativa	Adaptação, enfrentamento, proativas, reativas, curto e longo prazos, adaptação negativa, outras.	Identificar os tipos de estratégias adaptativas citados, quando houver.
Componentes da Capacidade adaptativa (CA)	Humanos, sociais, econômicos, políticos, institucionais e gestão, ambientais, e físicos	Identificar os componentes da CA.

Fonte: A autora, 2025.

A qualificação dos estudos de acordo com as categorias de conceitos abordados ocorreu durante o processo de construção, que foi sendo moldado à medida que as leituras avançavam e alguns conceitos emergiam ou ficavam mais evidentes do que outros. Categorias iniciais foram criadas e, durante o processo, algumas foram agrupadas, enquanto outras foram desmembradas. A própria comparação entre os artigos colaborou para essas alterações, bem como para mudanças de categoria de um artigo ao longo das análises.

Buscou-se atribuir a cada artigo somente mais um tema além da capacidade adaptativa, com o objetivo de simplificar as análises qualitativas de interações entre os temas. Assim, cada artigo foi enquadrado em apenas uma abordagem.

O protocolo e as planilhas de extração de dados foram elaborados de modo a possibilitar a interpretação das informações extraídas dos estudos e a identificação das abordagens de forma organizada, estruturada e sistemática. Além disso,

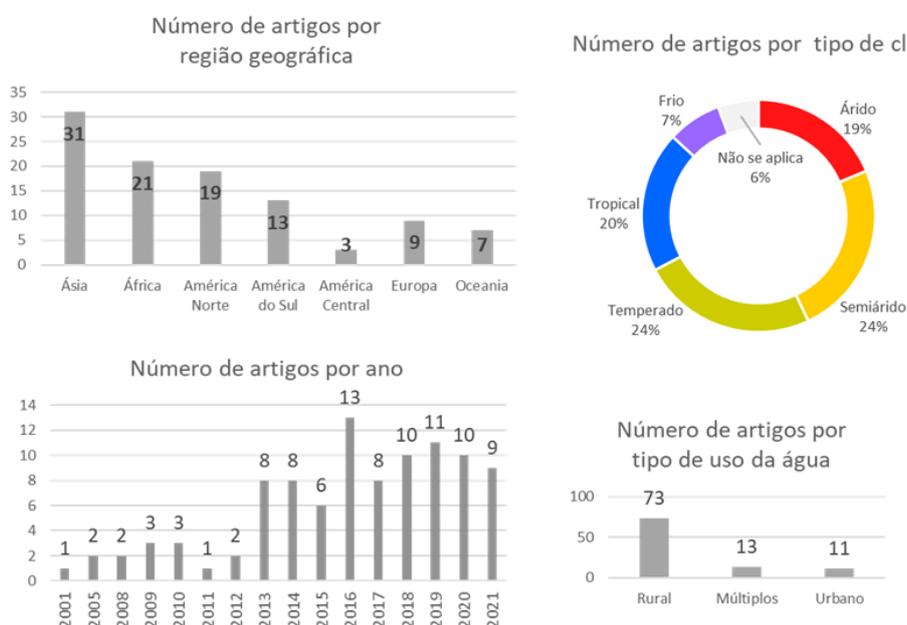
fornececeram descrições resumidas para facilitar o rastreamento dos artigos analisados posteriormente.

### 2.1.3 As oito abordagens da capacidade adaptativa às secas

Os resultados apresentados aqui referem-se aos 97 estudos selecionados nesta revisão sistemática, após a aplicação do protocolo de pesquisa nas etapas descritas no item 2.1.2.

A distribuição geográfica, temporal, por tipo de uso da água e por tipo de clima dos artigos é mostrada na (Figura 6). O artigo mais antigo, entre os selecionados, é de 2001; observa-se um crescimento consistente do número de artigos a partir de 2013. Os resultados apontam para uma maior preocupação com a seca no meio rural, abrangendo 75% dos artigos estudados.

Figura 6 - Distribuição dos artigos sobre capacidade adaptativa e secas por região geográfica, tipo de clima, temporal e tipo de uso da água.

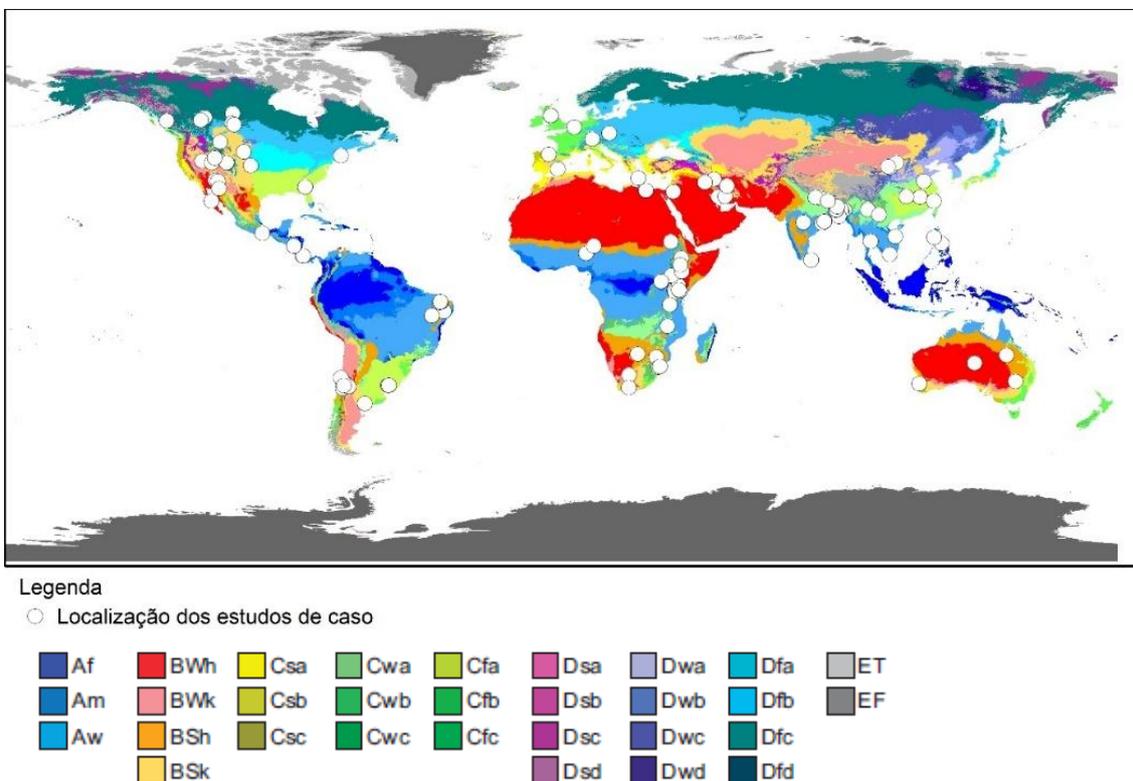


Fonte: A autora, 2025

Os artigos analisados partem de pesquisas com base em estudos de caso, mesmo aqueles que apresentam modelagens ( $n = 2$ ) e revisões ( $n = 2$ ). Assim, foi possível identificar o tipo climático para quase todos os artigos estudados, exceto para aqueles que se referiam a totalidade do território de um ou mais países, sem especificar localidades (Figura 7). A diversidade de tipos climáticos encontrados nos estudos indica que a seca tem causado impactos prejudiciais mesmo em climas mais

úmidos, tropicais ou temperados, e não somente em climas áridos e semiáridos, tradicionalmente mais associados a crises hídricas que têm a seca como elemento central.

Figura 7 - Distribuição dos artigos sobre capacidade adaptativa e secas por tipos de clima



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: Dados da classificação climática de Koppen (Beck et al., 2018). Os estudos de caso foram distribuídos pelo tipo climático, segundo o sistema de classificação climática de Koppen. Os principais tipos climáticos são: (A) tropical, (BW) árido e (BS) semiárido, (C) temperado, (D) frio e (E) polar. Os subgrupos são divididos de acordo com as temperaturas médias anuais e mensais, precipitação total e sazonalidade da precipitação. (f) chuvas o ano todo. (m) chuvas o ano todo (com uma estação seca). (s) chuvas de inverno. (w) chuvas de verão; (h) sempre quente. (a) verão quente e inverno brando. (b): verão brando e inverno rigoroso.

Quase a totalidade dos estudos ( $n = 94$ ) cita as mudanças climáticas para justificar a importância de suas pesquisas na área de adaptação e capacidade adaptativa às secas, consideradas mais severas e frequentes nesse contexto.

Além de analisar os conceitos de capacidade adaptativa nos artigos, o objetivo desta etapa da pesquisa é compreender que outras categorias são empregadas nos estudos. Nesse sentido, os resultados da revisão apontaram oito diferentes abordagens para a capacidade adaptativa às secas, sendo estas: i) Capacidade adaptativa como conceito norteador; ii) Adaptação como realização da capacidade

adaptativa; iii) Métodos para avaliar a capacidade adaptativa; iv) Estratégias para construção da capacidade adaptativa; v) Capacidade adaptativa como componente da vulnerabilidade; vi) Influências da percepção do risco de seca para capacidade adaptativa; vii) Capacidade adaptativa para resiliência dos sistemas socioecológicos; e viii) Capacidade adaptativa para gestão das águas (Quadro 3).

Cabe observar que diversos artigos apresentam entendimentos semelhantes sobre capacidade adaptativa, partindo da conceituação apresentada nos relatórios do IPCC, ou seja, a capacidade de sistemas de se adaptarem aos efeitos das mudanças climáticas atuais e futuros. Ainda, os componentes da capacidade adaptativa são variados e alguns se repetem com maior frequência, embora haja diferenças quanto à sua importância entre os artigos.

As diferenças de abordagem em relação ao nível ou escala, bem como a associação com outros conceitos, são numerosas, evidenciando que uma ampla gama de categorias de análise pode ser elencada para tratar da capacidade adaptativa. O Quadro 3 apresenta alguns exemplos dos conceitos de capacidade adaptativa. Em seguida, aprofunda-se a discussão sobre as oito diferentes abordagens para capacidade adaptativa às secas.

Quadro 3 - Capacidade adaptativa & conceitos associados (continua).

<b>Abordagem da capacidade adaptativa e número de artigos associados</b>	<b>Exemplos de conceitos empregados</b>	<b>Autores</b>
<p><b>i. Capacidade adaptativa como o principal conceito norteador</b> (n=10)</p> <p>Analisa a capacidade adaptativa em geral; Aborda como as estratégias adaptativas interferem na capacidade adaptativa, atual e futura, ou como influenciaram adaptação em secas anteriores.</p>	<p>A capacidade adaptativa de um sistema para se preparar ou se ajustar e responder às tensões e seus efeitos emerge de interações complexas entre esses processos em várias escalas e níveis (Smit &amp; Wandel, 2006; Burchfield &amp; Gilligan, 2016).</p> <p>O processo de adaptação à seca consiste na construção e manutenção de meios de subsistência em um ambiente incerto (Mortimore, 2010)</p>	<p>Sorrensen, 2005; Eriksen e Lind, 2009; Mortimore, 2010; Sherren et al., 2012; Zhang et al., 2013; Alary et al., 2014; Burchfield and Gilligan, 2016; Adamson et al., 2017; Bailey et al., 2019; e Villamayor-Tomas et al., 2020.</p>
<p><b>ii. Adaptação como realização da capacidade adaptativa</b> (n= 8)</p> <p>Analisa o conceito de adaptação e o diferencia da</p>	<p>A adaptação é entendida como um processo de mudança deliberada em resposta aos efeitos das mudanças climáticas. Diferenciando-se da capacidade adaptativa - construída sob a perspectiva da resiliência - que tem</p>	<p>Hill e Polsky, 2005; Prabhakar e Shaw, 2008; Stringer et al., 2009; Wreford e Adger, 2010; Kiem, 2013; Nanfuka et al., 2020; Ferencuhova, 2021; e Manalo et al., 2021.</p>

<p>capacidade adaptativa, que inclui noções de antecipação e incertezas.</p>	<p>uma aplicação mais ampla, incluindo tanto mudanças deliberadas em resposta, quanto em antecipação às mudanças ambientais (Stringer et al., 2009).</p>	
<p><b>iii. Métodos para avaliar a capacidade adaptativa</b> (n=6)</p> <p>Utiliza métricas ou parâmetros para avaliar a capacidade adaptativa atual e futura, a partir de eventos recentes e cenários futuros.</p>	<p>Por corresponder à preparação antecipada ou ajuste e resposta dos sistemas aos efeitos causados por tensões, a capacidade adaptativa constitui-se como uma propriedade crítica dos sistemas para lidar com incertezas. É possível avaliar a capacidade adaptativa analisando os preparativos e respostas aos eventos extremos recentes (Engle, 2012).</p>	<p>Engle, 2012; Engle, 2013; Habiba et al., 2014; Mancal et al., 2016; Dilling et al., 2019; e Matewos, 2019.</p>
<p><b>iv. Estratégias para construção da capacidade adaptativa</b> (n=22)</p> <p>Concentram-se em analisar as estratégias adaptativas ou seu potencial de realização de CA.</p>	<p>A adaptação é um processo que se materializa através da implementação de instrumentos e medidas de política de adaptação, formais e informais, focados na redução da vulnerabilidade e no aumento da resiliência às mudanças climáticas (UNFCCC, 2010 <i>apud</i> Aldunce, 2022).</p>	<p>Goldman e Riosmena, 2013; Alauddin e Sarker, 2014; Opiyo et al., 2015; Yang et al., 2015; Jin et al., 2016; Lei et al., 2016; Worku, 2017; Warner et al., 2018; Adhikari, 2018; Wang et al., 2018; Pak-Uthai e Faysse, 2018; Mwangi, 2019; Islam et al., 2019; Al-Amin et al., 2019; Basel et al. et al., 2020; Shabanali et al., 2020; Savari e Amghani, 2020; Salmoral et al., 2020; Aldunce et al., 2021; Anik et al., 2022; Zobeidia et al., 2021; Holman et al., 2021;</p>
<p><b>v. Capacidade adaptativa como componente da vulnerabilidade</b> (n=25)</p> <p>Analisa a vulnerabilidade, tendo a CA como uma de suas componentes; não necessariamente inclui sensibilidade e exposição; Relaciona diretamente CA e vulnerabilidade; atributos socioeconômicos são empregados para medir a vulnerabilidade.</p>	<p>Capacidade adaptativa é empregada como um conceito interligado à resiliência e à vulnerabilidade, e significa a capacidade de o indivíduo lidar com a seca (Austin et al., 2020).</p> <p>A capacidade adaptativa é o que permite aos sistemas lidar com ameaças como a variabilidade climática, e é dependente de dois fatores: atributos socioinstitucionais do sistema, que influenciam como as pessoas podem agir coletivamente para se adaptar e; o desenvolvimento de estratégias para lidar com mudanças futuras ao identificar a vulnerabilidade do sistema em experiências anteriores (Welsh et al., 2013).</p>	<p>Ghimire et al., 2010; Wittrock et al., 2011; Welsh et al., 2013; Liu Xiaoqian et al., 2013; Yila and Resurreccion, 2014; Alary et al., 2014; Madrigal-Ballesteros e Naranjo, 2015; McNeeley et al., 2016; Lemos et al., 2016; Etemadi and Karami, 2016; Gil-Guirado et al., 2016; Epule et al., 2017; Segnestam, 2017; Williges et al., 2017; Mohammed et al., 2018; Haeffner et al., 2018; Herwehe and Scott, 2018; Mainali and Pricope, 2019; Sam et al., 2019; Al Adailleh et al., 2019; Austin et al., 2020; Salam et al., 2021; e Dung et al., 2021.</p>

<p><b>vi) Influências da percepção do risco de seca para capacidade adaptativa</b> (n=11)</p> <p>Analisam como a percepção do risco de seca e das mudanças climáticas podem influenciar o comportamento dos usuários; e/ou como as repostas destes estudos podem contribuir para a formação de estratégias adaptativas institucionais mais efetivas.</p>	<p>A mobilização de recursos de capacidade adaptativa para realização da adaptação com a implementação de ações para reduzir o risco de seca depende do reconhecimento e percepção do risco de seca por parte dos indivíduos potencialmente afetados (Samet et al., 2020; Yung et al., 2015; Abedin et al., 2014).</p>	<p>Abedin et al., 2014; Yung et al., 2015; van Duinen et al., 2015</p> <p>Mwangi, 2016; Carlton et al., 2016; Panda, 2016; Hou, 2017; Wens et al., 2020; Mesquita et al., 2020; Sam et al., 2020; e Fanadzo et al., 2021.</p>
<p><b>vii. Capacidade adaptativa para resiliência dos sistemas socioecológicos</b> (n=5)</p> <p>A resiliência engloba a capacidade adaptativa. Pode englobar também a vulnerabilidade.</p>	<p>A capacidade adaptativa é a capacidade dos atores de influenciar a resiliência em um sistema. A resiliência permite ao sistema absorver perturbações e se reorganizar ao mesmo tempo em que a mudança ocorre, e ainda assim, manter sua identidade por meio de sua função, estrutura e feedbacks (Sapountzaki &amp; Daskalakis, 2018).</p>	<p>Birhanu et al., 2017; Maltou e Bahta, 2019; Aldunce et al., 2016; Sapountzaki e Daskalakis, 2018; e Head, 2014.</p>
<p><b>viii. Capacidade adaptativa para gestão das águas</b> (n=10)</p> <p>Inclui as formas de gestão dos recursos hídricos baseadas na perspectiva da capacidade adaptativa, a exemplo da gestão adaptativa, gestão proativa, gestão do risco; avança para a governança adaptativa.</p>	<p>A capacidade adaptativa é entendida como uma das características da gestão (Endter-Wada et al., 2009), da governança (Hurlbert &amp; Gupta, 2016), e da gestão do risco (Sun et al., 2014), quando estes estão aptos a lidar com risco e incerteza.</p>	<p>Endter-Wada et al., 2009; Sun, et al., 2013; Hill et al., 2014; Hurlbert e Montana, 2015; Hurlbert e Gupta, 2016; Hurlbert, e Gupta, 2017; Cruz et al., 2018; Du et al., 2018; e Hurlbert e Gupta, 2019.</p>

Fonte: A autora, 2025.

### *Capacidade adaptativa como o principal conceito norteador*

Incluiu-se nesta abordagem apenas aqueles estudos que têm a capacidade adaptativa como fio condutor de todo o trabalho, sendo apenas 10, de um total de 97 estudos. Em geral, as questões e os objetivos desses estudos referem-se: (i) às interações entre os eventos e as ações para adaptação em diferentes escalas espaciais e temporais, como em Burchfield & Gilligan (2016); (ii) às incertezas e ao entendimento do objeto de estudo como um sistema complexo, como destacam

Mortimore (2010) e Burchfield & Gilligan (2016); (iii) à capacidade de aprender, apontada por Alary et al. (2014).

Os estudos se preocupam com as interações entre os níveis da capacidade adaptativa, destacando-se os níveis locais e suas inter-relações com os níveis nacional e regional, onde as componentes políticas e econômicas ganham relevância. Eriksen & Lind (2009) entendem a capacidade adaptativa local como um processo político que depende da capacidade de promover interesses nos processos de tomada de decisão (político e econômico em escala regional e nacional), em relação ao acesso aos capitais necessários e às opções de ajuste em contextos variados. A camada institucional é acrescentada às discussões nas inter-relações do local com diversos níveis de governo (por exemplo, Sorrensen, 2005).

O nível exclusivamente individual da capacidade adaptativa aparece apenas em Sherren et al. (2012). Nesse caso, a capacidade adaptativa depende das componentes humanas e sociais que interferem na percepção de seca pelo indivíduo, mas também depende da dimensão financeira para colocar em prática sua ação adaptativa.

A capacidade adaptativa com foco individual pode limitar as opções de formas de lidar com a seca ao contexto local e perder de vista as interações com questões mais amplas, proporcionadas pela aprendizagem social e interações com diferentes níveis (Phuong et al., 2017), como os efeitos das mudanças climáticas e das escolhas políticas e econômicas do modelo de desenvolvimento adotados por um país. E, com isso, levar à adaptação negativa com efeitos nocivos em outras escalas espaciais e temporais, minando assim a sustentabilidade no próprio nível local. Por outro lado, esses estudos podem contribuir para encontrar mecanismos de incentivo à adoção de estratégias adaptativas por parte de indivíduos (Sherren et al., 2012).

Considerando as discussões sobre a escala da capacidade adaptativa que foquem no contexto local inter-relacionado com outros níveis, incluindo o nacional, a distinção entre capacidades específicas e genéricas contribui para o avanço na distribuição de responsabilidades em níveis institucionais e governamentais distintos na implementação de ações de adaptação. As capacidades genéricas, relacionadas às questões sociais, econômicas e políticas, têm sido mais relevantes em contextos de países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como o Brasil (Di Giulio et al., 2016; Phuong et al., 2017; Epule et al., 2017; Villamayor-Thomas et al., 2020).

### *Adaptação como realização da capacidade adaptativa*

Em oito artigos incluídos neste grupo, encontramos uma definição de ‘adaptação’ que se confunde com ‘capacidade adaptativa’ (ou ‘adaptabilidade’) ao longo do texto. Estes conceitos embora relacionados, são distintos. A adaptação refere-se diretamente às ações implementadas em resposta aos efeitos das mudanças climáticas (IPCC, 2012). Enquanto a capacidade adaptativa é a habilidade de um sistema socioecológico de mobilizar recursos para se preparar e responder aos eventos climáticos extremos atuais ou futuros (Lemos et al., 2013).

Stringer et al. (2009) argumentam que a adaptação está mais relacionada ao presente, com ações tomadas quando o sistema é exposto ao evento extremo, como uma realização da capacidade adaptativa. A capacidade adaptativa, por sua vez, incorpora noções de antecipação e incertezas (Stringer et al., 2009). Além disso, a capacidade adaptativa está sempre em construção por meio da aprendizagem social e da experiência com eventos anteriores.

### *Métodos para avaliar a capacidade adaptativa*

Seis artigos têm como objetivo principal avaliar a capacidade adaptativa. Esta abordagem difere da primeira, capacidade adaptativa como conceito norteador, por utilizar métricas quantitativas ou qualificar elementos e fatores que determinam a capacidade adaptativa. Alguns apontam como dificuldades na avaliação da capacidade adaptativa sua estreita relação com o contexto local e dinâmico e, também, a necessidade de ocorrência de um evento extremo para observação (por exemplo, Engle, 2011).

Em geral, os estudos de caso partem de um evento crítico de seca recente e avaliam se as estratégias de adaptação utilizadas foram (ou não) suficientes para o enfrentamento da seca, tentando assim capturar a memória recente dos usuários afetados e dos gestores envolvidos quanto aos impactos da seca e às estratégias de adaptação. Outra abordagem, às vezes utilizada de forma complementar, consiste em modelar o sistema a partir de análises de risco de seca ou da vulnerabilidade; nestes casos, os artigos foram associados aos grupos “capacidade adaptativa como conceito

norteador e influências da percepção do risco de seca para capacidade adaptativa” e “capacidade adaptativa como componente da vulnerabilidade”.

Os estudos diferem bastante quanto às metodologias, e muitos utilizam, de modo combinado, métodos qualitativos e quantitativos. Inicialmente, são definidas as dimensões/componentes da capacidade adaptativa que serão avaliadas, e, para esta etapa, a maioria dos autores utiliza métodos qualitativos, como revisões bibliográficas, análise de documentos institucionais e observações prévias em campo. São exemplos de *frameworks* aplicados para avaliação da capacidade adaptativa: a roda da capacidade adaptativa (Gupta et al., 2010), capacidade adaptativa local (Jones et al., 2019)

Nos artigos incluídos nesta abordagem, foram encontrados quadros teóricos de análise já estabelecidos para identificar as dimensões de avaliação da capacidade adaptativa, tais como: a Abordagem Única Socioeconômica, Institucional e Física, apresentada por Habiba et al. (2014); a Estrutura de Capacidade Adaptativa Local, proposta por Matewos (2019); e, por fim, o Método Delphi, com as avaliações de especialistas, a exemplo de Mancal et al. (2016). Cabe destacar que todas são análises multidimensionais, no entanto, pouco abrangentes quanto ao universo de atores analisados (usuários ou organizações locais em nível de bacia hidrográfica, ou as instituições de governança de altos níveis.

Pelo exposto, é possível afirmar que não existe uma abordagem única para avaliação da capacidade adaptativa a partir de elementos e fatores já bem estabelecidos na literatura. A revisão mostrou que fatores sociais, humanos, econômicos, ambientais e políticos são os mais utilizados, embora com emprego de uma diversidade de indicadores e variáveis; essa escolha parece estar mais associada às informações disponíveis sobre o contexto local do que à utilização de indicações encontradas em fontes bibliográficas.

### *Estratégias para construção da capacidade adaptativa*

Os artigos que relacionam capacidade adaptativa e estratégias adaptativas entendem que a concepção e a adoção de estratégias adaptativas contribuem para o enfrentamento da seca e para a construção da capacidade adaptativa para eventos futuros, ao mesmo tempo em que reduzem a vulnerabilidade.

Burchfield & Gilligan (2016) defendem que as medidas de adaptação devem ser correspondentes ao tipo de seca (hidrológica, agrícola e socioeconômica) e devem considerar aspectos institucionais, como as interações complexas entre as múltiplas escalas ou níveis do processo de adaptação. Os autores defendem, ainda, que fatores estruturais (capacidade da infraestrutura física e condições ambientais) e dinâmicos (abastecimento de água, percepção do risco, coesão comunitária e experiência de agricultores) são determinantes para variações na capacidade adaptativa de sistemas agrícolas.

Goldman & Riosmena (2013) associam o sucesso das estratégias adaptativas às instituições formais e informais, ativos e direitos, em lógicas e/ou escalas de ação múltiplas (individual, familiar e comunitária), todas em nível local.

As formas de resposta à seca podem ser classificadas de acordo com as inter-relações entre escalas espaciais e institucionais de ação e abrangência e também em relação ao momento do evento. Assim, alguns estudos diferenciam dois grupos (Holman et al., 2021; Opiyo et al., 2015; Salmoral et al., 2020; YANG et al., 2015): estratégias adaptativas e medidas de enfrentamento. As estratégias adaptativas, também chamadas de macroestratégias de adaptação, correspondem às ações definidas com antecedência, que podem ser executadas antes de um evento ocorrer para aumentar a capacidade adaptativa, ou serem ativadas somente no momento especificado, com efeitos tanto imediatos quanto no longo prazo, de acordo com uma lógica mais proativa. Em contraposição, as medidas de enfrentamento possuem caráter emergencial e reativo, visando efeitos imediatos em resposta a um evento já em curso.

Dilling et al. (2019) e Goldman e Riosmena (2013) acrescentam ainda as adaptações negativas (*maladaptation*), que são caracterizadas por resultados não sustentáveis ao serem observadas a longo prazo ou em diferentes pontos a montante e jusante de uma bacia hidrográfica, por exemplo. Para os autores, medidas de enfrentamento devem considerar seus resultados a longo prazo e em outras áreas ou subsistemas inter-relacionadas para não correrem o risco de se tornarem uma adaptação negativa ou que a mudança do sistema o coloque em um estado não desejável.

Nesta discussão de classificação de formas de resposta à seca, Anik et al. (2021) alertam para a falta de consenso na classificação entre o que é considerado

estratégia adaptativa e medida de enfrentamento na literatura. Enquanto, Opiyo et al. (2015) destacam a necessidade de compor medidas de enfrentamento e estratégias de adaptação de forma complementar em planos para enfrentamento das secas. Além disso, essa composição contribui para o sistema estar mais bem preparado para o risco residual, aquele que não pode ser previsto antes do evento de seca ocorrer.

### *Capacidade adaptativa como componente da vulnerabilidade*

A pesquisa bibliográfica oportunizou encontrar muitos artigos que abordam a capacidade adaptativa como sendo parte da vulnerabilidade, sendo capaz de moderá-la (n= 25). Isso se deve justamente ao fato de a capacidade adaptativa ser passível de construção social, podendo assim ser alterada no sentido de reduzir a vulnerabilidade frente às incertezas e complexidades dos eventos extremos de seca. Pois a exposição e a sensibilidade – frequentemente apontadas como outros componentes da vulnerabilidade – são mais difíceis de alterar porque suas condicionantes envolvem elementos naturais (Epule et al., 2017).

De acordo com o IPCC (2012), vulnerabilidade refere-se à suscetibilidade dos sistemas para lidar com os efeitos adversos das mudanças climáticas, sendo uma função de exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Essa definição refere-se à vulnerabilidade biofísica, isto é, ao dano potencial causado a um sistema por um evento climático. Neste caso, a vulnerabilidade depende da frequência ou probabilidade da ocorrência de eventos extremos, da exposição das sociedades ao evento e da sensibilidade do sistema aos impactos do evento (Brooks et al., 2003). Por outro lado, a vulnerabilidade social é definida como uma propriedade de um sistema dada por características que o tornam suscetível aos danos de eventos extremos, sendo determinada por fatores sociais como pobreza, desigualdade social, falta de acesso a habitação, por exemplo. A vulnerabilidade social é entendida como parte da vulnerabilidade física (Brooks et al., 2003).

De acordo com Witrock et al. (2011), a vulnerabilidade de uma comunidade possui duas dimensões, a física e a social, pois se dá frente a um estressor ambiental ou social, em função da exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. A capacidade adaptativa de uma comunidade, por sua vez, depende de suas instituições e das especificidades do contexto social local (Witrock et al., 2011).

Ao chamar a atenção para a necessidade de informações sobre a vulnerabilidade em nível local, Ghimire et al. (2010) afirmam que, para o planejamento adaptativo local, é necessário perceber que as famílias de uma mesma localidade não possuem o mesmo nível de vulnerabilidade à seca, em função de sua capacidade adaptativa e sensibilidade, que se traduzem em medidas de enfrentamento ou estratégias adaptativas.

Herwere & Scott (2018) entendem a vulnerabilidade contextual em relação aos aspectos socioeconômicos e climáticos sobrepostos e a conectam diretamente com estratégias adaptativas em uma abordagem que reduza a vulnerabilidade socioeconômica (conectada ao desenvolvimento econômico) e melhore a capacidade adaptativa geral da população para além de questões climáticas, e especificamente da seca.

O foco na capacidade adaptativa em uma abordagem de vulnerabilidade desloca a atenção para seus aspectos socioeconômicos. Os indicadores utilizados para avaliar o grau da capacidade adaptativa frequentemente referem-se ao desenvolvimento socioeconômico através de diferentes capitais ou ativos (*assets*), e, em casos de países com fraco desempenho socioeconômico, esses capitais estão associados às componentes sociais, humanas, econômicas, físicas e naturais (Epule et al., 2017).

Neste sentido, Lemos et al. (2016) investigam a relação entre desenvolvimento e adaptação climática, focando na vulnerabilidade à seca de famílias agricultoras no Nordeste do Brasil. O estudo analisa a importância de capacidades genéricas (renda, educação, saúde) e específicas (irrigação, seguro agrícola) na redução da insegurança alimentar. Os autores ressaltam que, embora a relação entre pobreza e vulnerabilidade seja complexa, buscar as relações entre capacidades adaptativas e estratégias específicas e genéricas com a vulnerabilidade pode ser uma pista para encontrar uma combinação de estratégias de gestão de risco (específicas) e genéricas (incluindo a redução da pobreza) que pode levar à redução da vulnerabilidade. Esta combinação de capacidades e estratégias de longo prazo deve considerar estressores climáticos e não climáticos, assim como as questões de desenvolvimento local (futuro da agricultura familiar, por exemplo). Influências da percepção do risco de seca para

Capacidade adaptativa

### *Influências da percepção do risco para a capacidade adaptativa*

O risco pode ser entendido como uma construção social influenciada por fatores econômicos, sociais e políticos (Canil et al., 2020; Castro e Zuzman, 2009), isto significa que, vulnerabilidade social e ameaça natural interagem para a existência do risco. A percepção do risco envolve uma população que possa sofrer seus efeitos (Veyret, 2007). O risco de seca especificamente, refere-se a combinação da probabilidade de uma seca acontecer e o impacto que essa seca pode ter, afetando a disponibilidade de água para abastecimento humano, ecossistemas e atividades econômicas. Os artigos incluídos neste grupo, em geral, analisam como a percepção do risco de seca, das mudanças climáticas ou a preocupação com secas futuras podem influenciar a tomada de decisão ou o comportamento dos usuários; ou ainda como as respostas desses estudos podem contribuir para a formatação de estratégias adaptativas institucionais mais efetivas.

A percepção do risco de seca pode influenciar o comportamento de adaptação do indivíduo, motivando-o (Hou et al., 2017; Sam et al., 2020). Sam et al. (2020) utilizam a estrutura conceitual da vulnerabilidade em função de três componentes: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa. Neste estudo, a capacidade adaptativa é expressa pelo conjunto de estratégias adaptativas de longo e curto prazo; e a exposição é expressa pela percepção do risco de seca, analisada por quatro componentes: experiência, memória, definição de seca e expectativa. O autor argumenta que o aumento da percepção do risco de seca seguido da aplicação de estratégias adaptativas leva à adaptação e conseqüente redução da vulnerabilidade. Yung et al. (2015) acrescentam que a percepção do risco de seca pode ser mediada por ideologias políticas associadas ao ceticismo quanto às mudanças climáticas.

Existe uma tendência entre os usuários que já vivenciaram a seca e possuem uma percepção do aumento do risco de seca de estarem mais propensos a adotar estratégias adaptativas para redução dos impactos futuros (Hou et al., 2017; Mesquita et al., 2020; Yung et al., 2015). No entanto, Carlton et al. (2016) ressaltam que a experiência anterior pode levar à percepção de menor risco por um aumento na capacidade de enfrentamento, que, por sua vez, pode inibir a adoção de medidas de adaptação, ou até mesmo levar à acomodação, tornando-se uma má adaptação. Os sistemas de alerta precoce e informações sobre a evolução das secas podem

contribuir para o aumento da percepção do risco de seca entre os usuários, principalmente do setor agropecuário (setor de 10 dos 11 artigos incluídos neste grupo) (Hou et al., 2017; Panda, 2016).

### *Capacidade adaptativa e resiliência de sistemas socioecológicos*

Apesar de a resiliência ser um conceito estabelecido desde a década de 1970, a partir das publicações de Holling, sua relação com a capacidade adaptativa foi identificada nesta pesquisa apenas a partir de 2014, em cinco artigos.

A resiliência possui uma amplitude conceitual que engloba, inclusive, a capacidade adaptativa e a vulnerabilidade. Seus princípios incluem as mudanças constantes dos sistemas socioecológicos e o limite do “Sistema-Terra” para ofertar serviços ecossistêmicos. Resiliência é a capacidade de um sistema, diante dos choques de eventos extremos, de manter sua função, estrutura, identidade e feedbacks fundamentais, seja por meio da recuperação, seja pela reorganização em um novo contexto (CHAPIN et al., 2009). A capacidade adaptativa, na abordagem da resiliência, é definida como a habilidade dos atores do sistema de influenciar a própria resiliência (Sapountsaki e Daskalaki, 2018).

A resiliência e a capacidade adaptativa fornecem abordagens importantes para a gestão e a governança adaptativas de sistemas socioecológicos. Com base nos princípios da resiliência mencionados, essas abordagens focam na antecipação de mudanças e na identificação de formas-chave de gestão adaptativa para responder às alterações de forma eficaz, protegendo os principais serviços ecossistêmicos. Importante destacar que tais respostas nem sempre implicam no retorno ao estado inicial do sistema antes do choque (Chapin et al., 2009; Sapountsaki e Daskalaki, 2018).

### *Capacidade adaptativa para a gestão das águas*

Neste grupo incluem-se artigos que abordam as formas de gestão e enfrentamento das secas baseadas na perspectiva da capacidade adaptativa, como a gestão adaptativa, a gestão proativa, a gestão de risco e a governança adaptativa. Foram identificados dez artigos na pesquisa, sendo o primeiro publicado em 2009,

com destaque para a produção de Hurlbert e Gupta, responsáveis por três publicações. No tema de governança adaptativa, há sete artigos, enquanto gestão adaptativa, gestão de risco e gestão proativa aparecem com apenas um artigo cada.

Gestão adaptativa (Cruz et al., 2018), gestão de risco (Sun et al., 2013) e gestão proativa (Hill et al., 2014) utilizam referenciais teóricos semelhantes. Um deles é o ciclo hidro-ilógico, difundido por Wilhite (1993), que defende a mudança de paradigma na gestão de desastres, saindo da gestão de crises para a gestão de riscos. Outro referencial são as medidas de redução de riscos de desastres, abordadas como uma forma de diminuir a vulnerabilidade e a sensibilidade (Sun et al., 2013). Na abordagem de gestão adaptativa, Cruz et al. (2018) identificam como fatores-chave na evolução da gestão de crises para a gestão de riscos os ciclos múltiplos de aprendizagem social e a crescente integração interinstitucional entre política e academia/universidades.

Na perspectiva de governança, que define as bases para gestão das águas e instituições (Puga, 2018), a capacidade adaptativa é vista como uma de suas características centrais, pois agrega a habilidade de lidar com riscos e incertezas aos sistemas de governança (Hurlbert & Gupta, 2016). Para avançar em direção a uma governança adaptativa, é necessário compreender melhor a estrutura e a dinâmica institucional, tornando as instituições mais flexíveis por meio de uma gestão mais eficaz da informação, maior incentivo à aprendizagem, estímulo político à inovação e envolvimento das partes interessadas (Bettini et al., 2013).

Hurlbert e Gupta (2019; 2017) utilizam a Roda da Capacidade Adaptativa para analisar instituições em diferentes contextos de seca, comparando países desenvolvidos (Canadá) e em desenvolvimento (Chile e Argentina). Nessa análise, mobilizam conceitos como governança justa, equidade, aprendizagem social e legitimidade.

#### 2.1.4 Potencialidades e limitações do conceito

O conceito de capacidade adaptativa para lidar com as secas é amplamente abordado na literatura acadêmica, com uma forte convergência em torno da definição apresentada pelos relatórios do IPCC (2007). Essa definição descreve capacidade adaptativa como a habilidade de sistemas, instituições, seres humanos e outros organismos de se ajustarem a danos potenciais, aproveitarem oportunidades ou

responderem às consequências. Essa convergência é óbvia e benéfica, pois se trata de uma definição ampla que considera múltiplos atores e inclui a antecipação aos danos e a adoção de respostas imediatas. Contudo, ela não é suficiente para abordar as especificidades dos contextos sociais, políticos, econômicos e ambientais de cada local. Por isso, alguns estudos adotam definições mais específicas de capacidade adaptativa, ajustadas ao contexto analisado.

Nos estudos de caso analisados, foram identificadas diferentes abordagens metodológicas da capacidade adaptativa relacionadas aos aspectos: determinantes da capacidade adaptativa, níveis de interação desses determinantes, valorização da experiência e da aprendizagem social, e escala espacial. Adicionalmente, os determinantes utilizados para avaliar a capacidade adaptativa ou como fatores para sua construção também variaram.

Dessa forma, percebeu-se que os determinantes mais citados se referem aos fatores sociais (capital social, participação, coesão social etc.), humanos (capital humano, simbólico, percepção do risco) e econômicos (capital econômico, renda, ativos etc.), seguidos dos fatores políticos (capital político, legitimidade, liderança etc.), das estruturas físicas e dos fatores ambientais. Em menor número, os fatores institucionais e de gestão (flexibilidade, planejamento, regulação/regras) também foram mencionados. Os níveis de interação – sistemas, comunitário, institucional e individual – foram analisados isoladamente na maioria dos casos. A escolha dos níveis abordados nos estudos parece depender de dois fatores principais: o recorte territorial do objeto de estudo e os determinantes considerados. Por exemplo, estudos que investigam determinantes ambientais tendem a focar no nível de sistemas (socioecológicos), utilizando recortes como bacias hidrográficas, enquanto aqueles que analisam determinantes humanos e sociais concentram-se nos níveis individual e comunitário, com recortes espaciais menores, como sistemas de irrigação.

Não foi encontrada na literatura revisada uma abordagem precisa de capacidade adaptativa voltada exclusivamente para as secas. A interação entre ambos os temas é geralmente apresentada de maneira difusa, com maior ênfase na discussão sobre estratégias adaptativas, que são voltadas à mitigação dos impactos das secas em suas diversas tipologias. Essa abordagem pode resultar em falhas no enfrentamento das secas, uma vez que o conceito de capacidade adaptativa é frequentemente direcionado aos danos relacionados às mudanças e variabilidades

climáticas em geral, sem diferenciar adequadamente as secas de outros eventos climáticos extremos.

Embora as secas sejam mais comumente associadas a climas áridos e semiáridos, os estudos de caso revisados indicaram uma proporção quase equivalente de artigos dedicados a regiões com climas mais úmidos. Isso pode ser explicado pela frequência crescente de crises hídricas associadas às secas em áreas úmidas, tanto no Brasil quanto em outras partes do mundo. No Brasil, a seca que afetou a região Sudeste entre 2014 e 2016 é um exemplo (Nobre et al., 2016; Deusdará-Leal et al., 2020).

O levantamento dos termos que são empregados no campo de estudos da capacidade adaptativa às secas, e como eles moldam as abordagens metodológicas dos artigos revisados, foi essencial para criar e compor a estrutura desta pesquisa. Os resultados mostram que a capacidade adaptativa em contextos de seca pode ser agrupada em oito abordagens: i) Capacidade adaptativa como conceito norteador; ii) Adaptação como realização da capacidade adaptativa; iii) Métodos para avaliação da capacidade adaptativa-; iv) Estratégias para construção da capacidade adaptativa; v) Capacidade adaptativa como componente da vulnerabilidade; vi) Influências da percepção do risco de seca para capacidade adaptativa; vii) Capacidade adaptativa para resiliência dos sistemas socioecológicos; e viii) Capacidade adaptativa para gestão das águas.

Não foi objetivo desta pesquisa eleger nenhuma das abordagens como mais adequada para tratar da capacidade adaptativa às secas, mas sim entender como esse conhecimento está sendo empregado na literatura acadêmica e pode auxiliar na construção de um quadro analítico e na sua aplicação ao estudo de caso da tese. Desse modo, destacamos convergências e heterogeneidade entre as abordagens.

Na abordagem (i) Capacidade adaptativa como conceito norteador, os autores destacam os principais temas discutidos nesta área de estudo: níveis de interação, complexidade dos sistemas e incertezas quanto ao seu funcionamento e modelos, aprendizagem social. E mostram preocupação e hesitação com análises centradas nos aspectos local e individual que desconsidere as interações com outros níveis, onde a capacidade adaptativa pode operar, e consequentemente com efeitos de adaptações negativas em outros níveis, ou a longo prazo.

Já na abordagem (ii) Adaptação como realização da capacidade adaptativa, os estudos focam no momento em que o evento de seca ocorre, quando é possível verificar a capacidade adaptativa se realizando por meio das respostas e estratégias adaptativas. Apesar de aparecer em muitos trabalhos os termos adaptação e capacidade adaptativa com o mesmo significado.

A abordagem (iii) Métodos para avaliar a capacidade adaptativa analisa se um sistema reúne os determinantes da capacidade adaptativa, agrupados em fatores sociais, humanos, econômicos, ambientais e políticos, institucionais e de gestão, caracterizando o estado em que eles se encontram. Contudo, a descrição e as variáveis utilizadas para medir estes fatores não são compartilhadas em uma abordagem única, que considere conceitos comuns entre elas para avaliação da capacidade adaptativa. Mostrando grande diversidade quanto aos determinantes da capacidade adaptativa na literatura, sendo eles, aparentemente, associados ao contexto local e dinâmico.

Estratégias para construção da capacidade adaptativa (abordagem iv) podem contribuir para que o sistema lide melhor com eventos futuros. Por ser uma abordagem mais prática com efeitos diretos na redução de impactos, colabora também para melhorar a compreensão de gestores e usuários de águas para aplicação do conceito de capacidade adaptativa, tornando-o mais operacional. Nestes artigos a preocupação em caracterizar as secas é um fator relevante, pois as estratégias adaptativas são desenvolvidas para um determinado impacto, que no caso das secas diferem-se dependendo do tipo de seca e de sua duração, principalmente. A classificação das estratégias adaptativas em medidas de enfrentamento e estratégias adaptativas tem bastante ênfase nos artigos, que algumas vezes incluem também as adaptações negativas. Aprofundar esta discussão buscando capturar o que acontece na prática da gestão e da alocação das águas em tempos de seca é uma lacuna das pesquisas, explorada de forma restrita à três sistemas de abastecimento urbano de água no Estados Unidos por Dilling et al. (2023).

O entendimento da capacidade adaptativa como componente da vulnerabilidade (abordagem v), capaz de moderar a sensibilidade e a exposição, reuniu o maior número de trabalhos revisados. O foco na capacidade adaptativa em uma abordagem de vulnerabilidade ocorre nos aspectos socioeconômicos da vulnerabilidade.

Tenta-se estabelecer uma correlação, na qual a capacidade adaptativa depende da percepção do risco de seca (abordagem vi) entre os usuários e gestores da água. Esta correlação não se verifica em todos os trabalhos que a testam.

Sistemas resilientes possuem capacidade adaptativa (abordagem vii), que consiste na capacidade de os atores do sistema influenciarem a resiliência a partir do foco na antecipação e na flexibilidade para responder aos eventos de seca, com o objetivo de manter os serviços ecossistêmicos. No entanto, a aplicabilidade do conceito de resiliência na gestão das águas é restrita em virtude da dificuldade de sua operacionalização. O que não impede que o avanço em sua compreensão traga abordagens para aplicação na governança e gestão adaptativas.

A capacidade adaptativa aparece como uma das características da gestão adaptativa e da governança adaptativa (abordagem viii), pois acrescenta a habilidade de lidar com riscos e incertezas, provenientes das características da flexibilidade e da aprendizagem social, que sistemas adaptativos possuem.

A principal convergência entre as oito abordagens é reconhecer a aprendizagem social como fator importante para a construção da capacidade adaptativa e aumento da resiliência sob incertezas quanto ao funcionamento dos sistemas e aos riscos dos eventos extremos de seca. A falta de convergência mais constante está em estabelecer e classificar fatores, variáveis e/ou indicadores determinantes da capacidade adaptativa. Ao mesmo tempo, verificou-se que as pesquisas se aprofundam pouco nas características e causas dos eventos de seca que estão tratando em seu estudo de caso.

Frente ao exposto, entendemos que o conceito de capacidade adaptativa – em um estudo dedicado às secas – deve:

- ser abordado tão específico quanto possível a caracterização da seca e de seus impactos, bem como do contexto social e econômico;
- considerar as inter-relações com níveis mais amplos de gestão e governança que permitam dar agilidade e flexibilidade na definição de estratégias adaptativas.

O *framework* dos sistemas socioecológicos de Ostrom (2009) (apresentado no item 2.2.2, p.60) pode ajudar a enfrentar essas questões metodológicas porque reúne variáveis naturais e sociais buscando os resultados de suas interações.

Quanto às inter-relações, Phuong et al. (2017) e Gupta et al. (2010) argumentam que a aprendizagem social favorece a interação entre níveis de sistemas de gestão e governança. Aprendizagem social refere-se a um processo de aprendizagem coletivo entre as partes interessadas na gestão e inter-relação entre meio ambiente e sociedade; esse aprendizado é compartilhado e se reflete em *feedbacks* e ciclos duplos ou triplos conforme a vivência, e pode ser facilitado por regras e instituições que o valorizem, levando-o aos níveis mais elevados de tomada de decisão (Phuong et al, 2017; Pahl-Wostl, 2009).

Adicionalmente à esta abordagem de capacidade adaptativa específica à seca e ao contexto, em países em desenvolvimento, como o Brasil, onde as vulnerabilidades sociais são de ordens múltiplas, as capacidades direcionadas à redução da vulnerabilidade à ameaça de seca (capacidades específicas) precisam vir acompanhadas das capacidades genéricas, que reduzam as profundas desigualdades regionais e sociais, comuns neste contexto (Lemos, 2016; Di Giulio et al., 2016).

Se aproximando mais dos sistemas de gestão de água, Engle (2013) elenca princípios comuns das abordagens de gestão de águas em curso no Brasil e no mundo, como a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) e a Gestão Adaptativa, que podem moldar positivamente a preparação para as secas enquanto estratégias adaptativas e mobilização da capacidade adaptativa para as secas. Esses princípios são: flexibilidade, participação e deliberação entre as partes interessadas, integração dentro e entre vários níveis de redes institucionais e atores, gestão de demanda (em consideração igual ou maior que a gestão de oferta de água) e experimentação e aprendizado. (Engle, 2013).

A preocupação com a capacidade adaptativa à seca em regiões úmidas – como gatilho para crises hídricas – a exemplo do que ocorre no sudeste do Brasil, pode se dar numa abordagem de sistema socioecológico delimitado por bacia hidrográfica e sistemas hídricos. O contexto a ser verificado neste caso é de disponibilidade hídrica quantitativa satisfatória em tempos de normalidade hidrológica, mas que tem sido cada vez mais pressionado por estressores tais como: aumento do consumo, degradação ambiental (em particular das águas), variabilidades e mudanças climáticas, eventos extremos de secas mais recorrentes e severos em um ambiente de incerteza.

As interações entre os usos que a sociedade faz da água, as funções ecológicas e na dinâmica ambiental das águas e os fatores estressores devem ser observados na construção da capacidade adaptativa, o que pode tornar a elaboração e implementação de estratégias adaptativas mais assertivas. As estratégias adaptativas e planejamento proativo para secas a longo prazo podem contribuir para a construção da capacidade adaptativa e consequente aumento da segurança hídrica.

## **2.2 Capacidade adaptativa e conceitos relacionados que norteiam a tese**

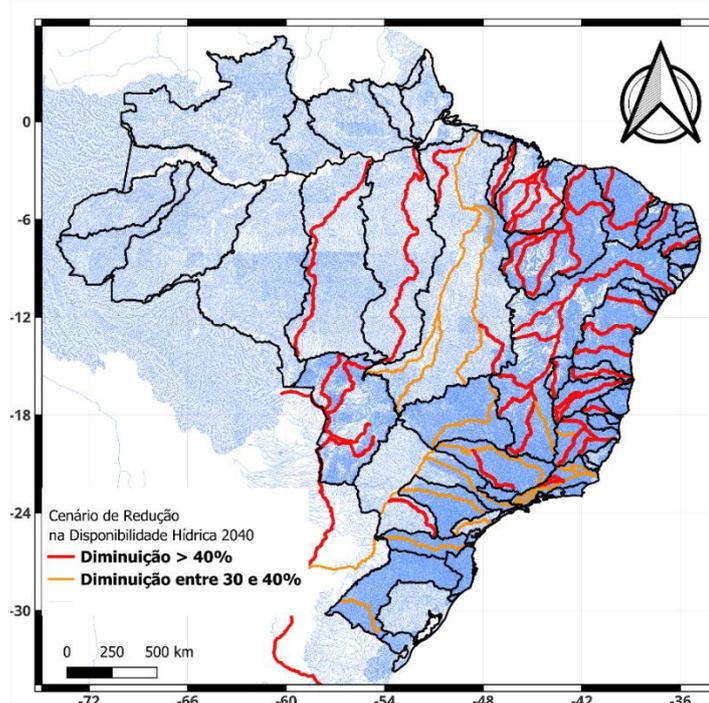
### **2.2.1 Seca e escassez hídrica em regiões de clima úmido**

Secas e escassez hídrica configuram um problema global em maior ou menor grau, diversas regiões no mundo precisam lidar com a falta de água para suprir as necessidades básicas da população, as atividades econômicas e ecossistêmicas. Secas referem-se a um período com baixos índices de pluviosidade em relação à média local. Enquanto a escassez de água refere-se a uma relação oferta e demanda desbalanceada devido a influências antrópicas. O desenvolvimento de capacidades para enfrentar o risco de seca deve contemplar tanto a resposta a episódios de escassez hídrica temporária (*water shortage*), como os ocorridos em 2001-2003 e 2014-2015 na Bacia do Rio Paraíba do Sul, quanto a mitigação do risco de escassez hídrica crônica (*water scarcity*) em médio e longo prazos, resultante da combinação de estressores climáticos e antropogênicos.

Entre os fatores que pressionam a oferta de água estão: o aumento da demanda pelo crescimento populacional e mudanças de consumo dos diferentes setores usuários. As projeções do IPCC (2022) para as mudanças do clima, embora incertas, convergem para aumento das temperaturas médias e da evapotranspiração o que interfere diretamente no ciclo hidrológico e no padrão e variabilidade das chuvas e consequentemente na vazão hídrica; além disso o aumento populacional bem como mudanças no padrão de consumo alavancadas justamente pelos impactos dos efeitos das mudanças do clima colaboram para aumento da pressão sobre os recursos hídricos (ANA, 2024a).

No Brasil, de acordo com o estudo do impacto e mudanças do clima nos recursos hídrico no Brasil, publicado pela ANA (2024a), até 2040, a disponibilidade hídrica pode diminuir em até 40% nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do país (Figura 8), no caso desta última, apesar de os resultados dos diferentes modelos apresentarem divergências, predomina na faixa litorânea, tendência de redução das vazões.

Figura 8 - Mapa sobre cenário de redução na disponibilidade hídrica até 2040



Fonte: ANA, 2024a.

A definição geral de seca refere-se a um período prolongado de disponibilidade de água abaixo do normal. É um fenômeno recorrente e que afeta várias partes do mundo, com características espaciais e temporais que variam significativamente de uma região para outra, dependendo do tipo de clima, de fenômenos meteorológicos desde a escala global até a local (Van Loon et al., 2015). Bacias hidrográficas situadas em regiões de climas úmidos também podem sofrer com secas hidrológicas (Haile, 2019) que desencadeiam crises hídricas a depender da capacidade adaptativa do sistema socioecológico.

De acordo com Mishra e Singh (2010), entre as principais causas das secas destacam-se mudanças e variabilidades climáticas e fatores antropogênicos (degradação ambiental). As mudanças climáticas provocam o aumento das temperaturas média globais o que tem consequências sobre as diversas etapas do

ciclo hidrológico global e tendem a culminar em eventos extremos, como as secas prolongadas e severas. Variabilidades climáticas estão associadas a fenômenos atmosféricos recorrentes, como as Zonas de Convergência, El Niño, La Niña (Haile, 2019). As atividades humanas podem intensificar e até desencadear secas a exemplo da irrigação e captação de águas superficiais excessivas e desmatamento, pois essas ações influenciam a capacidade do solo de reter água, afetando, portanto, etapas do ciclo hidrológico (Mishra e Singh, 2010).

Os impactos das secas recaem sobre as pessoas, ecossistemas e atividades econômicas, ao reduzirem a disponibilidade hídrica. São exemplos de impactos: aumento da concentração dos poluentes na água, redução ou até perda da produção agrícola e de alimentos, redução na produção de hidroenergia, restrições para os usos múltiplos, redução da produção biológica aquática, perda ou redução das funções ecossistêmicas, degradação de habitats terrestres e aquáticos suspensão de atividades recreativas (Sayers et al., 2017), assim, pode-se dizer que as secas afetam o crescimento econômico e as atividades sociais (Mishra e Singh, 2010).

Embora a seca seja de difícil conceituação, como apontam diversos autores (Mishra e Singh, 2010; Van Loon et al., 2016), por variar conforme o clima (WHILITE, 2001), seus impactos se propagam pelo ciclo hidrológico, podendo ocorrer em cadeia ou simultaneamente. Estudos classificam a seca em quatro tipos (Van Loon, 2015):

- seca meteorológica - redução das precipitações em intensidade, duração e extensão espacial (Sayers et al., 2016), que pode vir junto com aumento da evapotranspiração (Van Loon, 2015);
- seca hidrológica ou de água azul - redução da vazão hídrica e armazenamento da água subterrânea e até em reservatórios artificiais (Sayers et al., 2016).
- seca agrícola ou de água verde - redução do armazenamento da água no solo e na vegetação, com impactos importantes na agricultura de sequeiro e também sobre ecossistemas naturais e infraestrutura (Van Loon 2015);
- seca socioeconômica, associada aos impactos dos outros três tipos de seca citados, pode também referir-se a falhas dos sistemas de recursos hídricos em atender às demandas de água e aos impactos ecológicos ou relacionados à saúde (Van Loon, 2015).

Um outro tipo de seca menos citado na literatura acadêmica é o operacional, que se relaciona a falta de água por problemas na operação de sistemas hídricos, associados a redução das chuvas (Pedro-Monzonís et al., 2015).

Outros fatores decorrentes de variabilidades climáticas como o aumento da temperatura e da velocidade dos ventos, baixa umidade relativa do ar e menor cobertura de nuvens potencializam o aumento da evapotranspiração, e a erosão do solo que contribuem negativamente para as consequências e impactos dos variados tipos de seca (Sayers et al., 2017). O desenvolvimento das secas é lento, elas podem durar de meses a anos e os impactos podem ser sentidos por longos períodos (ISLAM et al., 2019; Wilhite 2007).

Nesta tese, partimos da definição de seca hidrológica, que de acordo com Van Loon (2015) tem impactos em quase todos os setores, com exceção da agricultura de sequeiro e ecossistemas terrestres que são mais afetados por secas meteorológicas e agrícolas.

Os impactos da seca não se configuram como objeto de estudo desta pesquisa, mas são representativos do tamanho do problema de uma gestão das águas pouco preparada para a seca e escassez hídrica, diante das alterações e mudanças climáticas, pois uma bacia menos resiliente é mais sujeita aos efeitos devastadores da seca.

Embora a delimitação dos tipos de seca não seja facilmente reconhecida durante um evento, é importante diferenciá-los para o processo de gestão mais assertivo, uma vez que os diferentes tipos de seca conseqüentemente apresentam diferentes impactos potenciais, que devem direcionar as estratégias adaptativas mais adequadas para lidar melhor com a seca (Wilhite, 2007). A vulnerabilidade e o risco de seca também interferem no direcionamento das estratégias adaptativas (Souza Filho et al., 2016).

Para fins deste estudo, a seca hidrológica – falta de água no sistema hidrológico caracterizadas pela diminuição anormal do nível da água em rios e reservatórios – (Van Loon, 2015) se aplica melhor diante da necessidade de entender a capacidade adaptativa do sistema para manter o fornecimento de água para os usos múltiplos, considerando o conjunto de estruturas hidráulicas e sua operação.

A escassez hídrica, diferentemente das secas, caracteriza-se quando a demanda por água excede a oferta em um sistema socioecológico (Mishra e Singh,

2010). Contribuem para escassez hídrica o aumento da demanda, as mudanças climáticas e a degradação ambiental em geral, e a poluição dos mananciais em particular (Mishra e Singh, 2010). Portanto a escassez hídrica tem uma forte componente de ações humanas e se desenvolve por um longo período de tempo devido a desequilíbrios entre oferta e demanda (Van Loon, 2015).

É comum que seca e escassez hídrica ocorram ao mesmo tempo, o que torna a tarefa de distingui-las mais difícil (Van Loon e Van Lanen, 2013). La Jeunesse e Larrue (2019), seguindo documentos de referência da União Europeia (*EC Communication on Water Scarcity and Droughts, 2007*), usam sistematicamente a expressão “*water scarcity and drought (WS&D)*” porque consideram que, embora seca e escassez hídrica sejam conceitos diferentes, estão correlacionados e, em geral, resultam de uma combinação de causas naturais e induzidas por atividades humanas.

As diferenças do que é seca dependendo do tipo climático e de como o fenômeno se propaga dificultam a quantificação da seca (Van Loon, 2015).

Monitorar a seca e documentar seus impactos é muito importante para a gestão dos recursos hídricos lidar com as secas de modo mais proativo (Van Loon, 2015), isto é, antes que se torne uma crise hídrica. Neste sentido, programas como o Monitor de Secas e o Boletim de impactos da seca do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) no Brasil são de extrema importância para se avançar na construção de informações relevantes para a gestão das águas em tempos de seca e conseqüentemente para evoluirmos na construção da capacidade adaptativa local e institucional. Ambas as iniciativas estão baseadas na colaboração entre instituições e usuários de água para produção de informação.

Crises hídricas podem ser um fenômeno agudo ou uma situação que se arraste por um longo período de tempo. Ocorrem, em geral, quando os sistemas de gestão falham gerando efeitos negativos sobre usuários. Essa falha pode ser consequência de um conjunto de fatores de ordem interna e externa ao sistema. Assim, a operação dos reservatórios pode ter falhado no acúmulo de água ao mesmo tempo em que há uma redução drástica dos índices pluviométricos (Warner, 2017).

As mudanças climáticas globais têm provocado mudanças no ciclo hidrológico e trazem consigo mais uma camada de incerteza sobre a disponibilidade hídrica (ANA, 2023). Tal incerteza decorre das dificuldades para previsão da evolução futura dos processos hidrológicos acoplados aos meteorológicos e também da própria sociedade

e seus padrões de consumo e do crescimento econômico global (ANA, 2023). O tema tem feito parte da agenda de órgãos governamentais inclusive no Brasil, A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) lançou em 2024 um estudo de impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos no país, com a ambição de avaliar a vulnerabilidade futura compatível com a escala espaço – temporal do planejamento e iniciar a adaptação e desenvolvimento de estratégias adaptativas do setor de recursos hídricos.

Diante de tantas incertezas, a gestão de recursos hídricos precisa apoiar seus planejamentos menos em informações do que aconteceu no passado, como vazões médias históricas, e desenvolver novas ferramentas para lidar com secas e escassez hídrica neste novo cenário mais complexo e incerto (ANA, 2024a). No entanto, o conhecimento atual é importante para incorporar a incerteza ao planejamento, uma vez que podem contribuir para moldar cenários futuros quando associado as projeções climáticas por mais incertas que estas sejam (ANA, 2024a).

No Brasil, instrumentos como o Atlas Digital de Desastre e o Monitor de secas favorecem o entendimento da seca como um problema de todo o país. O Atlas registra o histórico de declarações de Situação de Emergência (SE) ou Estado de Calamidade Pública (ECP) emitidas pela Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC). E o Monitor de Secas acompanha mensalmente a situação das secas e seus impactos em todo o país e apesar de ser uma iniciativa mais recente, já é capaz de demonstrar que chuvas abaixo das médias com impactos sobre os usuários podem afetar todo o país. Em nota técnica, o CEMADEN (2024), explica que os eventos de seca provocaram crises hídricas em várias partes do país no período entre 2012 e 2024.

A relação incerta entre recursos hídricos, mudanças de várias ordens, inclusive climáticas, e ações humanas na exploração das águas e uso do solo leva a relutância de gestores e usuários em aceitar a incerteza como parte da gestão dos recursos hídricos e do planejamento.

As mudanças climáticas introduzem a não-estacionariedade no ciclo hidrológico, o que significa que as probabilidades de eventos hidrológicos, como vazões de rios, não são mais constantes ao longo do tempo (Milly et al., 2008). Isso compromete a avaliação de riscos e a gestão baseadas em dados históricos (Lisonbee et al. 2024). A incerteza nas projeções climáticas se propaga para as projeções dos impactos hidrológicos, através dos modelos climáticos e hidrológicos, resultando em

uma ampla gama de cenários possíveis (Milly et al., 2008). A incerteza nas projeções climáticas desafia a abordagem tradicional de gestão de recursos hídricos, que se baseava na premissa de estacionariedade, na qual, o planejamento de projetos de infraestrutura hídrica assume que os sistemas naturais variam dentro de um intervalo constante, o que já não é mais válido (Milly et al., 2008).

Brugnach et al. (2008) defendem uma abordagem relacional da incerteza, vista como propriedade da interação entre indivíduos e sistemas. Essa visão favorece inovação, criatividade e aprendizado, considerando múltiplas perspectivas na gestão hídrica. Diferentes atores interpretam problemas de formas distintas, influenciando suas percepções sobre incerteza e soluções. Assim, a incerteza não deve ser eliminada, mas incorporada em estratégias flexíveis para lidar com secas (Brugnach et al., 2008).

Distinguir risco climático de seca (probabilidade de ocorrência sob séries estacionárias) das incertezas das mudanças climáticas é essencial para estudos de disponibilidade hídrica e tomada de decisão adaptativa. Isso permite maior flexibilidade diante de incertezas futuras, fortalecendo a governança e gestão dos recursos hídricos.

### 2.2.2 Sistemas Socioecológicos

Entender o problema dos eventos climáticos extremos no contexto de mudanças e incertezas passa por compreender as interações entre suas bases naturais e sociais. Cientistas sociais estudam as variáveis de vulnerabilidades socioeconômicas de um lado, enquanto as ciências da natureza buscam compreender as dinâmicas naturais que causam os eventos (Balvanera et al., 2017).

Castro (2022) analisa os problemas da água como complexos, ao refutar a ideia predominante no Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019a) de que soluções tradicionais de obras de infraestrutura podem sozinhas resolver as dificuldades de acesso à água ou os problemas com cheias e inundações no país. Os problemas da água são complexos (*Wicked problems*) porque “possuem intrincadas relações de causa e efeito, interação humana e uma inerente lacuna de informação” (Castro, 2022). Castro explica que os usos múltiplos da água são muitas vezes competitivos entre si com consequências para o meio ambiente, o que pode tornar a alocação das

águas um problema complexo em momentos de escassez, que pode ter mais uma camada de complexidade adicionada as incertezas sobre os efeitos das mudanças climáticas sobre a disponibilidade hídrica, sob o crescente aumento da demanda por água. De acordo com Pahl-Wostl e Patterson (2021), os problemas da gestão dos recursos ambientais decorrem de falhas de governança para além da falta ou redução dos próprios recursos.

Alguns avanços têm sido feitos no sentido de identificar como eventos extremos e seus efeitos interagem com sistemas sociais que são impactados e respondem, ao mesmo tempo que provocam mudanças e alterações na natureza que retroalimentam eventos extremos (Anderies et al., 2004, Balch et al., 2019; Folke et al., 2005; Ostrom et al., 2009). Entre esses avanços está teoria dos sistemas socioecológicos, muito associada a capacidade adaptativa, aprendizado social, resiliência e sistemas complexos.

Desenvolvido, principalmente no campo das ciências da sustentabilidade (Folke et al., 2005), sistemas socioecológicos (SSE) são sistemas complexos, com múltiplos níveis, nos quais as componentes sociais e naturais (ecológicas/ambientais) estão interligadas e desenvolvem relação de interdependência (Berkes et al., 2003). A sustentabilidade, neste contexto, é vista como um processo dinâmico que requer a capacidade de adaptação das sociedades para lidar com as mudanças (Folke et al., 2010). A compreensão e a gestão de sistemas socioecológicos requerem abordagens que priorizem a capacidade adaptativa, a flexibilidade e a capacidade de aprender e lidar com a incerteza (Folke et al., 2010).

Análises de SSE devem levar em conta as dinâmicas e interações entre os componentes naturais (ecossistemas e elementos que tratamos como recursos, a água, por exemplo) e os componentes sociais (governança, gestão, usos). Um exemplo desta interação é a geração dos serviços ecossistêmicos (Berkes et al., 2003).

Os serviços ecossistêmicos podem ser definidos como "os benefícios que as populações humanas obtêm, direta ou indiretamente, das funções de ecossistemas" (Constanza et al., 1997). Para a segurança hídrica, a UN-Water (2018) destaca serviços de provisão de água, serviços de regulação climática, purificação da água, regulação hídrica, controle de erosão, regulação de sedimentos, regulação de eventos extremos como inundações e estiagens severas. Tais serviços ecossistêmicos têm

papel importante para manutenção da disponibilidade hídrica em termos quantitativo e qualitativos (GWP, 2020).

Van Loon et al., (2016) defende a necessidade da inclusão da componente humana na definição de seca e seus tipos, pois entendem que processos humanos interferem em variadas etapas do ciclo hidrológico, e isso pode inclusive contribuir para impulsionar a seca. A seca hidrológica, foco desta tese, pode ser compreendida como disponibilidade hídrica abaixo do normal específico, resultado da redução de entrada ou aumento da saída de água no sistema. Do lado da entrada a redução pode se dar devido à falta de chuvas, mas também devido a diminuição do fluxo de retorno da irrigação e de esgoto, processos notadamente antrópicos. Do lado da saída o aumento da demanda de água para atividades humanas é exemplo de interferência humana no ciclo hidrológico. Inclusive o armazenamento de águas em reservatórios faz parte do ciclo hidrológico.

Os sistemas socioecológicos delimitados por uma bacia hidrográfica e se for o caso, por suas interligações artificiais, precisam ser compreendidos pelos processos complexos de retroalimentação decorrentes das influências da ação humana no ciclo hidrológico. De acordo com Van Loon (2016), tais processos tem o potencial de piorar ou aliviar o desenrolar da seca.

Muitos *frameworks*<sup>7</sup> foram desenvolvidos para análise dos sistemas socioecológicos, justamente por ser uma abordagem para compreensão de problemas complexos e que demandam conhecimentos interdisciplinares (Binder et al., 2013). No entanto, a maioria deles se concentra na componente natural ou social a depender das ciências base, nas quais se originam (Hinkel et al., 2014). Nos aproximamos mais de dois modelos conceituais, o *Framework* dos Sistemas Socioecológicos desenvolvido principalmente pela Ostrom (2009) e o *Framework* da gestão e transição (*Management and Transition Framework - MTF*), que tem como sua principal pesquisadora, Pahl-Wostl (2009), especialmente pelo fato de terem sido amplamente explorados por pesquisas na área de governança e gestão dos recursos hídricos. Exemplos de aplicação do MTF podem ser encontrados em Knieper et al. (2010), Bisaro et al., (2010), Pahl-Wostl (2015), Emami-Skardi et al. (2021). Quanto aplicação

---

<sup>7</sup> Frameworks são estruturas analíticas que conectam um conjunto de suposições, conceitos, valores e práticas que possibilitam um modo de compreender uma dada realidade, especialmente em situações que demandam conhecimentos interdisciplinares (Binder et al, 2013; Hertz e Schluter, 2015).

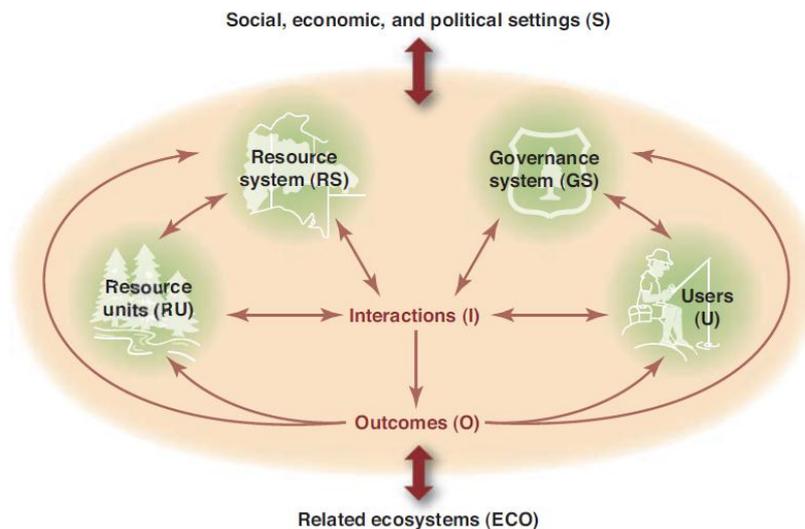
do *framework* dos sistemas socioecológicos de Ostrom, são exemplos: Alvarez et al. (2021), Gómez e Cadenas (2015), Marques et al. (2020), Sapountzaki & Daskalakis (2018).

Desenvolvido por meio de abordagem multidisciplinar, o MTF apoia a análise dos processos de gestão e governança multiníveis em sistemas socioecológicos, nos quais as interações entre os subsistemas naturais e sociais compõem um sistema complexo e dinâmico (Pahl-Wostl/Pahl-Wostl, 2009). A integração dos conceitos de capacidade adaptativa e aprendizagem social permite avançar na compreensão da complexidade dos sistemas de governança e gestão das águas e seus problemas (Pahl-Wostl e Petterson, 2021). O MTF destaca a necessidade de transição para uma governança mais adaptativa em tempos de mudanças globais e climáticas (Pahl-Wostl e Petterson, 2021). Em resumo, o MTF fornece uma base para desenvolver abordagens mais eficazes e sustentáveis para a gestão de recursos em um mundo em constante mudança.

O *framework* dos sistemas socioecológicos proposto por Ostrom (2009) é uma estrutura conceitual que visa analisar a complexidade das interações entre sistemas sociais e ecológicos, reconhecendo que ambos estão interligados e influenciam-se mutuamente. Este *framework* é usado para estudar como as ações humanas, as instituições de governança e as características do meio ambiente afetam a sustentabilidade dos recursos naturais (Figura 9) (MC GINNIS e Ostrom, 2014).

Organizado em níveis hierárquicos, os componentes do SSE ocupam o primeiro nível e as variáveis aninhadas, o segundo (exemplos, pois podem variar nos diferentes estudos) (Figura 10). Essa hierarquia permite uma análise detalhada e contextualizada dos fatores que influenciam o comportamento dos atores e os resultados do sistema. O quadro enfatiza a interconexão entre esses componentes, criando um sistema dinâmico onde as mudanças em um componente afetam os demais (Figura 9). O *framework* ajuda a entender a complexidade dos sistemas socioecológicos e as condições para a sua sustentabilidade.

Figura 9 - Os subsistemas principais do Framework para análise de sistemas socioecológicos



Fonte: Ostrom, 2009.

Legenda: Os quatro subsistemas são: Sistema de recursos, Unidade de recursos, Sistema de governança e Usuários. As interações, representadas por setas, se dão internamente nos subsistemas, entre mais de um ou até todos ao mesmo tempo se afetam mutuamente e geram resultados. As configurações sociais, econômicas e políticas em escalas mais amplas e ecossistemas externos também interagem com o SSE.

Figura 10 - Exemplos de variáveis de segundo nível sob os subsistemas principais de primeiro nível (S, RS, GS, RU, U, I, O e ECO) em uma estrutura para análise de sistemas socioecológicos

<i>Social, economic, and political settings (S)</i>	
S1 Economic development. S2 Demographic trends. S3 Political stability. S4 Government resource policies. S5 Market incentives. S6 Media organization.	
<i>Resource systems (RS)</i>	<i>Governance systems (GS)</i>
RS1 Sector (e.g., water, forests, pasture, fish)	GS1 Government organizations
RS2 Clarity of system boundaries	GS2 Nongovernment organizations
RS3 Size of resource system*	GS3 Network structure
RS4 Human-constructed facilities	GS4 Property-rights systems
RS5 Productivity of system*	GS5 Operational rules
RS6 Equilibrium properties	GS6 Collective-choice rules*
RS7 Predictability of system dynamics*	GS7 Constitutional rules
RS8 Storage characteristics	GS8 Monitoring and sanctioning processes
RS9 Location	
<i>Resource units (RU)</i>	<i>Users (U)</i>
RU1 Resource unit mobility*	U1 Number of users*
RU2 Growth or replacement rate	U2 Socioeconomic attributes of users
RU3 Interaction among resource units	U3 History of use
RU4 Economic value	U4 Location
RU5 Number of units	U5 Leadership/entrepreneurship*
RU6 Distinctive markings	U6 Norms/social capital*
RU7 Spatial and temporal distribution	U7 Knowledge of SES/mental models*
	U8 Importance of resource*
	U9 Technology used
	<i>Interactions (I) → outcomes (O)</i>
I1 Harvesting levels of diverse users	O1 Social performance measures (e.g., efficiency, equity, accountability, sustainability)
I2 Information sharing among users	O2 Ecological performance measures (e.g., overharvested, resilience, bio-diversity, sustainability)
I3 Deliberation processes	O3 Externalities to other SESs
I4 Conflicts among users	
I5 Investment activities	
I6 Lobbying activities	
I7 Self-organizing activities	
I8 Networking activities	
	<i>Related ecosystems (ECO)</i>
	ECO1 Climate patterns. ECO2 Pollution patterns. ECO3 Flows into and out of focal SES.

Fonte: Ostrom, 2009.

A opção por esses dois *frameworks* como enquadramento teórico para pesquisa, servindo como inspiração para a proposição de um quadro analítico que se adeque à capacidade adaptativa de SES em situação de seca se deve à: são específicos e abrangentes ao mesmo tempo, permitindo a aplicação em estudos de caso diferentes e comparações entre eles, abordam o subsistema social e o natural com profundidades similares, apreendem as interações entre os dois subsistemas, entendem que os componentes naturais são fornecedores de serviços ecossistêmicos aos componentes sociais.

Estudos de caso consideram a complexidade e a especificidade do contexto com mais propriedade, no entanto para não dificultar comparações e avanços no campo científico, é necessário que os modelos teóricos para análises dos problemas

complexos da água mantenham algum grau de generalidade (Pahl-Wostl e Kranz, 2010).

Os dois quadros teóricos entendem que o sistema social tem níveis que interagem e possuem ciclo de retroalimentação entre eles, dados por rodadas de aprendizagem e transformação para adaptação no caso do MTF ( Pahl-Wostl, 2009). Para Ostrom (2009), os sistemas de governança afetam o comportamento dos usuários, que podem fazer parte do sistema de modificá-lo.

Ambos os quadros aderem bem ao estudo da capacidade adaptativa, que se relaciona diretamente a habilidade dos atores de influenciarem a resiliência do sistema socioecológico, pois os dois aprofundam a compreensão dos elementos da componente social dos SSE relacionada às interações com os componentes naturais e a capacidade adaptativa. Os dois quadros trabalham com a perspectiva da componente natural como uma fornecedora de serviços ecossistêmicos, uma visão bastante antropocêntrica (Binder et al., 2013).

Trabalhar com os dois quadros em conjunto na tese, permitiu aprofundar as dimensões da capacidade adaptativa em múltiplos níveis, interações entre instituições e usuários de água em processos de aprendizagem e tomada de decisão (aprendizado, participação e colaboração, liderança e poder) a partir das contribuições da Pahl-Wostl (2009). E ao mesmo tempo aprofundar as componentes naturais do sistema para compreender melhor as condições fisiográficas da bacia hidrográfica profundamente modificadas em e suas interações com seres humanos e suas formas de apropriação dos recursos naturais, com base principalmente nas contribuições do *framework* dos sistemas socioecológicos da Ostrom (2009). Utilizamos o quadro da Ostrom fundamentalmente para caracterizar a Bacia do Rio Paraíba do Sul como um sistema socioecológico, porque detalha os componentes de um SES, decompondo-os em níveis (aninhados) e estrutura as relações de interdependência (seção 4.1, p.101)

O menor nível de aprofundamento do subsistema natural é uma das mais recorrentes críticas feitas aos estudos que utilizam este arcabouço. O esforço de pesquisa realizado em um ambiente multidisciplinar, como o Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente (PPGMA), reunindo diferentes formações e experiências acadêmicas e profissionais, pode contribuir para minimizar esse tipo de limitação, embora a pesquisa permaneça concentrada na pesquisadora em formação

e suas experiências, e não um trabalho conjunto entre pesquisadores de várias áreas propriamente dito. O uso de *frameworks* construídos em uma abordagem interdisciplinar, que de fato envolve muitos pesquisadores de várias áreas, no esforço de avançar nas pesquisas e contribuir com o campo teórico é promissor na busca de formas de lidar melhor com secas e escassez hídrica em tempos de mudança e incertezas (Pahl-Wostl, 2015).

### 2.2.3 Segurança hídrica e capacidade adaptativa: aproximação entre os conceitos no contexto da gestão das águas

O conceito de segurança hídrica na literatura é amplo e abrange os usos múltiplos da água como escopo do Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, e também usos da água externos a gestão como por exemplo a agricultura de sequeiro, que depende diretamente das águas das chuvas armazenada no solo. Assim, segurança hídrica refere-se a assegurar o acesso à água em quantidade e qualidade necessárias para pessoas, ecossistemas e atividades produtivas, considerando que existe um nível de risco aceitável (ANA, 2024a). A melhor compreensão da segurança hídrica envolve conhecer suas interfaces com os desafios da governança das águas, das dinâmicas e interações socioecológicas, caracterizadas, justamente pela complexidade sistêmica e suas incertezas (Scott, 2013).

Os sistemas socioecológicos possuem características adaptativas associadas ao seu grau de resiliência. A resiliência de um sistema por sua vez tem limites, que quando ultrapassados direcionam o sistema para mudanças significativas em seu funcionamento e até mesmo em suas funções, ameaçando os usos existentes da água com redução expressiva de sua disponibilidade em condições quantitativas e qualitativas (Scott, 2013).

Diante das mudanças globais, inclusive climáticas, percebe-se uma crescente incerteza nos conhecimentos sobre a dinâmica dos sistemas socioecológicos, que afetam diretamente a segurança hídrica. Assim, a capacidade adaptativa, por meio do planejamento flexível, da aprendizagem social e da colaboração pode contribuir para a segurança hídrica, entendida como proposto por Scott (2013): “A segurança hídrica consiste na disponibilidade sustentável de quantidades e qualidades adequadas de

água para sociedades e ecossistemas resilientes diante das incertezas das mudanças globais”<sup>8</sup>.

Lemos (2018), esclarece que enquanto a segurança hídrica concentra esforços no estado atual do sistema, a capacidade adaptativa tem sua atenção voltada a trajetória, que dependerá das intervenções adotadas pelo sistema de gestão das águas e seus usuários. A capacidade adaptativa enfatiza as oportunidades encontradas na trajetória.

Figura 11- Abordagem de trajetórias



Fonte: Lemos (2016)

De acordo com Lemos (2016), segurança hídrica e capacidade adaptativa estão intrinsecamente conectadas na gestão dos recursos hídricos, pois o alcance da segurança hídrica pode depender da realização da capacidade adaptativa, principalmente diante dos eventos extremos. No modelo conceitual (Figura 11- Abordagem de trajetórias) proposto por Lemos (2018), a ênfase está em mover-se de estados de insegurança hídrica para estados de segurança hídrica através da implementação de estratégias de adaptação e intervenções específicas, considerando múltiplas capacidades e suas interações para alcançar resultados desejáveis na gestão de água.

Compreende-se que quanto mais adaptativo um sistema, melhores são as possibilidades deste assegurar a segurança hídrica atual e futura, especialmente em

<sup>8</sup> O texto em língua estrangeira é: “*Water security constitutes the sustainable availability of adequate quantities and qualities of water for resilient societies and ecosystems in the face of uncertain global change.*”

situações de exposição às secas e à escassez hídrica. Nesse sentido, seria possível estabelecer uma conexão entre segurança hídrica e capacidade adaptativa.

#### 2.2.4 Gestão de recursos hídricos, governança e gestão adaptativa

Gestão e governança são conceitos distintos. Enquanto a gestão refere-se às atividades de analisar, monitorar, desenvolver e implementar medidas para atender aos usos múltiplos da água em condições desejáveis (Pahl-Wostl, 2012). A governança refere-se aos sistemas políticos, sociais, econômicos e administrativos em vigor para regular o desenvolvimento e a gestão dos recursos hídricos, isso inclui considerar o papel dos diversos atores, organizados em diferentes níveis de tomada de decisão, para construção de regras e práticas da gestão das águas (UNDP, 2000). Assim, enquanto a governança opera em todos os níveis e organiza o conjunto de estratégias e regras, a gestão cuida de operar tudo isso.

Adicionalmente, o termo adaptativo qualifica a gestão e a governança para o contexto atual da emergência climática, que até então vinha sendo considerada, mas não compunha um eixo forte da gestão das águas. Pahl-Wostl et al. (2010), define gestão adaptativa:

como um processo sistemático para melhorar as políticas e práticas de gerenciamento por meio de aprendizado sistêmico a partir dos resultados das estratégias de gerenciamento implementadas e levando em consideração as mudanças em fatores externos de maneira proativa (Pahl-Wostl et al., 2010).

A gestão de recursos hídricos no Brasil tem suas origens na Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH). De acordo com a Global Water Partnership (GWP, 2020), a GIRH é um processo que promove o desenvolvimento e a gestão coordenadas da água, terra e recursos relacionados, de modo a aproveitar o bem estar econômico e social equitativamente, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas.

A descentralização e a participação são princípios que norteiam os cinco instrumentos dispostos na Lei de Águas (Lei nº 9.433/1997) para gestão dos recursos hídricos, são eles: outorga de direito de uso da água, cobrança pelo uso da água, enquadramento dos corpos hídricos por classe de uso, plano de recursos hídricos e Sistemas de informações. A Lei traz ainda a organização do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), que foi construída de modo a

acomodar a descentralização e o fomento a participação, bem como a distribuição de responsabilidades e atribuições na implementação dos instrumentos e gestão dos recursos hídricos.

Com o passar do tempo, a gestão tem assumido, cada vez mais um papel prático e técnico, deixando em segundo plano as questões políticas e estratégicas. Neste contexto, a governança surge como uma expressão utilizada para compreensão da articulação da gestão aos atores envolvidos, bem como a participação mais política e estratégica para além de funções técnicas.

Um exemplo do “engessamento” da gestão e intensificação dos papéis técnicos é o peso dado pelos Comitês de Bacias Hidrográficas (CBH) a função de aprovação do plano de bacias e proposição do enquadramento. Quando ao mesmo tempo, podem ser pouco influentes nas discussões para tomada de decisão em momentos de crise, como concluíram Trimble et al. (2022), ao analisarem o papel dos Comitês de bacia em momentos de crise hídrica em bacias de três países da América do Sul, incluindo o CBH das Bacias dos Rios Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ). De acordo com os autores, nesta bacia hidrográfica, o comitê de bacias é acionado apenas para suporte técnico adicional. Eles argumentam que os comitês de bacias, mesmo sendo parte constituinte das estruturas de governança da água, enfrentam barreiras para promover a governança adaptativa da água, que podem relacionar-se com falta de liderança, por exemplo.

No Brasil, a ANA começa a ser mais enfática quanto a necessidade de incorporação das mudanças climáticas ao planejamento dos recursos hídricos, muito recentemente, com o lançamento do relatório Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos do Brasil (ANA, 2024a).

#### 2.2.5 Capacidade adaptativa às secas e estratégias adaptativas

Podemos afirmar, a partir da revisão apresentada, em consonância com os achados de Phuong et al. 2017, que é frequente as fontes analisadas convergirem para o conceito de capacidade adaptativa adotado pelo IPCC em seus últimos relatórios. Este conceito é amplo o suficiente para incluir os dados gerais das mudanças climáticas, mas não é específico o bastante para a compreensão das secas enquanto um fenômeno complexo e com impactos que podem perdurar, mesmo após

o seu fim em termos pluviométricos, como no caso de recuperação de reservatórios, de danos à infraestrutura e de relevante impacto social e econômico.

A revisão conduzida na pesquisa permitiu sistematizar a literatura acadêmica sobre capacidade adaptativa e seca em oito abordagens, considerando outros conceitos chaves e emergentes: i) Capacidade adaptativa como conceito norteador; ii) Adaptação como realização da capacidade adaptativa; iii) Métodos para avaliar a capacidade adaptativa; iv) Estratégias para construção da capacidade adaptativa; v) Capacidade adaptativa como componente da vulnerabilidade; vi) Influências da percepção do risco de seca para capacidade adaptativa; vii) Capacidade adaptativa para resiliência dos sistemas socioecológicos; e viii) Capacidade adaptativa para gestão das águas. Quase metade dos 97 estudos analisados foram incluídos em duas categorias: capacidade adaptativa e vulnerabilidade; e estratégias adaptativas. Essas duas abordagens apresentam um foco na operacionalização do conceito de capacidade adaptativa como uma capacidade positiva dos sistemas que contribuem para redução da vulnerabilidade e aumento da resiliência.

A análise demonstra que não há uma abordagem única para discutir a capacidade adaptativa, e que a singularidade dos sistemas (sociais e naturais) dificultam o estabelecimento rígido de determinantes capazes de capturar o estado da capacidade adaptativa em um determinado contexto. Assim, pouco consenso acadêmico foi construído até aqui no sentido de modelar os determinantes, elementos e processos da capacidade adaptativa em busca da compreensão de seu funcionamento e gatilho de acionamento no momento da exposição, sendo a capacidade adaptativa considerada como um potencial dos sistemas (em especial, da componente social) quando exposto ao evento de seca.

Também não se verificou na literatura um esforço de compreender a capacidade adaptativa às secas. Isso é relevante, diante do contexto apresentado nos próprios trabalhos revisados, de aumento dos eventos extremos de seca em termos de severidade, também observado em regiões de clima mais úmido, onde as secas não desencadeavam crises hídricas na frequência e na magnitude mais recentes.

Em síntese, para os objetivos da pesquisa, pode-se afirmar que capacidade adaptativa e resiliência estão intrinsecamente relacionadas. O conceito de capacidade adaptativa é fundamentado por múltiplas contribuições teóricas advindas de diversas disciplinas, como resultado, existem variados conceitos. Há heterogeneidade quanto

aos elementos que integram a capacidade adaptativa, isto fica claro ao analisarmos os diversos quadros analíticos (*frameworks*) para sua avaliação e análise. O foco desta tese é a capacidade adaptativa que está associada a agência dos atores para influenciarem a resiliência do sistema como um todo (Sapountsaki e Daskalaki, 2018).

A capacidade adaptativa é incorporada a gestão das águas por meio do paradigma da gestão adaptativa das águas, que segundo Pahl-Wostl et al. (2007), aborda as incertezas inerentes a dinâmica de sistemas socioecológicos complexos por meio do planejamento flexível, do compartilhamento do conhecimento e, da colaboração entre cientistas e tomadores de decisão. Jones et al. (2019) esclarecem que os processos flexíveis de tomada de decisão permitem incorporar a incerteza ao planejamento e fortalecem a construção da capacidade adaptativa enquanto processo contínuo.

A capacidade adaptativa pode ser analisada e avaliada por dimensões que a caracterizam e também pela sua realização práticas por meio das estratégias adaptativas, que para se realizarem dependem de uma ou mais dessas dimensões. A depender de como as ações e medidas de adaptação influenciam a capacidade adaptativa do sistema socioecológico, elas podem ser classificadas em: ação de enfrentamento, medida adaptativa incremental e medida adaptativa transformativa.

As principais características observadas para classificação das estratégias adaptativas foram momento de concretização, duração e abrangência na bacia hidrográfica, além da inércia ou grau de mudança que provocam no sistema (Fedele et al., 2019).

As **ações de enfrentamento** (*coping mechanism*) são reativas, permitem que o sistema mantenha sua função principal (Kates et al. 2012), de fornecer água aos usos múltiplos, no momento em que está lidando com a seca, por exemplo, se aplicam para impactos menos intensos, e servem quando não há capacidade técnica ou financeira para responder com outras medidas (Fedele et al, 2019), ou mesmo, em sistemas menos adaptativos, que no geral enfrentam as crises de forma responsiva em oposição a lidar com eventos extremos proativamente. Por outro lado, em sistemas mais resilientes, as medidas de enfrentamento são necessárias diante de situações não previstas no planejamento oferecendo maior flexibilidade ao sistema para lidar com as incertezas. Isso parece contraditório, no entanto, sistemas adaptativos

possuem um conjunto de medidas transformativas e incrementais, que o diferenciam de sistemas mais vulneráveis.

As **medidas adaptativas incrementais** são aquelas que provocam alterações superficiais no sistema, permitem a adaptação necessária a curto e médio prazos e são empregadas em áreas restritas do sistema socioecológico (Fedele et al., 2019). Estão mais associadas às mudanças consensuais de práticas e alocação de recursos em um nível superficial (Dilling et al., 2023).

As **medidas adaptativas transformativas**, normalmente são mais amplas e atingem todo o sistema, tem um tempo de implementação e de resultados mais duradouros, e podem inclusive ter um custo mais elevado, demandam grande esforço de colaboração, pois provocam mudanças profundas no sistema, agindo nas causas da vulnerabilidade (Fedele et al., 2019). Ocorre em domínios tecnológicos, econômicos, sociais (Dilling et al., 2023) e políticos mais profundos, quando alteram as estruturas de poder existentes. Medidas transformativas podem ser impulsionadas por crises (Folke et al. 2005).

Os três tipos de estratégias adaptativas apresentados não podem ser considerados isoladamente para construção da capacidade adaptativa, pois algumas vezes elas se complementam, outras vezes as interações podem gerar resultados negativos. Por isso, considerações a respeito das medidas adaptativas e de enfrentamento quanto as suas interações com componentes do sistema a fim de antever *feedbacks* negativos com conseqüente maladaptação precisam ser vistas cuidadosamente.

Medidas adaptativas incrementais e transformativas não são antagônicas nem irreversíveis. Medidas incrementais que perduram no tempo e se verifica que provocaram mudanças profundas no sistema podem se tornar mudanças transformativas (Kates et al., 2012). Medidas concebidas como transformativas podem esgotar sua capacidade adaptativa em um novo contexto do sistema e precisarem ser revistas e melhoradas.

A análise das interações entre as três categorias de medidas oferece vias para compreender se o sistema está progredindo em direção a uma maior adaptabilidade e resiliência. Este progresso se manifesta quando ações de enfrentamento e medidas de caráter incremental cooperam para a possível instauração de medidas transformadoras dentro do processo adaptativo, por meio do aprendizado, por

exemplo. Este processo, por sua vez, implica em um contínuo desenvolvimento de aprendizado e flexibilidade (Pahl-Wolstl, 2009).

Neste contexto, considera-se duas frentes de pesquisa e trabalho importantes para o aumento da capacidade adaptativa a secas em sistemas sociais e naturais: (i) a elaboração e construção de ações de enfrentamento e medidas adaptativas; (ii) e o estabelecimento de um conjunto de determinantes que permitam qualificar o aumento da capacidade adaptativa em sistemas com ações de enfrentamento e medidas adaptativas em curso após a vivência de um evento extremo de seca.

Como dito antes, um consenso nas determinantes da capacidade adaptativa ainda não está claro, mas muito já foi estudado. Pode-se partir deste conhecimento construído no sentido de identificar determinantes tão específicas quanto às características dos eventos extremos de seca, e ao mesmo tempo amplas o suficiente para abarcar sistemas diferentes e expostos às incertezas.

A discussão e as conclusões apresentadas ao longo desse capítulo subsidiarão a proposição de um quadro analítico (*framework*) para avaliar a capacidade adaptativa institucional e local à seca e escassez hídrica (Capítulo 3) e sua aplicação e consequente validação no estudo – a crise hídrica 2014-2016 vivenciada na Bacia do Rio Paraíba do Sul (Capítulo 4).

### 3 PROPOSIÇÃO DE UM QUADRO ANALÍTICO PARA AVALIAR A CAPACIDADE ADAPTATIVA ÀS SECAS E À ESCASSEZ HÍDRICA

A capacidade adaptativa tem sido apontada por diversos autores como uma característica desejável em sistemas de gestão de recursos naturais, entre eles a gestão das águas (Aldunce et al., 2016; ALSTON et al., 2018; BERRANG-FORD, 2021; BORMA et al., 2023; CLAVIS e Engle, 2015; Dilling et al., 2019; Engle, 2012; Folke et al., 2005; Friedman et al., 2024; GAIN et al., 2013; Lemos et al., 2020; Pahl-Wostl e Patterson, 2021; Pahl-Wostl, 2007; 2017; Silva e Ribeiro, 2021)

Uma crítica importante, frequentemente feita à realização da capacidade adaptativa na gestão das águas, destacada por Engle (2013), é o distanciamento entre a compreensão desse conceito por pesquisadores e sua aplicação prática pelos atores do Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos.

Nesse sentido, tem sido desenvolvido, nas últimas duas décadas, teorias e quadro analíticos (*frameworks*) que analisam e descrevem as dimensões e elementos desejáveis em sistemas adaptativos complexos (Aldunce et al., 2022; Clarvis E Allan, 2014; Dilling et al., 2019; Dilling et al., 2023).

Existem diversos quadros analíticos para avaliar a capacidade adaptativa aos eventos extremos, sendo que alguns são especificamente voltados para secas e escassez hídrica no contexto da gestão das águas. Esses quadros oferecem contribuições importantes para a compreensão da capacidade adaptativa de sistemas hídricos enquanto estão sendo afetados por eventos climáticos extremos. Muitos estudos avaliam a capacidade adaptativa às secas somente de usuários de água bruta em nível local (Matewos, 2019) ou exclusivamente sob a perspectiva do sistema de gestão (Bettini et al., 2015; Brooks et al., 2005; Engle e Lemos 2010; Engle, 2013; Gupta et al., 2010). Contudo, os estudos identificados na literatura tinham como foco um único tipo de uso da água. Além disso, as pesquisas focam em avaliar a capacidade adaptativa no recorte temporal do evento extremo analisado, com raros avanços para avaliar a capacidade adaptativa futura, com exceção de Dilling et al. (2023).

A fim de preencher algumas dessas lacunas, este estudo busca contribuir para o avanço do conhecimento científico ao explorar as dimensões da capacidade adaptativa que podem influenciar a construção de medidas de enfrentamento,

medidas adaptativas incrementais (que promovem mudanças superficiais) e medidas adaptativas transformativas (que promovem mudanças profundas), visando a construção de um sistema mais resiliente para o enfrentamento das secas e escassez hídrica multinível desde usuários até gestores em nível nacional, passando pelo estadual e de bacia hidrográfica.

O objetivo deste capítulo é identificar e analisar, na literatura acadêmica, teorias e *frameworks* de avaliação da capacidade adaptativa, com o intuito de propor um quadro analítico específico para secas e escassez hídrica, tendo como referência o estudo de caso selecionado nesta pesquisa.

Especificamente, busca-se identificar as dimensões mais relevantes da capacidade adaptativa durante o enfrentamento de seca e escassez hídrica, bem como medidas que se prolongam no tempo – incrementais e transformativas – a fim de entender se esse conjunto de medidas, aqui denominado: 'estratégias adaptativas', tem o potencial de transformar o sistema, tornando-o mais resiliente às secas e à escassez hídrica multinível.

Para isso, iniciamos com uma revisão bibliográfica (quadros analíticos para avaliação da capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica), seguida da seleção das dimensões da capacidade adaptativa, empregadas por meio de análise de conteúdo, sem perder de vista os atributos do estudo de caso proposto.

No capítulo anterior, foram apresentadas as definições mais correntes da capacidade adaptativa na literatura acadêmica, entre elas, a abordagem que associa a capacidade adaptativa incremental e transformativa à resiliência de sistemas. Essa abordagem foi adotada nesta tese por permitir a análise da capacidade adaptativa ao longo do tempo e, simultaneamente, durante um evento extremo de seca, abrangendo, assim, o propósito da pesquisa.

A capacidade adaptativa refere-se ao conjunto de dimensões que interagem com o sistema socioecológico – neste caso, a bacia hidrográfica – e que lhe conferem a capacidade potencial de planejar e conceber estratégias adaptativas para lidar com secas e escassez hídrica. O sistema socioecológico tem como componente natural e físico a própria bacia hidrográfica, incluindo seus atributos hidrológicos e ecológicos, que interagem com a componente social e econômica, representada pelo sistema de gestão das águas e seus usuários. Desse modo, a capacidade adaptativa pode ajudar a moderar os danos durante um evento de seca (Smit e Wandel, 2006).

As estratégias adaptativas são fundamentais para promover a capacidade adaptativa – e isto inclui aspectos institucionais, organizacionais, operacionais – além de mudanças de comportamento. Isso inclui a adoção de diferentes estratégias adaptativas, como medidas de ampliação da oferta e gestão da demanda, baseadas tanto em infraestrutura cinza quanto em soluções baseadas na natureza (Kirchhoff et al., 2016).

A avaliação empírica da capacidade adaptativa é imprescindível para compreender os elementos que a constrói, bem como os fatores que limitam a adaptação (Adger et al., 2009; Engle, 2011; Lemos et al., 2013). Por isso, a avaliação da capacidade adaptativa é uma das etapas no desenvolvimento de estratégias adaptativas que visam aumentar a resiliência dos sistemas socioecológicos e a segurança hídrica frente aos eventos de seca.

Gupta et al. (2010), em um esforço de criação de um método de avaliação da capacidade adaptativa das instituições, a define como:

[...] as características inerentes às instituições que capacitam os atores sociais a responder aos impactos de curto e longo prazos, seja por meio de medidas planejadas ou por meio da permissão e do incentivo a respostas criativas da sociedade anteriores e posteriores (Gupta et al., 2010).

As instituições englobam leis, normas, organizações formais (HABIBA et al., 2014), assim como regras e práticas informais que encorajam ou restringem a prática das estratégias adaptativas (Dilling et al., 2018; Gupta et al., 2010;) para lidar com estiagens e secas severas.

Nessa perspectiva, a avaliação da capacidade adaptativa considera que instituições aptas a promover e encorajar atores sociais a colocarem em prática estratégias adaptativas são aquelas em que a aprendizagem, a experiência e a flexibilidade são relevantes para moldar sistemas socioecológicos que reagem de forma criativa ao risco de seca (Dilling et al., 2018; Gupta et al., 2010; Hill Clarves e Engle, 2010).

### **3.1 Quadros analíticos para avaliação da capacidade adaptativa**

A capacidade adaptativa é compreendida como um conceito latente e dinâmico, o que traz implicações para sua avaliação: (i) por ser latente, é preciso que o sistema esteja vivenciando a capacidade adaptativa diante de um evento extremo para avaliá-

la (Engle, 2012); e (ii) é dinâmica, pois o comportamento do sistema não é uniforme e depende das interações entre os elementos dos subsistemas natural e social e dos resultados dessas interações; essa complexidade impõe dificuldades para expandir as dimensões e atributos da capacidade adaptativa entre os diferentes níveis, bem como para comparar diferentes momentos dentro de um mesmo sistema na escala de estudo (Engle, 2012).

Partimos do pressuposto de que é possível avaliar a capacidade adaptativa após o enfrentamento de um evento extremo e de que isso trará vantagens para a análise, ao permitir identificar o caminho que o sistema tomará após a crise e se essa experiência será aproveitada para torná-lo mais adaptativo. Essa avaliação pode ser realizada por meio de uma lente teórica que considere tanto as dimensões da capacidade adaptativa quanto suas formas práticas de concepção e implementação de estratégias adaptativas. A classificação dessas estratégias em ações de enfrentamento, medidas incrementais e transformativas amplia a avaliação da capacidade adaptativa ao longo dos diferentes momentos do sistema socioecológico.

Alguns dos quadros analíticos de capacidade adaptativa mais difundidos na literatura acadêmica analisam separadamente o que aqui denominamos de nível institucional (Gestores do Sistema de Gestão de Recursos Hídricos, organizados em múltiplos níveis desde bacia hidrográfica até o federal) e nível local (Usuários de água bruta, na ponta, sujeitos à eventual escassez hídrica). Hurlbert e Gupta (2017; 2019) utilizam a Roda da Capacidade Adaptativa para analisar instituições em diferentes contextos de seca, comparando países desenvolvidos (Canadá) e em desenvolvimento (Chile e Argentina). Nesse contexto, mobilizam os conceitos de governança justa, equidade, aprendizagem social e legitimidade. Bettini et al., (2013) apontam desafios em elementos específicos da capacidade adaptativa institucional, enfatizando: a necessidade de instituições mais flexíveis por meio de uma melhor gestão da informação; maior geração de oportunidades de aprendizagem; e incentivo político à inovação e envolvimento das partes interessadas (Bettini et al., 2013).

De acordo com a teoria dos sistemas complexos, a resiliência de um sistema é resultado das fases de organização em ciclos adaptativos interligados em diferentes escalas (Gunderson et al., 2017). O ciclo adaptativo representa de forma simplificada a evolução do Sistema Socioecológico dividido em quatro fases, de acordo com Bettini et al. (2015):

- I. Bloqueio – Caracteriza-se pela predominância da manutenção das práticas existentes, com forte resistência à mudança. A falta de aprendizado limita a capacidade adaptativa do sistema;
- II. Crise – A capacidade adaptativa do sistema é testada ao ser exposta a um evento extremo. Dependendo da capacidade de aprender, decidir e agir, o sistema pode aproveitar a crise como uma oportunidade para se adaptar;
- III. Reorganização - Nesta fase, o sistema pode explorar soluções alternativas que podem levá-lo a uma reestruturação em novas bases;
- IV. Estabilização – O sistema, sob nova configuração, foca no refinamento de práticas e processos para alcançar novos objetivos para adaptação.

Bettini et al. (2015) concluem que sistemas na fase de bloqueio priorizam a estabilidade e a manutenção de estruturas existentes. Em contraposição, sistemas em reorganização são caracterizados por sua adaptabilidade, disposição para adotar a mudança e a capacidade de aprender e se transformar em resposta a condições em mudança e ao feedback do sistema.

Essas diferenças fundamentais nos mecanismos de adaptação destacam a importância da flexibilidade, do aprendizado contínuo e da ação colaborativa para a promoção da resiliência e da sustentabilidade em sistemas socioecológicos complexos.

O quadro da capacidade adaptativa local (Jones et al., 2019; Matewos, 2019) considera cinco determinantes, analisados isoladamente e também em suas interações, para avaliar a capacidade adaptativa: ativos; instituições e direitos; conhecimento e informação; inovação; e governança e tomada de decisões flexíveis voltadas para o futuro.

Poucos estudos tentam investigar a capacidade adaptativa em mais de um nível. Shariatzadeh et al. (2021) desenvolveram um quadro analítico das dimensões e atributos da capacidade adaptativa às mudanças climáticas em três níveis (organizacional, social e individual), voltado para usuários do setor agrícola, partindo das dimensões propostas por Gupta (2010). A maioria das propostas de estudo neste campo dedicam-se ao uso da água por pequenos agricultores (Ambrosio et al., 2024).

Dilling et al. (2023) avaliaram a capacidade adaptativa em grandes sistemas hídricos de abastecimento urbano nos Estados Unidos somente sob a perspectiva de profissionais gestores, mas avançaram em um aspecto pouco abordado, em outros

estudos: a forma como o enfrentamento de uma seca pode contribuir para a capacidade adaptativa futura.

Aldunce et al. (2022) avaliaram as medidas de adaptação à seca no nível local, com o envolvimento de múltiplos atores (setor público, setor privado, sociedade civil) e diversos tipos de uso da água (agrícola, industrial, abastecimento público urbano e rural). Nessa pesquisa, utilizaram 14 variáveis para avaliar as medidas identificadas por meio de entrevistas com atores-chave da bacia. A avaliação foi feita por análise multicritério com os mesmos atores, que também indicaram os pontos fracos e fortes das medidas, além de fazerem recomendações para enfrentar as fragilidades encontradas. Deste modo, a pesquisa contribui para a compreensão de como operacionalizar a capacidade adaptativa na prática da gestão das águas.

A partir do estudo dos quadros analíticos brevemente apresentados aqui e outros listados no quadro (Quadro 4), concluímos que as dimensões: aprendizado, flexibilidade, participação, colaboração, liderança, poder e recursos são centrais para o êxito da implementação de medidas adaptativas duradouras.

Quadro 4 - Dimensões da capacidade adaptativa identificadas em *frameworks* aplicados para avaliação da capacidade adaptativa às secas

Autor / Dimensões	Aprendizado	Inovação	Preparação	Conhecimento	Experiência	Experimentação	Colaboração	Poder	Participação	Redes	Governança	Replicabilidade	Pertinência	Eficácia	Eficiência	Viabilidade	Continuidade	Beneficiários	Robustez	Flexibilidade	Equidade	Agência	Capital Natural	Liderança	Discurso	Recursos Humanos	Legitimidade	Acesso/Direitos	Recursos técnicos	Recursos financeiros	Infraestrutura	Regulatório	Instituições	Níveis decisórios	Incerteza	Motivação	Crença de adaptação				
Aldunce et al., 2016		1	1	1			1		1		1																														
Aldunce et al., 2021	1								1			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1																			
Ballester et al., 2016										1														1																	
Bettini et al., 2013	1	1					1	1			1											1	1	1	1																
Bettini et al., 2015	1			1			1	1		1	1											1																			
Clarvis e Engle, 2015			1	1			1																	1		1		1	1												
Dilling et al 2019														1	1				1	1	1					1															
Dilling et al., 2023	1						1		1												1																				
Du et al., 2018	1	1						1	1													1					1	1	1												
Engle 2012; 2013			1	1		1	1		1													1							1	1											
Engle e Lemos, 2010				1	1			1	1	1																1	1		1												
Grecksch, 2015	1					1			1		1													1		1			1										1	1	
Hill & Polsky, 2005																						1																			
Hurlbert e Gupta 2017; 2019	1										1										1				1			1	1												
Jones et al., 2010; 2017				1							1										1						1		1												
Matewos, 2019				1							1																1		1												
Palh-Hostl, 2009	1						1			1	1																														
Shariatzadeh et al., 2021	1										1																		1	1											
Welsh et al., 2013	1																					1																			
	10	3	3	7	1	2	7	4	7	4	9	1	1	2	2	1	1	1	2	6	3	5	2	7	1	3	4	3	3	9	4	4	4	4	1	2	1	1			

Fonte: A autora, 2025.

Legenda: Quando a dimensão da capacidade ou estratégia adaptativa (coluna) foi empregada pela pesquisa (linha) para avaliar a capacidade adaptativa, a célula recebeu o número 1. Na última linha aparece o somatório, isto é, em quantos *frameworks* a dimensão aparece. Nas colunas coloridas encontram-se as dimensões consideradas, nesta tese, como centrais para análise da capacidade adaptativa as secas e escassez hídrica. Assim, as colunas em rosa referem-se as concepções empregadas para a dimensão de aprendizado; em roxo trata-se de participação e colaboração; em cinza, liderança e poder; em verde, flexibilidade e; em amarelo, recursos.

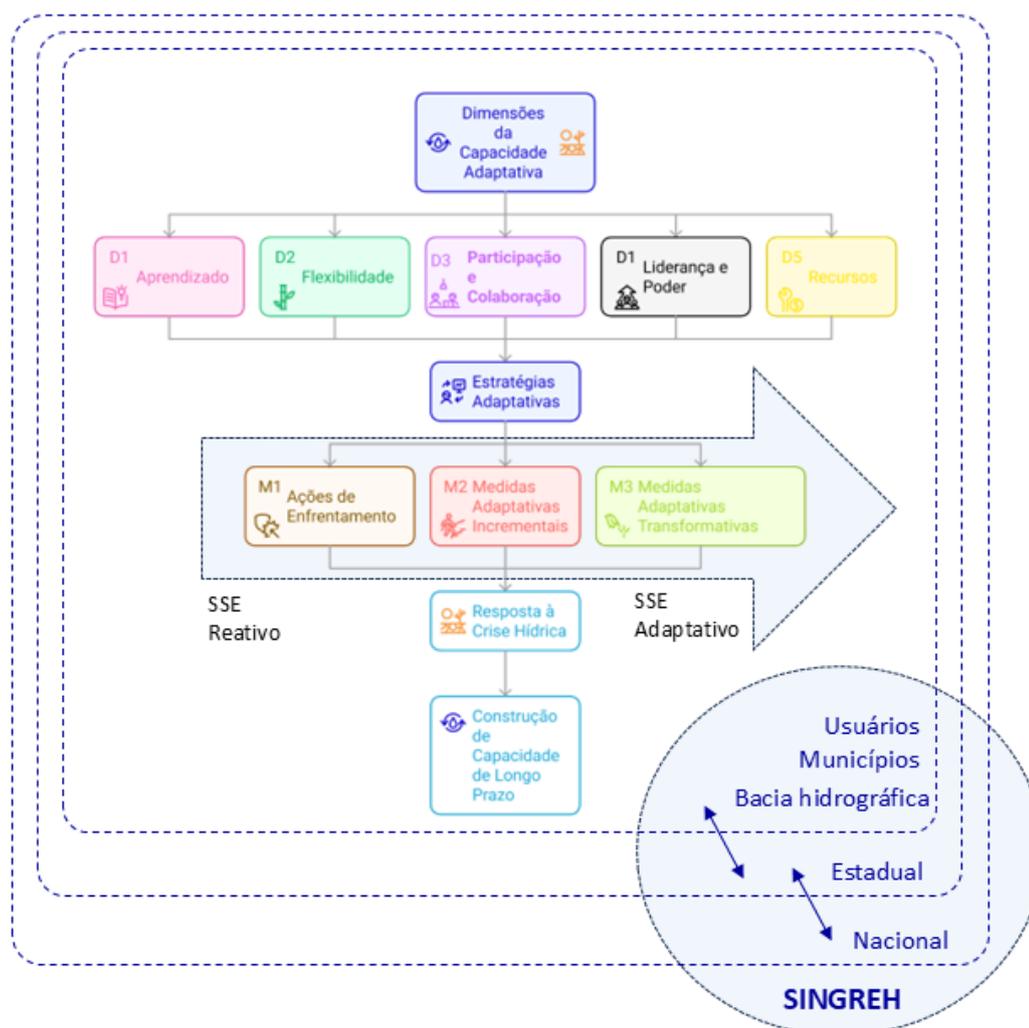
Assim, verifica-se que, embora haja esforços de investigação sobre a capacidade adaptativa às secas em diferentes frentes (níveis, tipos de uso da água, dinâmica adaptativa), ainda há necessidade de mais pesquisas, principalmente em grandes sistemas, que considerem múltiplos níveis e usos e, sobretudo, que explorem como a capacidade adaptativa mobilizada durante um evento de seca pode ser canalizada para uma adaptação transformativa, isto é, voltada para o futuro.

Diante desse cenário, esta tese propõe avançar no campo de estudos sobre capacidade adaptativa às secas em duas frentes. A primeira, com contribuições teóricas: desenvolver um quadro analítico para capacidade adaptativa multinível que de um lado considere as iniciativas dos setores usuários de água bruta, e de outro as instituições organizadas pelo SINGREH, aplicável a sistemas socioecológicos. Outra ambição metodológica desta pesquisa é de que o quadro analítico desenvolvido permita inferir como a capacidade adaptativa mobilizada em momentos de seca – por meio de medidas de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e transformativas – pode contribuir para aumentar a capacidade adaptativa futura. A segunda frente envolve contribuições para a gestão das águas, a partir da compreensão da capacidade adaptativa como uma prática, aplicando-o à Bacia do Rio Paraíba do Sul compreendida como um sistema socioecológico.

### **3.2 Quadro analítico da capacidade adaptativa institucional e local às secas e à escassez hídrica**

Com base nas revisões bibliográficas apresentadas nos capítulos anteriores, definimos cinco **dimensões** para avaliar a capacidade adaptativa de um determinado Sistema Socioecológico (SES) nas esferas institucional e local, as quais se interconectam de forma dinâmica. São elas: aprendizado; flexibilidade; participação e colaboração; liderança e poder; e recursos (Figura 12).

Figura 12 – Dimensões e estratégias adaptativas em Sistemas Socioecológicos



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: A capacidade adaptativa pode ser avaliada por meio da caracterização de suas dimensões, que são verificadas empiricamente por meio das estratégias adaptativas que o sistema dispõe para lidar com secas e escassez hídrica. Quanto mais o sistema socioecológico depende de ações de enfrentamento para gerir secas mais reativo ele é, ao passo que, o comprometimento com a construção de medidas adaptativas transformativas o prepara para absorver melhor os impactos.

A definição das dimensões partiu da verificação na literatura daquelas que eram mais empregadas, considerando a análise multinível que inclui usuários da água de múltiplos setores, e que permitissem a análise da construção gradual da capacidade adaptativa. Como já explicitado, foi necessário investigar diversos *frameworks* para abranger essa ampla gama de situações.

Além dessas dimensões, a capacidade adaptativa se concretiza por meio de três formas de materialização, denominadas nesta tese como **'estratégias**

**adaptativas**': ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e medidas adaptativas transformativas. Esta associação entre dimensões e estratégias permite estabelecer uma conexão temporal entre as respostas à seca e a construção de capacidade adaptativa de longo prazo. As dimensões propostas para avaliar a capacidade adaptativa, que se correlacionam entre si, influenciam tanto a forma como o sistema responde à crise hídrica quanto a construção (ou não) de sua capacidade de transformação e adaptação.

O quadro analítico que mais inspirou essa abordagem foi o desenvolvido por Dilling et al. (2023), que enfatiza a interação entre estratégias adaptativas e a evolução dos sistemas diante de eventos extremos.

Analisamos a capacidade adaptativa nos níveis local e institucional simultaneamente. Nas ciências políticas, o termo "institucional" refere-se a um conjunto amplo que engloba todos os atores envolvidos na governança da água, incluindo os usuários, além das regras e práticas formais e informais organizadas em multiníveis (local, bacia hidrográfica, estadual, regional, nacional e global) (Puga, 2018).

Nesta tese, no entanto, propomos uma distinção entre os níveis institucional e local, com o objetivo de reconhecer a importância dos atores inseridos na estrutura governamental para a gestão das águas (nível institucional) e destacar os setores usuários da água bruta (nível local).

O nível institucional envolve o sistema de gestão operativo, que empreende estratégias adaptativas pensando no coletivo, isto é, no atendimento aos usos múltiplos, encontra-se organizado em múltiplas escalas de atuação desde a bacia hidrográfica, passando pelos municípios, até estados e união, em resumo, na Bacia do Paraíba do Sul, o SINGREH.

Já o nível local refere-se às ações empreendidas pelo setor usuário que pode estar restrito à escala local ou organizado com influência em múltiplos níveis. Diferentemente de outros estudos que avaliam a capacidade adaptativa às secas, abordamos mais de um setor usuário, razão pela qual optamos por essa separação conceitual, a fim de evidenciá-los.

Para estabelecer a diferenciação com a expressão abrangência espacial, que aparece associada a caracterização das estratégias adaptativas (seção 3.2.2),

adiantamos que se trata da área na qual os efeitos de uma ação ou medida podem ser observados.

Assim, o conceito de nível institucional adotado aqui difere daquele empregado nas ciências políticas, ao mesmo tempo em que se aproxima da prática da gestão das águas no Brasil, onde o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) é considerado a estrutura de governança para esse fim. A estrutura do SINGREH na Bacia do Paraíba do Sul será explorada em maior profundidade no capítulo 4, mas cabe adiantar que seus atores dispõem de um conjunto de instrumentos, regras e práticas que visam promover a alocação de água entre os múltiplos usos, garantir o uso sustentável do recurso e prevenir eventos extremos. Esse sistema opera de forma articulada entre seus diferentes níveis: bacia hidrográfica, estadual e nacional.

Em nível nacional, a principal instituição, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), estabelece conexões com organizações globais para promover a sustentabilidade e a segurança hídrica. Os usuários participam do SINGREH por meio de instâncias criadas para fomentar sua atuação, como os conselhos e, sobretudo, os comitês de bacias e sub-bacias.

A distinção entre os **níveis institucional e local** na avaliação da capacidade adaptativa permite compreender como diferentes atores e escalas em interação contribuem para a resposta às secas e à escassez hídrica. Embora ambos os níveis busquem lidar com o mesmo fenômeno, suas abordagens e mecanismos de atuação diferem. Assim, a avaliação da capacidade adaptativa local se concentra em ações e medidas empregadas pelos usuários de água bruta para lidar com eventos extremos de seca. Já a capacidade adaptativa institucional está mais associada às regras, práticas e à própria governança e gestão das águas. O nível institucional opera em diferentes escalas de atuação (nacional, estadual e de bacia hidrográfica), influenciando diretamente as condições e oportunidades para a adaptação local.

Esses dois níveis interagem de diversas formas, por exemplo:

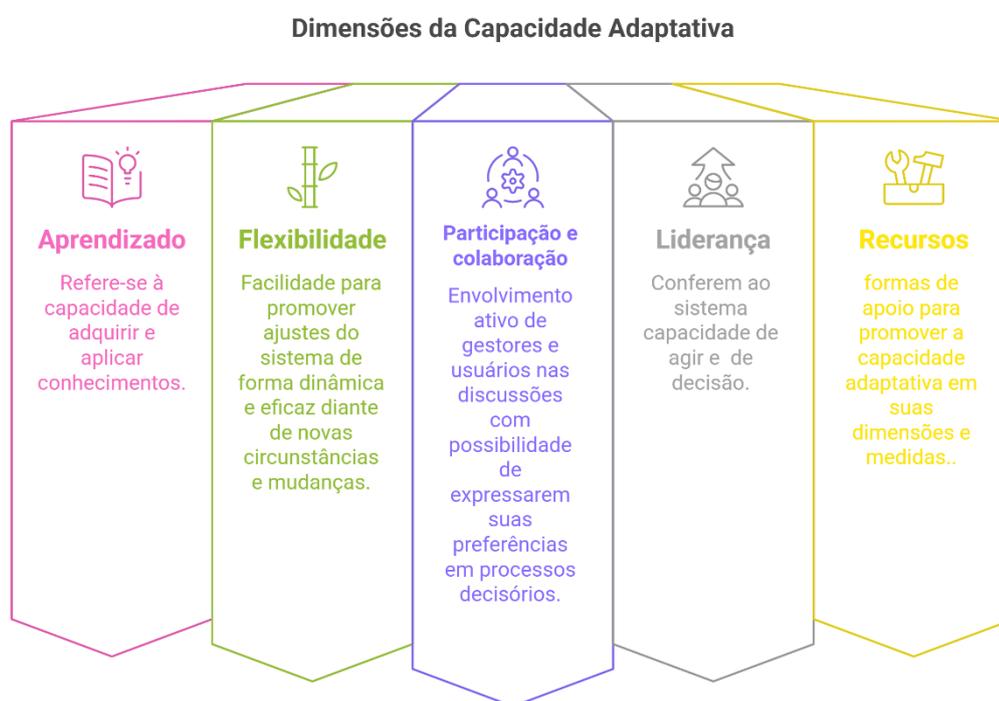
- (i) em fóruns onde os usuários podem expressar seus pontos de vista e interesses setoriais e coletivos;
- (ii) quando ações locais são estimuladas e ampliadas para abranger outras áreas da bacia, com apoio institucional;

- (iii) quando programas institucionais se debruçam na busca de soluções para problemas enfrentados no nível local.

### 3.2.1 Dimensões da Capacidade Adaptativa que caracterizam um sistema socioecológico como adaptativo

Conceituamos e explicamos a seleção de cada uma das cinco dimensões da capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica: aprendizado; flexibilidade; participação e colaboração; liderança e poder; e recursos (Figura 13).

Figura 13 - Dimensões da Capacidade Adaptativa



Fonte: A autora, 2025.

#### *Aprendizado (D1)*

O aprendizado social envolve a interação entre diferentes atores (Folke et al., 2005). Como uma dimensão da capacidade adaptativa, o aprendizado refere-se à habilidade do sistema socioecológico de produzir e aplicar novos conhecimentos às estratégias adaptativas. Os conhecimentos podem ser adquiridos por meio do

levantamento de informações relevantes e acesso a elas, da reflexão da prática, com base em experiências anteriores e a partir de conhecimentos oriundos dos diversos atores (Pahl-Wostl et al., 2007).

O processo de aprendizado, de acordo com Huntjens et al. (2011), na gestão de bacias hidrográficas para o enfrentamento de riscos climáticos, pode se dar em ciclos simples, duplo e triplo, que se diferenciam pelos níveis de intensidade e abrangência (Pahl-Wostl, 2009). A diferenciação e progressão do aprendizado em ciclos pode ser empregada para distinção entre capacidade adaptativa incremental e transformativa (Bettini et al., 2015).

De acordo com Pahl-Wostl (2009), o aprendizado de ciclo único tem como foco a melhoria das ações e medidas existentes sem questionar as regras e práticas que organizam o sistema. De um modo geral não repercute em mudanças na estrutura de gestão estabelecida, mesmo que as ações e medidas já não se mostrem efetivas diante do contexto novo de seca e escassez hídrica (Bettini et al., 2015). Esse tipo de aprendizado é caracterizado pela resolução de problemas *ad-hoc* e, portanto, raramente levará o sistema a mudanças transformativas (Huntjens et al., 2011). Assim, o aprendizado de ciclo único pode ser relacionado as medidas de enfrentamento.

O aprendizado de ciclo duplo permite reorientar objetivos (Bettini et al., 2015). O questionamento das regras e práticas fazem parte da criação de novas abordagens e soluções (Pahl-Wostl, 2009), e neste caso pode envolver mudanças incrementais na gestão.

O ciclo triplo envolve mudanças profundas em processos de regulamentação, gestão e governança a partir de um processo avaliativo da adequação às condições impostas por mudanças e das respostas provenientes das interações entre os subsistemas (Bettini et al., 2015). Aborda, portanto, causas profundas da vulnerabilidade do sistema socioecológico em busca da adaptação transformadora.

A capacidade de experimentação assume relevância em processos de medidas incrementais e transformativas, (UKCIP, 2015; Engle e Lemos, 2010) e relacionam-se diretamente com a flexibilidade do sistema para permitir alterações desde as mais simples em sua operação. No nível do usuário, o aprendizado e a inovação (Jones et al., 2019) dependem de fatores como o acesso contínuo à informação (Minucci, 2016), e estão relacionados à tomada de consciência do valor da água, à implementação de

estratégias de uso sustentável da água na busca de inovação em processos produtivos. A existência de informações, bem como a capacidade de interpretá-las para percepção das interações colabora para a tomada de decisão baseada em evidências em sistemas de governança adaptativa (Bettini, 2015; Engle, 2015). Portanto, a produção de informações e conhecimento, bem como seu intercâmbio entre os diversos atores envolvem o nível de usuário de água bruta e os agentes constituintes do SINGREH em seus múltiplos níveis promovendo a aprendizagem e a inovação em sistemas complexos.

Assim a observância dos ciclos de aprendizagem nas estratégias adaptativas permite associá-los para qualificar a capacidade adaptativa para o enfrentamento, adaptação incremental e transformativa.

No entanto, a abordagem do aprendizado classificado em ciclos ainda é de difícil compartimentação na prática. O que os estudos tem demonstrado inequivocamente é a importância do aprendizado para o processo adaptativo (Bettini et al, 2015; Phuong et al., 2017) e para compreensão do aprendizado a um ponto que permita a formulação de orientações significativas para gestão das águas (Pahl-Wostl, 2009). O aprendizado é essencial para governança e gestão sistemas adaptativos complexos e para se realizar necessita de estruturas específicas como formas de cooperação integradas e gerenciamento de informações avançado para alcançar ciclos mais elevados de aprendizado (Huntjens et al., 2011).

Com esta compreensão, para analisar esta dimensão, observamos alguns indicadores qualitativos como o fluxo das informações do produtor ao usuário passando pela contribuição para tomada de decisão, o produtor da informação (monitoramentos e modelagens hidrológicas e climáticas). Deste modo, quando o fluxo das informações tem uma estrutura que permite a fluidez e agilidade do compartilhamento e são importantes para tomada de decisão informada, estamos diante de um aprendizado transformativo que pode contribuir para mudanças profundas na governança da bacia.

Outra vertente do aprendizado pode associar o aprender fazendo, experimentando alternativas aos problemas inéditos com possibilidades de inovação tecnológicas e de processos de operação e gestão. Por outro lado, as lacunas de informação, não aproveitamento da informação nos processos decisórios, podem neste caso denotar fragilidades da capacidade adaptativa do sistema.

Para ilustrar, no estudo de caso apresentado a seguir, o Sistema Hidráulico Paraíba do Sul – Guandu (SHPSG), as informações fornecidas por usuários que observavam e relatavam o nível e o tempo de chegada da água em seus pontos de captação, correspondentes às diferentes vazões liberadas dos reservatórios, podem ser utilizadas para ajustar a programação diária da operação. Para isso, é essencial que o fluxo de compartilhamento dessas informações esteja bem definido, possibilitando um aprendizado que se relacione a medidas adaptativas incrementais, desde que direcionado à formulação de novas soluções.

Os artigos enfatizam que o aprendizado não garante resultados sustentáveis, mas a troca de conhecimento dentro de um sistema de governança é crucial para o processo de adaptação (Huntjens et al., 2011). Novas informações e experiências podem ser empregadas para melhorar a flexibilidade institucional e dos usuários, pois fornecem bases seguras para ajustar processos e regras (Pahl- Wostl, 2009).

### *Flexibilidade (D2)*

Flexibilidade refere-se às possibilidades de alterações em regras e práticas de gestão e alocação das águas ainda que em momentos de seca em resposta às mudanças (Adger et al., 2005) em um processo iterativo, isto é, confere a possibilidade de ajuste com base no resultado de uma estratégia adaptativa executada. Percebe-se a relevância da flexibilidade do sistema a partir do entendimento que não se pode ter o controle de tudo diante das incertezas (Aldunce et. al., 2022). De modo simplificado, pois a flexibilidade não é a única dimensão que pode tornar o sistema mais adaptativo, quanto maior a flexibilidade do sistema de gestão da bacia hidrográfica, maior a capacidade adaptativa (Engle e Lemos, 2010). Em oposição à flexibilidade está a rigidez, quando ocorre a limitação da mudança necessária devido a conflitos ou indisponibilidade de informações e recursos técnicos e financeiros.

A transversalidade da flexibilidade com a participação e a colaboração tem o potencial de prover soluções criativas a partir de uma multiplicidade de perspectivas oriundas, justamente da diversidade de atores do sistema, inclusive sobre as mudanças climáticas e seus efeitos. A participação colabora, portanto, para aumentar o repertório de possibilidades de adaptação, à medida que também amplia a inclusão

da incerteza dos prognósticos quanto aos impactos dos eventos extremos (Gupta et al., 2010)

A flexibilidade reflete em ações que envolvem discussões políticas, passando pela comunicação e também ações que dependem da implantação de estruturas físicas. Em seus estudos sobre como as mudanças climáticas afetam os recursos hídricos, a ANA (2016) aponta que a flexibilidade pode ser alcançada por meio de ações estruturais e não estruturais, e cita como exemplos a realocação de água de forma ágil em anos secos, sistemas alternativos para oferta hídrica (tais como, reuso e dessalinização), boa capacidade de transporte espacial da água disponível (infraestrutura adequada).

Outros exemplos de flexibilidade em sistemas hídricos são: conforme verificados por Clarvis e Engle (2015) mecanismos de resolução de conflitos acessíveis, expeditos e eficazes; provisões e prioridades equitativas; iteratividade em leis, planos e instituições para lidar com a incerteza (Clarvis e ALLAN, 2014).

Não delimitamos indicadores específicos para cada tipo de estratégia adaptativa, pois a implementação de cada uma delas depende da flexibilização das regras, práticas e usos da água já estabelecidos. Ao invés disso, aplicou-se a percepção apontada por Engle (2015), uma oposição: flexibilidade versus rigidez. Quanto mais flexível mais adaptativa, quanto mais rígido mais vulnerável ou menos adaptativo.

Os marcadores da flexibilidade buscados na análise dos documentos denotam agilidade/entraves de alteração de ações no enfrentamento durante a crise hídrica e no estabelecimento de medidas mais duradouras. Além disso, a observância da dinâmica entre cheias e secas (que são inerentes a bacias hidrográficas situadas em regiões de climas úmidos) para criar estratégias adaptativas demonstram a flexibilidade do sistema.

Em suma, a flexibilidade se destaca como uma dimensão essencial da capacidade adaptativa por facilitar os ajustes do sistema de forma dinâmica e eficaz diante de mudanças como secas e escassez hídrica.

### *Participação e colaboração (D3)*

A participação está associada às oportunidades adequadas e igualitárias para que as partes envolvidas contribuam com as questões em discussão e expressem preferências durante os processos de tomada de decisão (GWP, 2020). O estabelecimento da pauta de discussão, em geral está sob domínio das lideranças. A colaboração entre atores envolvidos na gestão deve se dar em diversos níveis e processos para a coordenação no planejamento de seca, inclusive com outros setores, ao mesmo tempo que as instituições devem estimular e acolher a participação ativa de atores locais (Engle 2012; 2013). Desse modo, participação e colaboração formam uma única dimensão, uma vez que uma estimula o desenvolvimento da outra.

Em nível local, a participação e a colaboração estão associadas a dimensão aprendizado, bem como, a comunicação e a conscientização (Grecksch, 2015). Quanto a transversalidade com a dimensão aprendizado, a participação e a colaboração promovem a troca de conhecimentos e a construção de consenso Pahl-Wostl et al (2007). Um exemplo é a construção de dados e informações sobre o sistema que possibilita a participação mais ativa de atores locais, que podem contribuir para obtenção de dados que necessitem da observação in loco, como os impactos da seca.

No Brasil, os Conselhos Nacional e Estaduais de Recursos Hídricos juntamente aos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) são os principais espaços de promoção da participação e apoio a gestão descentralizada, de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). O comitê de bacia hidrográfica atua no nível local de bacias hidrográficas e sub-bacias. A integração promovida nos espaços de discussão dos CBH é especialmente relevante em bacias compartilhadas, uma vez que as ações e medidas implementadas em uma depende ou interfere na outra bacia. As câmaras e grupos técnicos são estruturas relevantes para discussão de assuntos específicos com rigor técnico. Grupos de trabalho interinstitucionais, a fim de fomentar a integração, onde a participação de usuários e atores da sociedade civil não compõem o núcleo do grupo, visam uma discussão técnica e política, costumam oferecer transparência pública com transmissões ao vivo, como é o caso da GAOPS, já o GTAOH divulga as atas de reunião.

A colaboração se refere a junção de atores para criação de informações e estratégias, elaboração de estudos técnicos, avaliação de intervenções, implementação de medidas. A colaboração relaciona-se diretamente aos recursos técnicos e financeiros. Exemplo disso é quando o órgão doa um equipamento ou treinamento e outro opera, como ocorreu para as adaptações de captações no leito do Paraíba do Sul. Ou equipamentos para monitoramento da qualidade da água de propriedade da ANA operados pelo INEA, entre outros exemplos.

No caso das secas e escassez hídrica para todo o Brasil, o Monitor de secas, é um caso de sucesso de estrutura institucional de colaboração técnica. Coordenado pela ANA, é de responsabilidade dos estados integrantes elaborarem seus mapas de secas e impactos e em esquema de rodadas, consolidar as informações para toda a área abrangida pelo monitor para publicação mensal no site, que é de acesso público e gratuito.

Os indicadores empregados para verificar o quanto a dimensão participação e colaboração potencializam a direção mais adaptativa do sistema são: colaboração entre atores multinível (consolidação de procedimentos de integração, colaboração para construção e disseminação de informações); existência de espaços destinados a participação de múltiplos atores; existência de canais de comunicação e escuta de setores usuários.

#### *Liderança e poder (D4)*

A liderança está mais associada a capacidade de agir e o poder à capacidade de decisão (Bettini et al., 2015). São dimensões fortemente relacionadas à coordenação dos trabalhos multinível, que são exigidos para a construção da capacidade adaptativa do sistema socioecológico por meio de estratégias adaptativas (UKCIP, 2015).

A liderança tem papel fundamental na capacidade adaptativa incremental e transformativa à medida que conduz o trabalho cotidiano em coordenação com metas e objetivos de longo prazo para enfrentar as condições futuras e incertezas ao considerar múltiplas opções, que tornam o sistema mais flexível (UKCIP, 2015). Isso, obviamente requer lideranças alinhadas com estes valores. Geralmente é exercida

por profissionais experientes em cargos-chave e com autonomia (Clarvis e Engle, 2015)

Localmente, lideranças com capacidade de comunicar e disseminar as ideias de modo claro, contribuem para maior confiança e legitimidade das ações e medidas adaptativas oriundas de gestores ou de usuários, além da conscientização mais ampla das questões da água.

O poder pode ser observado pela capacidade de indivíduos de dominar discussões e processos decisórios. No nível institucional, o poder se manifesta de forma mais estrutural para influência de instituições, produção de conhecimento, estabelecimento de regras e práticas de regulação do uso da água (Macpherson et al., 2024). Pahl- Wostl et al. (2013) argumenta que a própria governança das águas é moldada pelas dinâmicas de poder, que em última instância, moldam a vida cotidiana das pessoas, uma vez que os componentes sociais dos sistemas socioecológicos desenvolvem relação de dependência com os componentes naturais. Macpherson et al. (2024) destacam que para avançar para uma governança da água<sup>9</sup> transformadora, capaz de lidar com as mudanças e incertezas, é crucial aumentar a visibilidade das dinâmicas de poder, e também dos desajustes de escala<sup>10</sup>.

A correlação de forças desiguais, especialmente em bacias hidrográficas compartilhadas e fortemente pressionadas por usos múltiplos, exerce uma influência determinante sobre a tomada de decisão para execução de estratégias adaptativas, independentemente de seu tipo. Medidas adaptativas transformativas, por terem maior abrangência e durabilidade, podem gerar perda de poder para alguns atores ao promover mudanças profundas no *status quo*. Consequentemente, mobilizam mais poder e liderança do que medidas incrementais, que são menos invasivas, ou ações de enfrentamento, que tendem a ser mais temporárias. Importante perceber que medidas transformativas tem maior potencial de causar conflitos pelo uso da água mais complexos de resolver e que precisarão de forte apoio técnico.

---

<sup>9</sup> “Governança da água é o conjunto interconectado de elementos políticos, sociais, econômicos e administrativos que desempenham a função de governança da água. Esses elementos abrangem as instituições, bem como os atores e suas interações.” (Macpherson et al., 2024). Tradução direta.

<sup>10</sup> Escala refere-se “as dimensões espaciais, temporais, temáticas e organizacionais dos processos dos sistemas hídricos.” (Macpherson et al., 2024). Tradução direta.

A articulação entre a dimensão liderança e poder e as estratégias adaptativas leva em conta a temporalidade e abrangência das medidas e atenta aos dois destaques de Moore et al. (2014) quanto as questões de poder: as relações de poder desiguais podem dificultar mudanças mais significativas ou impulsioná-las; as decisões unilaterais de atores mais poderosos devem ser evitadas.

Assim, procuramos indicadores da existência de lideranças locais com boa capacidade de comunicação entre os usuários dos recursos hídricos e lideranças de organizações do SINGREH comprometidas no discurso e na ação com a implementação de medidas adaptativas e inserção da incerteza nos estudos voltados para construção dessas estratégias. Além de considerar temporalidade e abrangência das alterações promovidas nas regras e práticas do sistema.

### *Recursos (D5)*

Recursos são essenciais na prática da gestão para apoiá-la nas mais diversas situações, inclusive para o apoio estratégico a fim de impulsionar mudanças em práticas da gestão, podendo influenciar na adoção de estratégias adaptativas (Betinni et al. 2015). O apoio inclui desde recursos técnicos, financiamento, apoio gerencial ou organizacional para inovações (Lonsdale et al., 2015).

Consideramos como parte dos recursos os orçamentos direcionados para formulação e implementação de medidas adaptativas e também para o aprimoramento de outras dimensões da capacidade adaptativa. Por exemplo, a aquisição e instalação de equipamentos de monitoramento, apoio para produção e disseminação de informações, construção de estruturas físicas de redundância ou flexibilidade de condições para captação de água. Recursos técnicos incluem por exemplo, o empréstimo de equipamentos, como bombas e tratores entre instituições, ou ainda, a assessoria de uma pessoa com formação técnica ou experiência em determinado contexto do enfrentamento de uma crise hídrica. Na Bacia do Paraíba do Sul, as visitas de diagnóstico das captações municipais para abastecimento público realizadas por agentes dos organismos de bacia e órgãos gestores são um exemplo de apoio técnico interinstituições, inclusive setor usuário. Como se ilustra com esses exemplos, os recursos referem-se a uma ampla gama de formas de apoio para promover a capacidade adaptativa em suas dimensões e medidas. Utilizamos uma

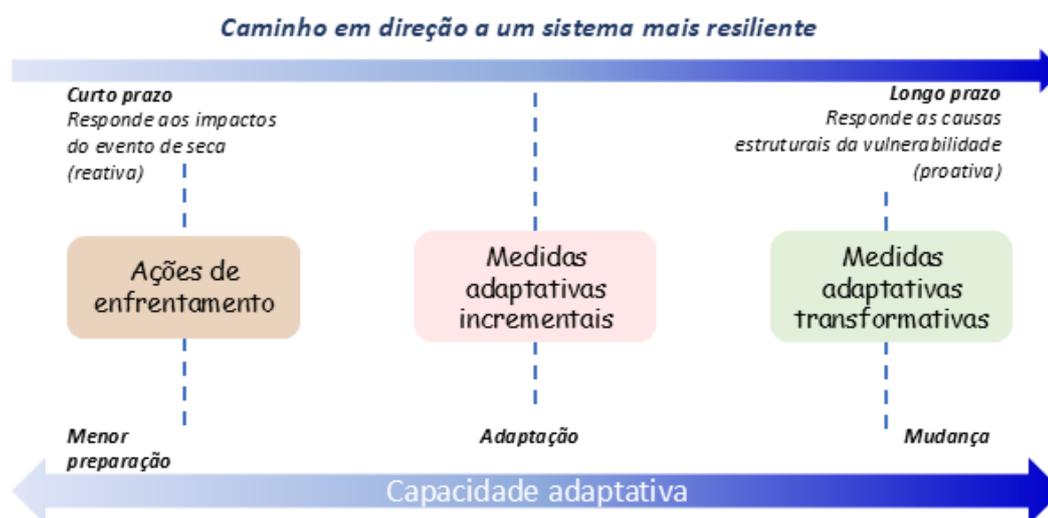
subdivisão na dimensão de recursos: financeiros, técnicos e outros recursos, uma vez que estas se apresentam durante a leitura dos documentos.

Os indicadores selecionados para qualificar recursos são: disponibilidade de recursos financeiros e técnicos para condução de estudos, planejamento e aplicação de medidas e ações de adaptação; disponibilização de apoio técnico à usuários; e incentivos à usuários para implementação de medidas adaptativas.

### 3.2.2 Mobilização das dimensões para criação e execução de estratégias adaptativas em sistemas socioecológicos

Consideramos um continuum temporal, no qual as estratégias adaptativas são classificadas em ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e medidas adaptativas transformativas (Figura 14).

Figura 14 - Estratégias adaptativas: ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e transformativas



Fonte: A autora, 2025.

Essa classificação possibilita compreender, de forma mais aprofundada, o processo construtivo da capacidade adaptativa no sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul, a partir da instrumentalização dos conceitos das **estratégias adaptativas**. As ações de enfrentamento da crise hídrica vivenciada entre 2014-2016 são entendidas como medidas imediatas voltadas para a gestão da crise.

Medidas adaptativas incrementais provocam mudanças com repercussões futuras sobre a capacidade adaptativa do sistema. Por exemplo, ao promover

adaptações que permitem a captação de água mesmo com o nível do rio mais baixo em consequência de uma seca; no caso de rios regularizados, como o Paraíba do Sul, essa adaptação é geralmente combinada com as regras de operação dos reservatórios da bacia vigentes para aquele nível de seca. No entanto, medidas incrementais buscam manter funcionamento do sistema para atender aos usos múltiplos da água sem provocar alterações profundas no status quo. De certa forma, são medidas conservadoras, que exigem menos discussão para sua implementação e apresentam baixo potencial de gerar conflitos.

As medidas transformativas, nesta classificação das estratégias adaptativas, implicam em mudanças com repercussões profundas sobre a gestão dos recursos hídricos. Por isso, demandam maior esforço para sua implementação e têm maior potencial de gerar conflitos entre os interesses de diversos atores e setores usuários de água daquela bacia.

A **classificação das estratégias adaptativas como temporais** baseia-se no momento em que cada medida tem maior possibilidade de ser planejada e implementada. Ações de enfrentamento são empregadas em momentos de crise e sempre poderão ser necessárias, mesmo em sistemas socioecológicos considerados mais adaptativos, pois há um grau inerente de incerteza na gestão desses sistemas, que precisam se ajustar constantemente a novas condições, em contínua adaptação.

Medidas adaptativas incrementais podem ser planejadas e implementadas em momentos de crise ou de enfrentamento de um evento extremo de secas e escassez hídrica. No entanto, em geral, elas permanecem ativas mesmo após o período mais crítico e melhoram a capacidade do sistema em minimizar eventuais impactos futuros. Essas medidas também podem ser pensadas no pós-crise, em planejamentos específicos para secas e escassez hídrica, tendo como referência uma abordagem proativa de gestão de secas (OMM e GWP, 2014; De Nys, Engle e Magalhães, 2016).

Por sua vez, medidas adaptativas transformativas demandam maior esforço de negociações e acordos entre os atores, demandam mais recursos para sua implementação e, por serem mais complexas, exigem um tempo maior para serem elaboradas e executadas. No entanto, são os tipos de medida que mais dependem da janela de oportunidade criada pela crise hídrica. Seu aproveitamento dependerá da forma como os gestores e outros atores com liderança e poder de influência percebem o problema e defendem soluções inovadoras.

De modo resumido, o quadro analítico desenvolvido para este estudo visa avaliar qualitativamente a capacidade adaptativa local e institucional às secas e à escassez hídrica, considerando os seguintes aspectos:

- **Natureza das Secas e da Escassez Hídrica** - A seca é determinada pelas condições climáticas locais e pode ter diferentes impactos (meteorológicos, hidrológicos, etc.), enquanto a escassez hídrica resulta de um desequilíbrio entre oferta e demanda de água bruta, em quantidade e/ou qualidade, influenciado por fatores naturais e ações humanas nos sistemas socioecológicos.
- **Gestão e Crises Hídricas** - Crises hídricas emergem da interação entre seca, escassez hídrica, demanda por água e decisões de gestão e (re)alocação de água, muitas vezes moldadas por interesses de setores mais influentes. No entanto, essas crises também podem criar oportunidades para transformações na gestão de recursos hídricos, especialmente quando há apoio político e engajamento público.
- **Capacidade Adaptativa e Resiliência** - Desenvolver estratégias adaptativas baseadas nas dimensões e elementos da capacidade adaptativa é crucial para reduzir a vulnerabilidade de sistemas socioecológicos e aumentar sua resiliência frente às secas e eventos extremos futuros.

Assim, utilizando este quadro analítico como uma “lente”, aplicamos sua estrutura ao estudo de caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul e analisamos a capacidade adaptativa às secas e escassez hídrica nos níveis local e institucional.

Articular as estratégias adaptativas às dimensões da capacidade adaptativa é um passo importante para instrumentalizar e colocar em prática a teoria sobre capacidade adaptativa em sistemas socioecológicos de bacias hidrográficas. Embora essa teoria seja bastante discutida no meio acadêmico desde os anos 2000, sua implementação ainda enfrenta barreiras significativas, que vão desde divergências no entendimento do conceito até, e principalmente, desafios sobre como articular teoria e prática. Isso se deve, em parte, à dificuldade de abraçar as incertezas impostas pelas mudanças climáticas nos processos de gestão (Hill, 2014). Afinal, para quais ameaças e riscos o sistema precisa se preparar? Essa reflexão aparece inúmeras

vezes, sobretudo quando não há mais justificativas para ignorar que o clima está mudando e que os meios de monitoramento em tempo real dessas mudanças ainda são limitados.

Buscamos nos aproximar da articulação entre teoria e prática ao analisar as dimensões da capacidade adaptativa no contexto das estratégias adaptativas. Ao posicionar os sistemas socioecológicos de bacias hidrográficas em um continuum de construção de capacidade adaptativa para secas e escassez hídrica, podemos, teoricamente, identificar três perfis distintos (Figura 15):

- **Sistemas socioecológicos com capacidade de enfrentamento, ou menos preparado** → Implementam medidas de enfrentamento e se mobilizam, inclusive coletivamente, em momentos de secas e escassez hídrica, mantendo as funções do sistema, como o abastecimento público e os usos múltiplos da água, mesmo com dificuldades nos processos cotidianos. No entanto, as ações são interrompidas quando os níveis de disponibilidade hídrica retornam ao normal e o nível dos reservatórios são reestabelecidos. As medidas de enfrentamento, em geral, focam na resolução dos problemas imediatos, identificados naquele momento, sem necessariamente considerar ou se preocupar com as causas.

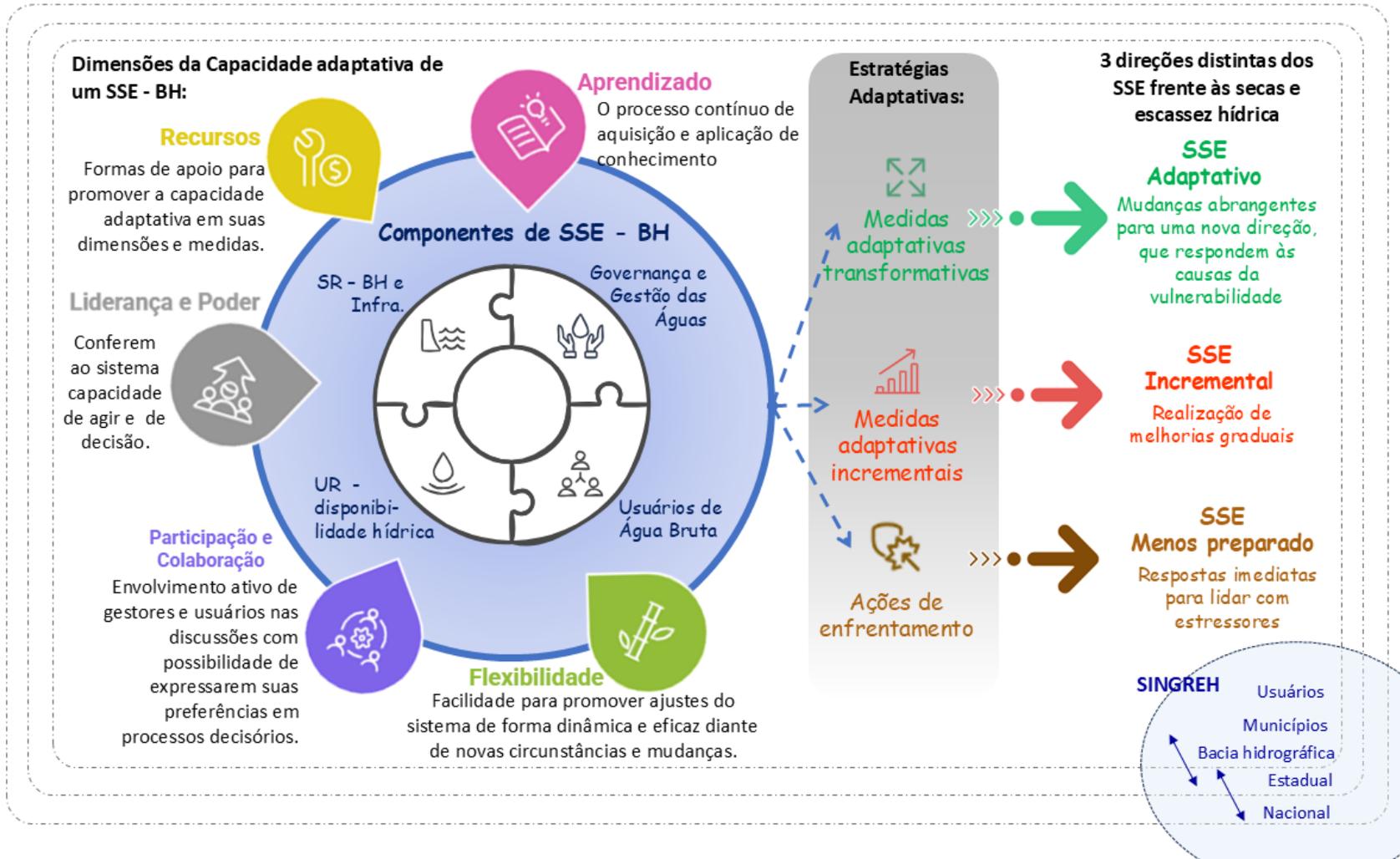
- **Sistemas socioecológicos incrementais** → Implementam medidas de enfrentamento em conjunto com medidas incrementais que promovem melhorias contínuas, provenientes da evolução do aprendizado. Essas medidas são mantidas e reduzem a vulnerabilidade dos usuários e dos processos de gestão diante de secas e escassez hídricas semelhantes às já vivenciadas. Contudo, as mudanças alcançadas geralmente não alteram as relações de poder existentes.

- **Sistemas socioecológicos adaptativos** → Demonstram grande capacidade de adaptação a eventos extremos, especialmente aqueles associados à redução drástica e prolongada dos índices pluviométricos e fluviométricos. Esses sistemas incorporam incertezas climáticas e socioeconômicas em seus processos de gestão e se antecipam às ameaças e riscos, ao implementarem um conjunto de estratégias adaptativas capazes de reduzir vulnerabilidades e retroalimentarem medidas adaptativas consistentes para assegurar os serviços ecossistêmicos e os processos naturais da bacia hidrográfica. O aprendizado é contínuo e alimenta o desenvolvimento da flexibilidade do sistema, enquanto as relações de poder são mais equilibradas e orientadas para a proteção de interesses comuns. Nesse contexto, as

lideranças são comprometidas com a implementação de medidas adaptativas, garantindo a alocação de recursos mesmo na ausência de uma ameaça iminente, reconhecendo que o sistema socioecológico está diante de uma nova realidade dominada por incertezas quanto à intensidade e duração de eventos futuros de seca. A participação e a colaboração são mobilizadas para manter o equilíbrio do poder e incorporar novos conhecimentos e inovações, aproveitando a diversidade de visões e experiências.

Em resumo, sistemas socioecológicos em trajetória adaptativa mobilizam as cinco dimensões da capacidade adaptativa local e institucional às secas e escassez hídrica no desenho, desenvolvimento e implementação de um conjunto de estratégias adaptativas que incorporam as incertezas, promovem o aprendizado e fortalecem a flexibilidade do sistema socioecológico de bacias hidrográficas como um todo e em profundidade (Figura 15).

Figura 15 - Quadro analítico da capacidade adaptativa institucional (SINGREH) e local (usuários) às secas e a escassez hídrica



Fonte: A autora, 2025.

#### **4 CAPACIDADE ADAPTATIVA INSTITUCIONAL E LOCAL ÀS SECAS E À ESCASSEZ HÍDRICA DO SISTEMA SOCIOECOLÓGICO DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL**

Neste capítulo, organizado em seis seções, aplicamos o quadro analítico ao estudo de caso. Inicialmente, os componentes do Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul foram definidos e caracterizados (4.1). Na sequência descrevemos como se deu a tomada de consciência da crise hídrica e seu enfrentamento (4.2). Em seguida, classificamos e analisamos as estratégias adaptativas adotadas durante a crise hídrica 2014-2016 (4.3) e no período pós-crise (4.4). Cada momento tem fontes específicas de informações como já explicitado na metodologia e citado novamente nos respectivos itens a seguir. Incluímos uma síntese das estratégias adaptativas do período pós-crise, já adiantando as dimensões da capacidade adaptativa observadas durante esta análise (4.4.4). A análise das dimensões da capacidade adaptativa e como elas moldam as estratégias na seção 4.5 é feita separadamente, mas sem perder de vista a transversalidade entre elas.

##### **4.1 A Bacia do Paraíba do Sul como um sistema socioecológico e a gestão de suas águas em situações de secas e escassez hídrica**

A delimitação de um sistema socioecológico (SSE) depende da compreensão dos elementos que o compõem, bem como das interações que ocorrem entre eles. As bacias hidrográficas já fazem sentido por si só para análise dos elementos naturais, e mais que isso, nos permite compreender os resultados de interações decorrentes das intervenções promovidas pela componente social, inclusive a pressão sobre os recursos hídricos pelos usos múltiplos das águas e alterações de uso do solo (Porto e Porto, 2008), ambos com influência sobre a escassez hídrica. Assim, podemos dizer que o sistema socioecológico é composto pela bacia hidrográfica, os usuários das águas e as regras, práticas e organizações que regulam e fiscalizam os usos. A delimitação territorial do SSE de uma bacia hidrográfica, pode ir além dos limites da conformação topográfica, pois depende da existência de estruturas que façam a

interligação entre bacias e usuários externos, isto é, da distribuição espacial das fontes de água e dos usuários dependentes (Sapountzaki e Daskalakis, 2018).

Pela própria natureza dos sistemas socioecológicos, sua delimitação não se restringe aos elementos naturais, mas dependendo das interações com os elementos do subsistema social, seu recorte espacial pode ultrapassar os limites físicos naturais da bacia hidrográfica. As forças das relações internas entre componentes e com as forças das relações externas nos permitem perceber a unidade dinâmica do sistema socioecológico e seus limites, neste caso, capacidade de atendimento a demanda por água para usos múltiplos e meio ambiente. A observação dessas relações em uma bacia hidrográfica é direta pois se dá entre os subsistemas e suas variáveis internas (Ostrom, 2009).

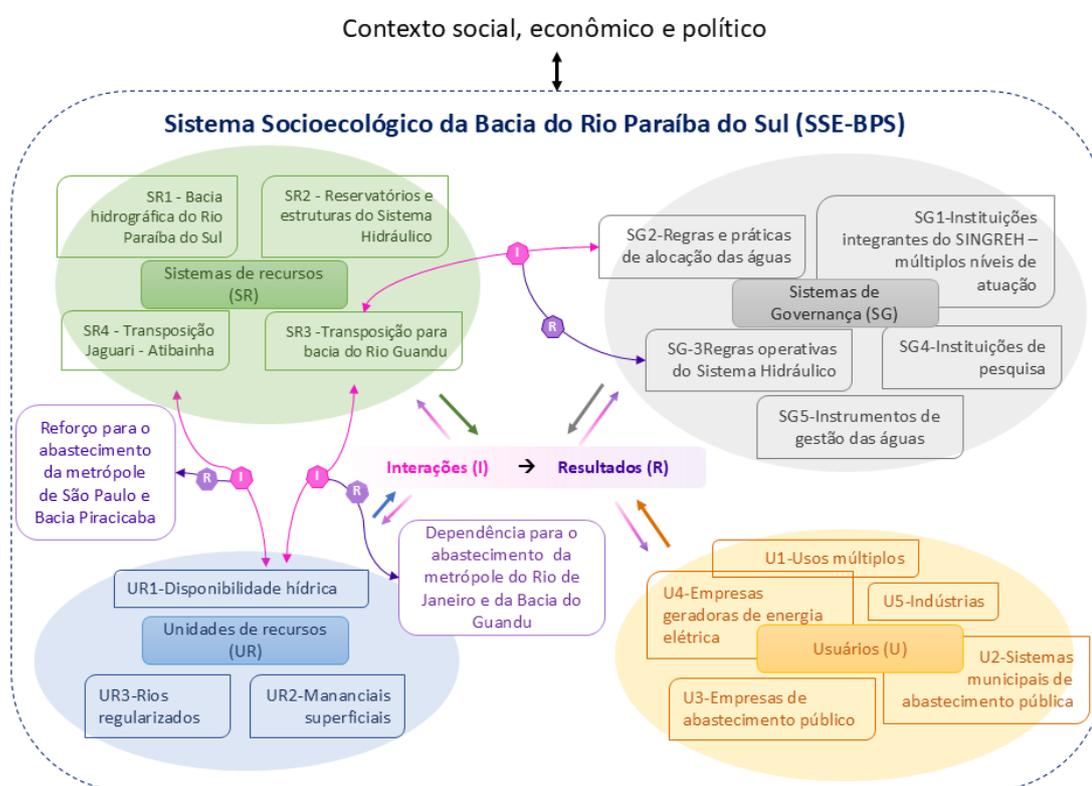
De acordo com o *framework* de Ostrom (2009), os sistemas socioecológicos são compostos por quatro subsistemas: sistemas de recursos (SR), unidades de recursos (UR), usuários e sistemas de governança. Ao transferir e adequar esta estrutura para o estudo de caso proposto na tese, temos (Figura 16):

- i. **Sistema de recursos (SR):** refere-se ao recorte territorial da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul que compreende as sub-bacias drenantes ao Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu (SHPSG), para atender a demanda de usuários da própria bacia e usuários externos aos limites da bacia (transposições para as bacias do rio Guandu e do rio Piracicaba). A bacia do rio Guandu está incluída neste recorte territorial devido à magnitude da transposição, à profunda dependência de seus usuários (especialmente a metrópole do Rio de Janeiro) e a sua influência na operacionalização das regras operativas. A bacia do rio Piracicaba também é considerada parte do sistema de recursos por ser hidraulicamente conectada à Bacia do Rio Paraíba do Sul.
- ii. **Unidades de recursos (UR):** refere-se à disponibilidade hídrica gerida pelo Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu, que incluiu os mananciais superficiais, rios regularizados (rios Paraíba do Sul e Guandu), reservatórios e demais estruturas do SHPSG, incluindo as duas transposições.
- iii. **Usuários:** este componente abrange os usuários de água do sistema socioecológico, particularmente aqueles diretamente dependentes da disponibilidade hídrica gerida pelo Sistema Hidráulico. Isto inclui os usos

múltiplos das águas, principalmente os setores de geração de energia, de abastecimento público e industrial.

- iv. **Sistema de governança:** este componente consiste nas agências e regras que regulam a alocação da água entre os usuários do sistema socioecológico, em particular do SHPSG. Nesta tese, empregou-se as organizações, regras e práticas estabelecidas e organizadas no Sistema de Gerenciamento das Águas (SINGREH), com foco nas estruturas que desempenharam algum papel no enfrentamento da crise hídrica 2014-2016 e que, no período pós-crise, eventualmente se destacam na construção de capacidade adaptativa para gestão do risco de secas.

Figura 16 - Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul com seus componentes e exemplos de interações entre eles



Fonte: A autora, 2025.

Evidentemente, que essa delimitação assume uma simplificação intrínseca ao entendimento científico, sempre limitado (Khun, 2006). Sabe-se que os componentes naturais incluem diversos outros elementos, como o ecossistema aquático, não analisados nesta tese, até mesmo porque não há dados nem informações sobre isso. Por isso, o SSE desta tese compreende sobretudo os usos principais das águas da

bacia que estão sujeitos à regulação pelo SINGREH e que foram mais impactados frente às secas e escassez hídrica.

Os subsistemas propostos por Ostrom (2007) foram empregados na tese por permitirem uma compreensão ampla das interações entre os componentes do Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul com foco nas águas. A tese busca uma aproximação, mesmo que timidamente, da compreensão conjunta desses subsistemas.

#### 4.1.1 Sistemas de recursos do SSE-BPS: Sistema hidráulico Paraíba do Sul-Guandu, bacias contribuintes e receptoras

O principal rio do sistema socioecológico estudado é o Paraíba do Sul, que tem seu início na confluência dos Rios Paraíba e Paraitinga, no estado de São Paulo e atravessa o estado do Rio de Janeiro – fazendo divisa com o estado de Minas Gerais em um trecho – até desaguar no oceano Atlântico, no município de São João da Barra/RJ. Esta transição entre estados caracteriza um curso d'água de domínio da União e uma bacia hidrográfica de gestão compartilhada entre a própria União e estados, uma vez que vários rios afluentes distribuídos pelos territórios estaduais contribuem para a vazão do Paraíba do Sul.

Localizada entre os maiores polos industriais do país e densamente povoada, a Bacia do Rio Paraíba do Sul é fortemente pressionada por usos múltiplos da água (ANA, 2019a). Gestores e usuários disputam os recursos hídricos, inclusive para áreas externas aos limites da bacia hidrográfica, o que se dá por meio de infraestruturas hidráulicas que ampliam os limites territoriais do sistema socioecológico e demais componentes como usuários e sistema de governança (Pires do Rio et al., 2016). Conseqüentemente, aumenta a exploração sobre o componente unidades de recursos. A ANA (2019a) destaca a estratégia de Cooperação Transfronteiriça<sup>11</sup> para atendimento de elevadas demandas nas densas regiões metropolitanas do país, que favorece o estabelecimento de fontes hídricas e

---

<sup>11</sup> “A Cooperação Transfronteiriça – aproveitamento de mananciais comuns - pode ser entendida no contexto interno brasileiro como o compartilhamento das mesmas fontes hídricas por diferentes Unidades da Federação e pela necessidade cada vez maior de integração de bacias hidrográficas para o atendimento de grandes centros” (ANA, 2019a).

mananciais redundantes. Estas interligações entre bacias, por um lado, aumentam a pressão sobre recursos que podem já estar sobre- explorados e, por outro, favorecem a integração e flexibilidade nas fontes de abastecimento de água.

Desse modo, a Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, conformada entre os interflúvios das serras do Mar e da Mantiqueira, tem volumes expressivos de águas transpostas para outras duas bacias. A mais antiga para a Bacia do Rio Guandu, no estado do Rio de Janeiro, atinge a vertente sul da Serra do Mar. Outra mais recente para a Bacia do Rio Piracicaba, em São Paulo, reforça o Sistema Cantareira, que abastece a região metropolitana de São Paulo e também usuários da Bacia do Rio Piracicaba. Esse contexto exemplifica a disputa pelas águas da bacia e evidencia a necessidade de participação em busca de consensos, a fim de evitar que grupos mais influentes se apropriem dos recursos hídricos e dificultem a equidade na alocação das águas, gerando repercussões graves para a capacidade adaptativa de grupos menos poderosos.

É importante destacar que a dependência da Bacia do Rio Guandu, em relação às águas transpostas do Paraíba do Sul, é altíssima; a vazão natural do Guandu ganhou um incremento de quase cinco vezes. Um conjunto de obras da década de 1950, inicialmente voltado para a produção de energia hidroelétrica, atende hoje 83% da população da região metropolitana do Rio de Janeiro, cerca de 9,4 milhões de pessoas (PIRH-PS, 2021).

Mais recentemente, o acordo para a transposição de águas do Rio Jaguari (afluente do Rio Paraíba do Sul) para a Bacia do Rio Piracicaba ocorreu no contexto de crise hídrica, em 2015, e resolveu um conflito com dimensões interestaduais, que chegou ao Supremo Tribunal Federal e demandou a mediação de instâncias nacionais da gestão dos recursos hídricos (Formiga-Johnsson et al., 2015). No projeto, trata-se de uma interligação, isto é, o fluxo de água deveria se dar nos dois sentidos, entre o reservatório de Jaguari e a represa Atibainha, em Nazaré Paulista (que compõe o Sistema Cantareira), ambos de domínio do governo paulista. Na prática, tem funcionado somente como transposição de águas da Bacia Paraíba do Sul para a Bacia do Rio Piracicaba (entrevistados 4 e 10). A justificativa para esta nova intervenção na bacia foi a de aumentar a segurança hídrica do Sistema Cantareira (responsável pelo abastecimento de aproximadamente 8,8 milhões de pessoas da Grande São Paulo) (PIRH-PS, 2021).

Na Bacia Paraíba do Sul, um conjunto de reservatórios de grande porte foi construído para gerar energia e, hoje, opera também para atender aos usos múltiplos, incluindo abastecimento público e atividades produtivas. São quatro reservatórios principais situados na porção alta da bacia: Paraibuna, Santa Branca, Jaguari e Funil, os quais, em conjunto, são chamados de Reservatório Equivalente (Quadro 5). Ao longo da bacia existem outros barramentos, com fins de geração de energia e estruturas intermediárias de transposição de águas que, no entanto, não acumulam grandes volumes de água. A concentração locacional dos reservatórios impõe uma limitação a capacidade de acúmulo de água a depender da localização e da concentração das chuvas.

Quadro 5 - Descrição do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul – Guandu

### **Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu**

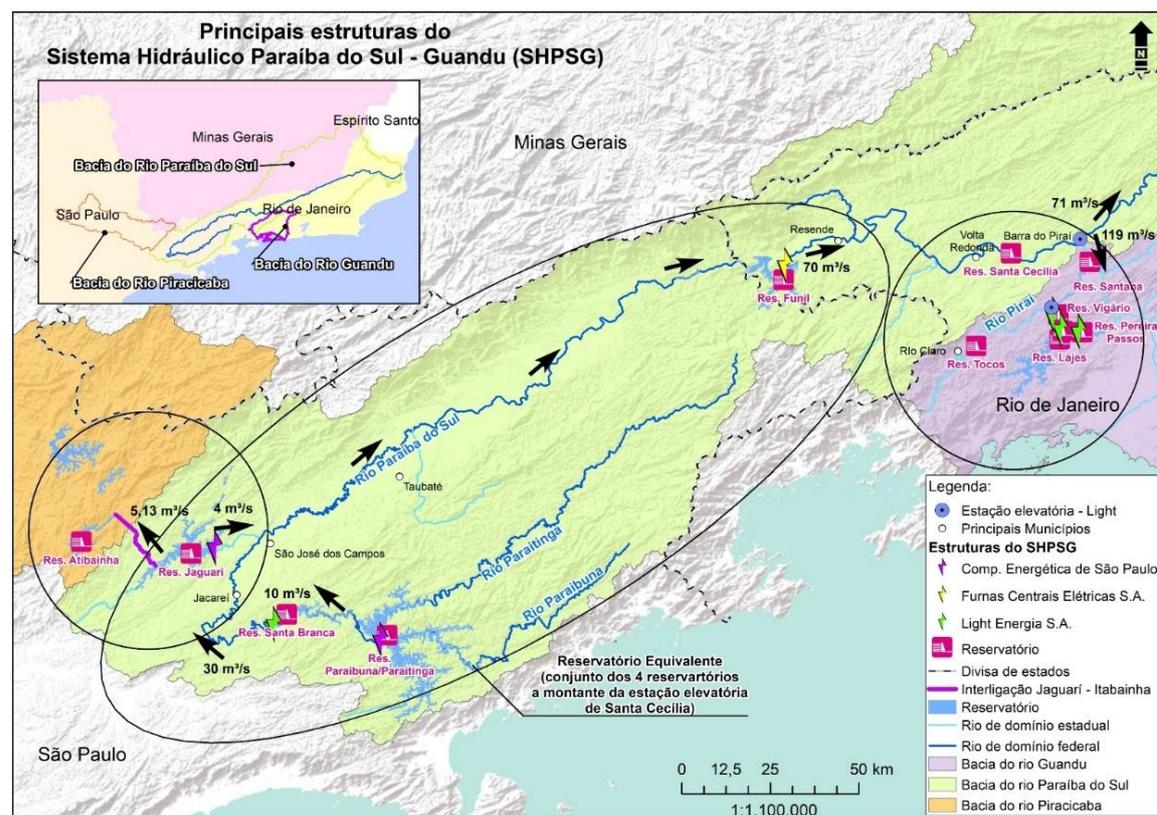
O sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu (SHPSG) é constituído por um conjunto de estruturas hidráulicas interligadas. A infraestrutura hídrica é composta por reservatórios de regularização de vazão, barragens, estruturas de geração de energia, túneis e canais. Sua operação é bastante complexa e é centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) (ANA, 2015a).

A operação do SHPSG deve respeitar as regras de operação criadas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), em articulação com o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e órgãos gestores de recursos hídricos estaduais estabelecidas na Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1.382/2015. Que, em resumo são (Art. 1º, Inciso I):

I - A vazão a jusante dos aproveitamentos deve respeitar os limites mínimos:

- a) Paraibuna: 10 m<sup>3</sup>/s (instantânea);
- b) Santa Branca: 30 m<sup>3</sup>/s (instantânea);
- c) Jaguari: 4 m<sup>3</sup>/s (instantânea);
- d) Funil: 70 m<sup>3</sup>/s (instantânea);
- e) Santa Cecília: 71 m<sup>3</sup>/s (instantânea);
- f) Bombeada para o rio Guandu em Santa Cecília: 119 m<sup>3</sup>/s (média diária); e
- g) Pereira Passos: 120 m<sup>3</sup>/s (instantânea).

Figura 17 - Principais estruturas do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul Guandu



Fonte: Ambrosio, 2018.

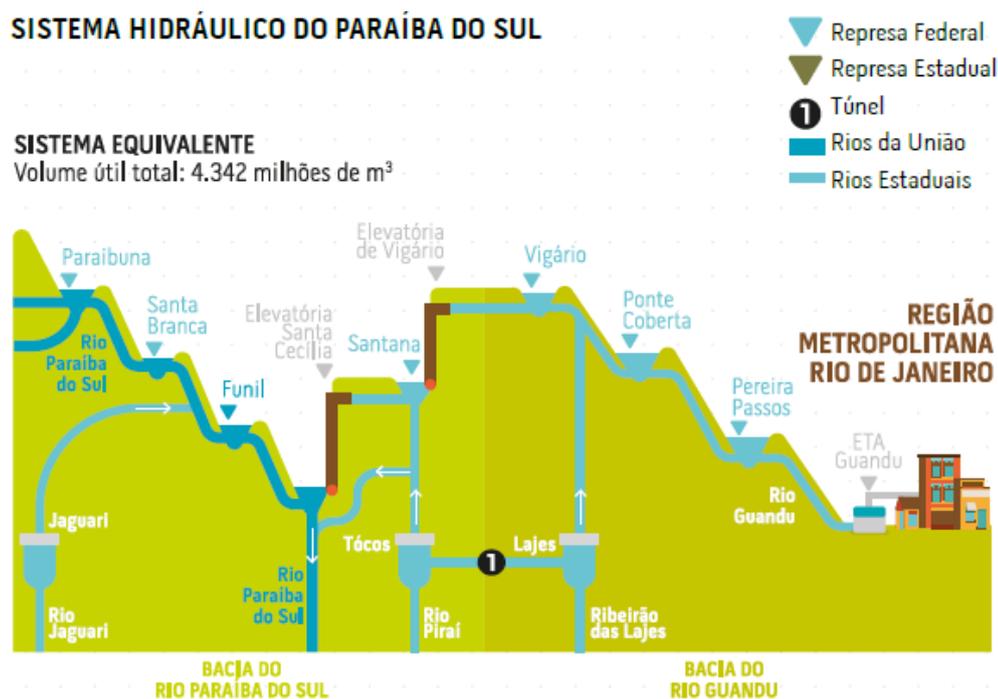
O sistema conta com as seguintes estruturas (Campos, 2005):

- Transposição de águas sistema Tocos-Lajes do Reservatório de Tocos no rio Pirai (afluente natural do Rio Paraíba do Sul) para o reservatório de Lajes no ribeirão das Lajes, feita por gravidade, através de um túnel para geração de energia na UHE de Fontes Nova;
- Estruturas de transposição e reservatórios, inclusive a Estação Elevatória de Santa Cecília, que pode desviar até 160 m<sup>3</sup>/s do Rio Paraíba do Sul para a Bacia do rio Guandu, ao recalcar as águas por um total de 35,5 m e atravessar para a vertente atlântica da Serra do Mar, criando uma queda de 300 m para aproveitamento hidroenergético;
- Usinas hidroelétricas (UHE) e o conjunto de reservatórios: Paraibuna-Paraitinga, Santa Branca, Jaguari e Funil (Reservatório Equivalente) que regularizam a vazão da bacia a montante da Estação Elevatória de Santa Cecília;
- Interligação entre os reservatórios de Jaguari e Atibainha em território paulista, com vazão máxima de captação no reservatório da UHE Jaguari de 8,5 m<sup>3</sup>/s e da vazão máxima de captação no reservatório Atibainha de 12,2 m<sup>3</sup>/s; a Resolução ANA n° 1.931/2017 estabelece os parâmetros de vazão para essa transposição.

Nota-se que o Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu (SHPSG), que desde 2018 considera também a transposição de águas do reservatório de Jaguari, impõe desafios para recortes fixos da delimitação territorial do SSE Paraíba do Sul e,

conseqüentemente, para a descrição de seus recursos, usuários e sistema de governança. O recorte hidráulico mais abrangente considera a Bacia do Rio Paraíba do Sul e suas bacias receptoras imediatas (Lages/Guandu e Jaguari/PCJ). Contudo, a maior parte das águas transpostas é novamente revertida, por uma extensa infraestrutura, para outras bacias onde se situam as regiões metropolitanas do Rio de Janeiro (Figura 18) e de São Paulo. Assim, as águas transpostas da Bacia do Paraíba do Sul chegam às Bacias do Alto-Tietê (de domínio estadual/SP) e ao conjunto de bacias costeiras do oeste metropolitano (RJ), fazendo com que o sistema hídrico interconectado alcance cinco bacias hidrográficas distintas.

Figura 18- Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (detalhamento da ligação com Lages-Guandu/RJ).



Fonte: ANA, 2021a

Ainda nessa lógica global, importa ressaltar que, no contexto do Sistema Interligado Nacional, quando se agrega à análise a geração de energia pelo SHPSG, há virtualmente usuários/beneficiários das águas do Paraíba do Sul também na escala nacional. Acrescenta-se ainda o relevante papel na diluição de efluentes nas transferências para o Rio o que, na prática, representa que parcela da água transferida se torna imediatamente inutilizável para outros usos.

Assim, embora o recorte hidráulico (Paraíba do Sul-Guandu-Jaguari) seja o enfoque nas análises, deve-se sempre atentar a essas outras interações territoriais e dos usos da água, que não são propriamente indiretas, isto é, são consideradas para

fins de disponibilidade hídrica no Rio Paraíba do Sul, como uma retirada única seja para o Atibainha, seja para o Guandu. Cabe esclarecer, no entanto, que, no caso da reversão para o Jaguari, há um usuário único. Diferentemente do Guandu, para o qual parte das regras operativas são definidas e, portanto, influenciam todo o Sistema Hidráulico (Resolução Conjunta 1.382/2015).

#### 4.1.2 Unidades de recursos: disponibilidade hídrica gerida pelo SHPSG

A distribuição das chuvas na área da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (BPS) é variável devido às condicionantes geomorfológicas e aos fatores climáticos. A região geográfica onde se situa a BPS apresenta um relevo ondulado e montanhoso que interage com a dinâmica atmosférica e climática, com forte influência sobre a distribuição das chuvas na bacia. De acordo com o diagnóstico do PIRH-PS (2021), as precipitações máximas ocorrem nas cabeceiras mineiras, no trecho paulista da Serra do Mar e na Serra dos Órgãos atingindo cerca de 2.250 mm/ano.

As chuvas são uma das variáveis utilizadas para estimar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica. O conhecimento da disponibilidade hídrica de um rio orienta a gestão sustentável dos recursos hídricos, de modo a dar subsídios para a análise de outorgas de direito de uso da água e para alocação das águas, em geral (Cruz e Tucci, 2007). A disponibilidade hídrica, de acordo com Cruz e Tucci (2007):

“é a parcela vazão que pode ser utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente aquático. De outro lado a vazão resultante no rio após o uso da água é denominada [...] vazão remanescente (*instream flow*), segundo a literatura inglesa, Kramer, 1998). Esta vazão tem a finalidade de manter a integridade do sistema fluvial conservando o meio ambiente aquático.”

Essa definição é especialmente útil, pois considera a vazão ambiental ou ecológica. Diferentemente de outras definições correntes, como a da ANA (Nota técnica nº 75/2020/SPR) que define disponibilidade hídrica como a oferta de água dada por uma vazão mínima de referência, neste caso a Q95, com garantia de 95% (anual ou mensal). Assim como ANA, Cruz e Tucci (2007) utilizam a vazão de referência para estimar a disponibilidade hídrica. A diferença que ressaltamos aqui é justamente a linguagem empregada. Quando se compreende um elemento natural como um recurso que traz benefícios às sociedades, e ao mesmo tempo se busca

uma gestão sustentável, é relevante considerar na definição dos termos a inclusão desta premissa. Cabe a ressalva de que só adequar a linguagem não é suficiente; seria necessário o desenvolvimento de métodos para cálculo da vazão ambiental ou ecológica, além de sua incorporação aos procedimentos para concessão de outorga, especialmente para intervenções que provoquem mudanças expressivas no regime hidrológico (Cruz, 2005).

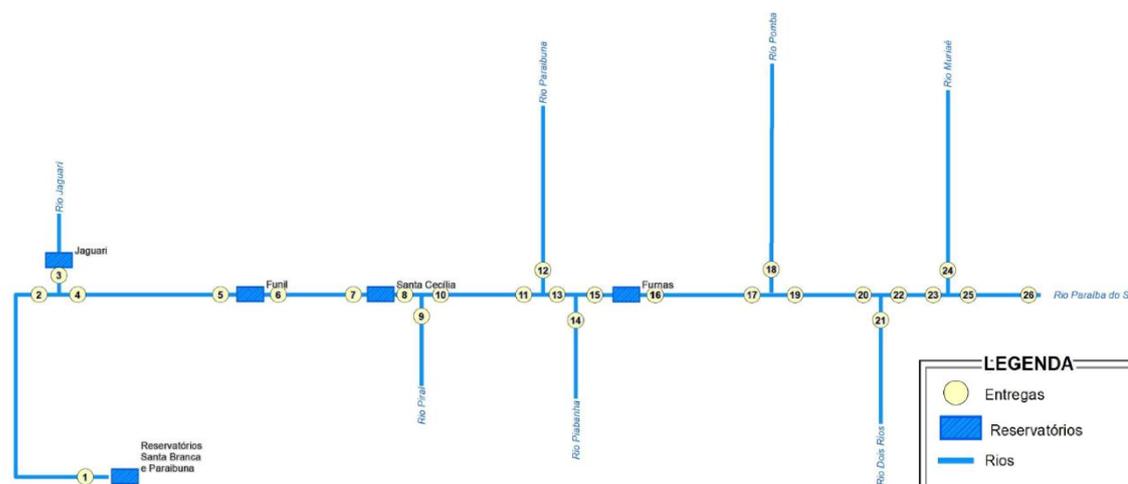
A demanda inclui usos consuntivos, que retiram água do rio e implicam na redução da disponibilidade a jusante daquele ponto, como abastecimento público, uso industrial, irrigação. A geração de energia é um uso não consuntivo, mas a evaporação líquida de reservatórios artificiais é considerada um uso múltiplo e difuso da água (ANA, 2021c), diferenciando-se dos usos atribuídos a setores específicos (usos setoriais). Reservatórios construídos com o propósito inicial de geração de energia, por exemplo, podem beneficiar múltiplos usuários tanto no local do reservatório quanto em trechos influenciados pela sua operação na bacia hidrográfica. Esses usos implicam em alterações no regime hídrico e na qualidade das águas. Portanto o balanço hídrico pode considerar as dimensões quantitativa e qualitativa. Assim, a disponibilidade hídrica varia no tempo e ao longo do leito do rio, inclusive devido ao atendimento das demandas da sociedade. Eventos críticos também interferem na variação da disponibilidade hídrica (ANA, 2024a).

Como a Bacia do Rio Paraíba do Sul tem uma gestão compartilhada entre os estados, a vazão de referência utilizada para estimar a disponibilidade hídrica depende das regras de alocação da ANA e de cada estado. A  $Q_{95}$ , vazão de referência adotada pela ANA, é a mesma empregada pelo INEA no estado de Rio de Janeiro, enquanto SP águas (antigo DAEE) e IGAM, órgãos gestores estaduais de São Paulo e Minas Gerais, respectivamente, adotam a  $Q_{7,10}$ , que é a vazão mínima das médias de 7 dias consecutivos com tempo de retorno de 10 anos (AGEVAP, 2024). Quando há reservatórios de regularização, a referência é o potencial de regularização com 95% de garantia (ANA, 2020). Outras informações importantes para definir a disponibilidade hídrica são as regras operativas dos reservatórios e as vazões incrementais provenientes de rios afluentes (ANA, 2020). De acordo com o estudo de disponibilidade hídrica da Bacia do Rio Paraíba do Sul, realizado pela PROFILL (AGEVAP, 2024), o cálculo das vazões médias de longo termo indica que a menor disponibilidade hídrica ocorre de maio a outubro, enquanto entre dezembro e abril são

verificadas as maiores disponibilidades. Essa análise resultou na delimitação do ano hidrológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul, para referência do estudo, como sendo de dezembro (início das maiores vazões) a novembro, do ano seguinte.

A figura (19) mostra a localização dos pontos para os quais foram calculadas as vazões de referência, entendidas como a disponibilidade hídrica. Pode-se perceber o papel de regulação da vazão do reservatório de Funil por exemplo, ao comparar a vazão nos trechos anterior e posterior a ele (pontos 5 e 6). Outros pontos de destaque são: a comparação entre os pontos 7 e 10, isto é, pré e pós transposição para o rio Guandu e; a contribuição do afluente mineiro, Rio Paraibuna, entre os pontos 13 e 11.

Figura 19 - Diagrama de resultado de entrega de vazão e referência anuais (m<sup>3</sup>/s) para as principais bacias e trechos específicos do Rio Paraíba do Sul para avaliação das entregas na região



Ponto de Controle	Cotrecho(s) Referência da BHO6	Localização	Qmlt	Q95	Q90	Q <sub>7,10</sub>
1	3222738	Defluência do reservatório Santa Branca	76,7	32,5	36,6	30,9
2	317494	Rio Paraíba do Sul antes da entrega do Rio Jaguari	87,1	41,8	47,0	34,5
3	3095888	Entrega do Rio Jaguari	29,6	7,2	8,1	6,7
4	415826	Rio Paraíba do Sul depois da entrega do Rio Jaguari	116,7	48,9	55,1	41,2
5	5085642	Rio Paraíba do Sul antes do Reservatório Funil	198,9	106,5	122,0	78,9
6	2829208	Rio Paraíba do Sul depois do Reservatório Funil	214,6	121,5	146,1	114,3
7	3106360	Rio Paraíba do Sul antes do Reservatório Santa Cecília	274,3	165,7	190,6	149,8
8	2254876	Rio Paraíba do Sul depois do Reservatório Santa Cecília	138,5	58,2	75,3	53,4
9	726736	Entrega do Rio Pirai	36,2	10,8	12,8	7,5
10	3996225	Rio Paraíba do Sul depois da entrega do Rio Pirai	174,8	69,0	88,2	60,9
11	1207631	Rio Paraíba do Sul antes da entrega do Rio Paraíbauna	191,0	71,0	91,1	61,8
12	1352220	Entrega do Rio Paraíbauna	183,3	67,0	75,7	52,5
13	4775331	Rio Paraíba do Sul depois da entrega do Rio Paraíbauna	374,3	138,1	166,7	114,4
14	792227	Entrega do Rio Piabanha	39,1	12,6	14,4	9,5
15	4781532	Rio Paraíba do Sul depois da entrega do Rio Piabanha	413,3	150,6	181,1	123,8
16	4022773	Rio Paraíba do Sul depois do Reservatório Furnas	365,3	102,9	107,4	101,1
17	2369973	Rio Paraíba do Sul antes da entrega do Rio Pomba	435,3	169,0	190,4	136,7
18	909591	Entrega do Rio Pomba	124,9	35,3	42,1	25,4
19	3102836	Rio Paraíba do Sul depois da entrega do Rio Pomba	560,2	204,3	232,4	162,1
20	3641810	Rio Paraíba do Sul antes da entrega do Rio Dois Rios	565,6	204,6	233,0	162,3
21	4897885	Entrega do Rio Dois Rios	41,7	13,8	15,8	10,0
22	3422106	Rio Paraíba do Sul depois da entrega do Rio Dois Rios	607,3	218,4	248,9	172,3
23	4332080	Rio Paraíba do Sul antes da entrega do Rio Muriaé	615,1	218,9	257,2	172,6
24	2939381	Entrega do Rio Muriaé	101,3	21,8	26,7	13,3
25	322250	Rio Paraíba do Sul depois da entrega do Rio Muriaé	716,5	240,7	283,8	185,9
26	1853342	Foz do Rio Paraíba do Sul	719,3	241,2	284,4	186,3

Fonte: AGEVAP (2024)

Os estudos de atualização e consolidação da demanda da Bacia do Rio Paraíba do Sul, no âmbito das ações do PIRH, estão em andamento, com previsão de realização de estudos de atualização e aprimoramento também do balanço hídrico da bacia.

A caracterização da demanda de água no BPS é fonte de embates diversos entre setores usuários e entre os entes do sistema de gestão. Uma divergência conceitual central é considerar ou não os volumes de água outorgados aos usuários da bacia como demanda. Além das dificuldades de representatividade e dos dados estarem atualizados e consistidos, a outorga e o cadastro de usuários, por natureza, visam dar segurança hídrica e jurídica aos usuários, acrescentando níveis de garantia de vazão e considerando um horizonte de máxima capacidade produtiva ou de

operação futura no prazo de validade autorizado (ANA, 2023b). Por isso, a vazão outorgada/cadastrada é uma reserva, uma expectativa de uso da água, e não necessariamente seu uso efetivo. Além do mais, nem todos os usuários estão outorgados ou nem mesmo cadastrados, a exemplo do setor de irrigação no Estado do Rio de Janeiro (Entrevistados 4 e 10).

Em estudo conduzido pela ANA (2023b), que analisou cerca de 14 mil captações de águas que informaram a Declaração Anual de Uso (DAURH) entre 2017 e 2021, concluiu-se que, em média, apenas 52% dos valores outorgados/cadastrados foram efetivamente utilizados pelos usuários. De forma desagregada, ou seja, ao se espacializar esses dados em microbacias, as dispersões são muito maiores, o que prejudica qualquer contabilidade de balanço hídrico para gestão utilizando apenas dados outorgados.

As declarações de uso e instrumentos similares são uma forma de monitoramento direto, mas em geral são autodeclaratórias e limitadas no espaço e no tempo a uma amostra dos maiores usos/usuários (em geral para benefícios relacionados à cobrança pelo uso da água).

Portanto, assume-se a necessidade de métodos complementares capazes de retratar o uso efetivo da água nas bacias, mas também há divergências sobre os melhores métodos e dados para estimar os diferentes usos e em diferentes escalas espaço-temporais. Para fins de autorização do uso da água, o mais interessante para o sistema de gestão é o de retratar as demandas em escala territorial de microbacias e em escala temporal mensal, de forma a serem incorporadas nas modelagens de balanço hídrico na base hidrográfica.

O Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil avançou nessa proposta (ANA, 2019b; 2024b) buscando estimar o uso efetivo da água como forma de monitoramento indireto dos usos. Em 2022, a retirada de água na BPS, considerando os usos setoriais intrínsecos (apenas dentro da bacia) foi de 33 m<sup>3</sup>/s (cerca de 1 trilhão de litros no ano), sendo 50% para abastecimento urbano, 18% para indústria de transformação, 17% para irrigação e 9% para abastecimento animal (ANA, 2024b). Pode-se ainda considerar a evaporação líquida de reservatórios artificiais como uso múltiplo difuso da água (ANA, 2021c) que alcança valores da ordem de 3,3 m<sup>3</sup>/h (ANA, 2024b) - equivalente ao montante para uso animal.

Adicionalmente, as transferências de água da bacia atendem usos diversos (especialmente o abastecimento urbano, a geração de energia e a diluição de efluentes) e podem alcançar valores da ordem de 190 m<sup>3</sup>/h, como detalhado no Quadro 5, ou seja, muito superiores aos usos da própria bacia hidrográfica fornecedora de água. Deve-se lembrar ainda as perdas inerentes da água transferida (evaporação, infiltração etc.) e as perdas derivadas do uso final (em especial as perdas nos sistemas de distribuição nas cidades), que pressionam valores de transferência maiores que os de fato utilizados.

As dificuldades conceituais, metodológicas e operacionais de estimar as demandas hídricas e acoplá-las aos sistemas de gestão aumentam quando se trata do balanço hídrico. Atualmente, na própria ANA, o balanço hídrico para outorga de usos consuntivos utiliza os usos outorgados/cadastrados pela ANA e Estados no Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), enquanto a outorga para o setor elétrico e os estudos de planejamento da Agência utilizam um balanço hídrico alternativo (com as estimativas de uso efetivo do Manual de Usos). As transferências de água são mais consideradas como alteração da oferta (dedução do PBS e aumento nas bacias receptoras) do que sob a perspectiva de uso da água. Essas divergências impõem desafios adicionais ao sistema de gestão.

Cabe destacar que as estimativas de demanda futura e a disponibilidade provenientes do PIRH-PS (2021) – e por consequência, o balanço hídrico atual e futuro – não consideraram os impactos das mudanças climáticas. No entanto, os estudos para sua atualização, tanto os impactos das mudanças climáticas quanto comparações com o período de vazões mínimas críticas (2015-2021) são verificados. Para a disponibilidade hídrica, os resultados disponíveis mostram que a tendência de redução da disponibilidade a curto prazo, devido aos efeitos das mudanças climáticas, apesar de a amplitude de redução ser menor, está de acordo com o estudo de impactos das mudanças climáticas da ANA (2024a), que aponta a tendência de redução de até 40% da disponibilidade hídrica na BPS até 2040. Quanto ao período de vazões críticas (2015-2021), que mostram as menores vazões em toda a série analisada, desde 1960, a disponibilidade hídrica foi consideravelmente reduzida (AGEVAP, 2024).

#### 4.1.3 Sistema de governança e usuários: Identificação dos atores institucionais e locais com atuação no enfrentamento da crise hídrica 2014-2016.

Sistema de governança e usuários compõem o sistema socioecológico de acordo com Ostrom (2009), adotado neste trabalho. Descrevemos o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), enquanto estrutura de governança das águas, com foco nas organizações que atuaram no enfrentamento da crise hídrica 2014-2016. Abordamos, ainda, as regras e práticas de alocação das águas na bacia, bem como os mecanismos para resolução de conflitos e as estruturas organizacionais empregadas para lidar com os anos de seca na bacia. Os usuários participam do SINGREH por meio dos Comitês de Bacia e dos Conselhos Estaduais e Nacional de Recursos Hídricos. Usuários são elementos importantes dos sistemas socioecológicos; descrevemos os principais usos das águas do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu, dando destaque para os usuários impactados durante a crise hídrica 2014-2016 que participaram das discussões por meio dos Comitês de Bacia, especialmente das reuniões do GTAOH.

A Constituição Federal de 1988 traz os parâmetros que, juntamente com os princípios de gestão das águas da Conferência de Dublin (Porto e Porto, 2008), formaram as bases para a institucionalização da Política Nacional de Recursos Hídricos, pela Lei 9.433 (1997). Desse conjunto, para governança das águas no Brasil e conseqüentemente na Bacia do Rio Paraíba do Sul, destacamos: a dominialidade das águas e a bacia hidrográfica como o recorte territorial para a gestão dos recursos hídricos; e o estabelecimento do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos SINGREH. Na sua essência, a Lei 9.433 institui o modelo de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos, calcado nos princípios de Dublin (1977), mais tarde difundido por agências internacionais como o BIRD e pela GWP (2000).

O domínio dos corpos hídricos<sup>12</sup>, definido na constituição de 1988, estabelece se a responsabilidade pela gestão das águas é da União ou dos estados (ANA, 2017).

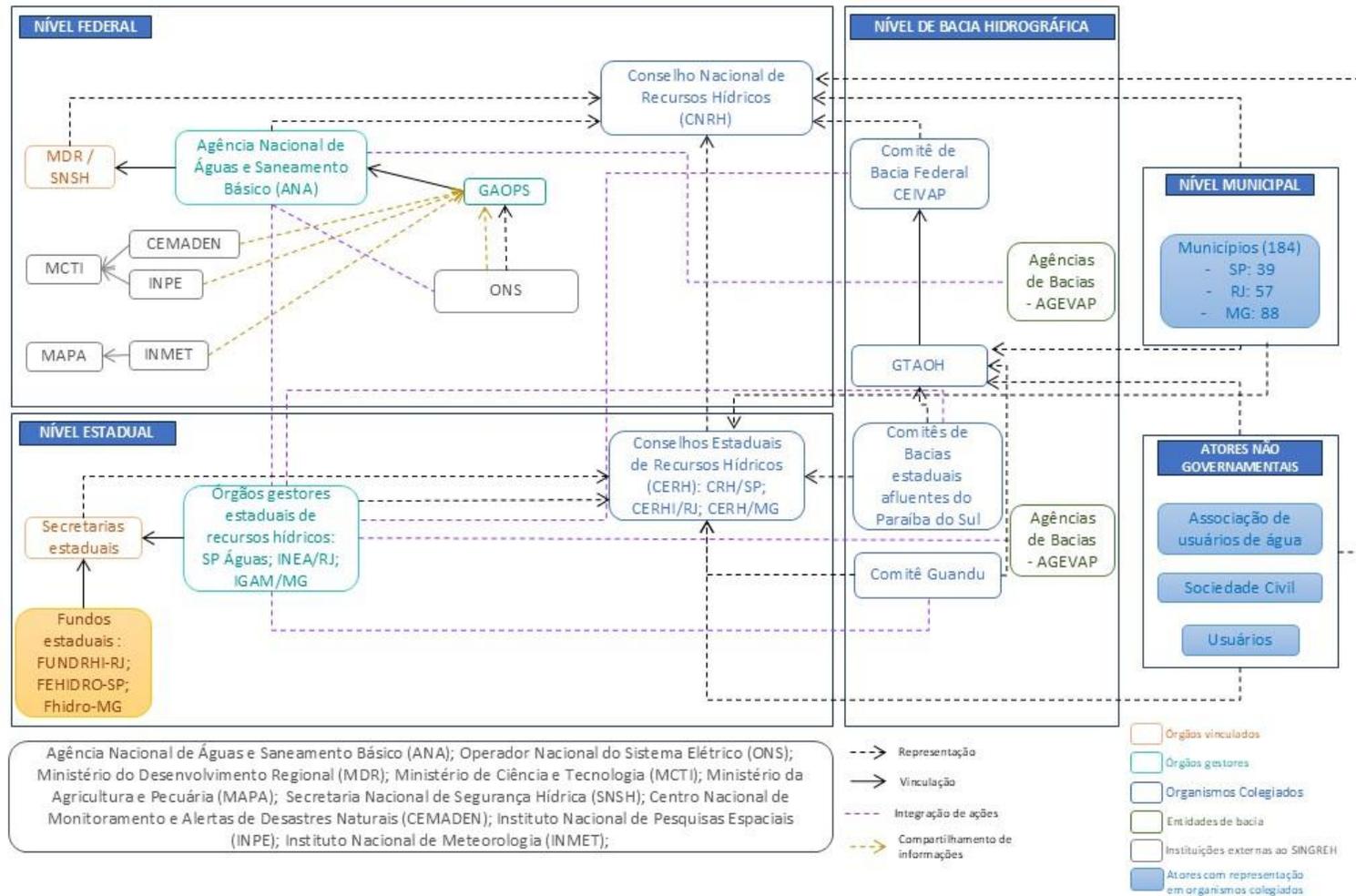
---

<sup>12</sup> “Um corpo d’água superficial é de dominialidade estadual, quando se localiza integralmente dentro dos limites de uma UF, ou federal, se abrange mais de uma UF ou país. O domínio federal também é atribuído aos corpos d’água existentes no interior de terras protegidas por lei e de posse e domínio públicos. Já as águas subterrâneas são, em todos os casos, de domínio estadual.” (ANA, 2017).

Os municípios, apesar de não possuírem dominialidade sobre os recursos hídricos, são os entes federativos responsáveis pelo ordenamento e uso do solo em seus territórios, pela gestão ambiental no nível local e pelo abastecimento público, funções que respondem também pelo nível local dos problemas hídricos no país, como ocupação irregular das margens dos cursos de água e sua poluição (Nicollier et al., 2023). A dominialidade das águas se dá somente sobre os corpos hídricos, sendo a bacia hidrográfica um território. Enquanto território, a bacia hidrográfica está sujeita ao princípio federativo acompanhado das atribuições e competências entre os três entes federativos (União, estados e municípios), e constitui a unidade mais descentralizada para a gestão das águas no país. Os níveis seguintes são o estado e a União (Porto e Porto, 2008).

Outro aspecto fundamental para governança das águas no Brasil determinado pela CF é a competência da União para instituir o SINGREH e definir critérios de outorga de direito de uso (CF art. 21, inciso XIX), o que se concretizou com a Lei das águas e textos infralegais complementares. Pode-se dizer que o SINGREH estrutura a governança das águas no Brasil em um arranjo institucional que reúne diversas organizações com distintas competências e atribuições na gestão das águas. Para dar uma visão panorâmica mais completa dessa governança na Bacia do Rio Paraíba do Sul, fomos além do tradicional organograma do SINGREH, explicitando outros componentes que atuam na bacia (Figura 20).

Figura 20 - Esquema da governança do Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul com foco em secas e escassez hídrica



Fonte: A autora, 2025. Elaborado com base em: Braga et al., 2008; OCDE, 2015; ANA, 2021a.

Nesta estrutura, estão incluídos órgãos colegiados e administrativos. Os colegiados cumprem funções deliberativas e consultivas e são organizados sob a forma de conselhos nacional e estaduais de recursos hídricos e de comitês de bacia hidrográfica. É por meio dos órgãos colegiados que a participação é efetivada na gestão dos recursos hídricos, pois neles estão representados usuários, sociedade civil e poder público. Os comitês podem ser de bacias interestaduais (ou interfederativas), no caso de bacias cujos rios principais são domínio da União, e são diretamente ligados a organismos federais e à ANA. Quando o rio principal é de domínio estadual, os comitês são estaduais e relacionam-se diretamente aos órgãos gestores estaduais.

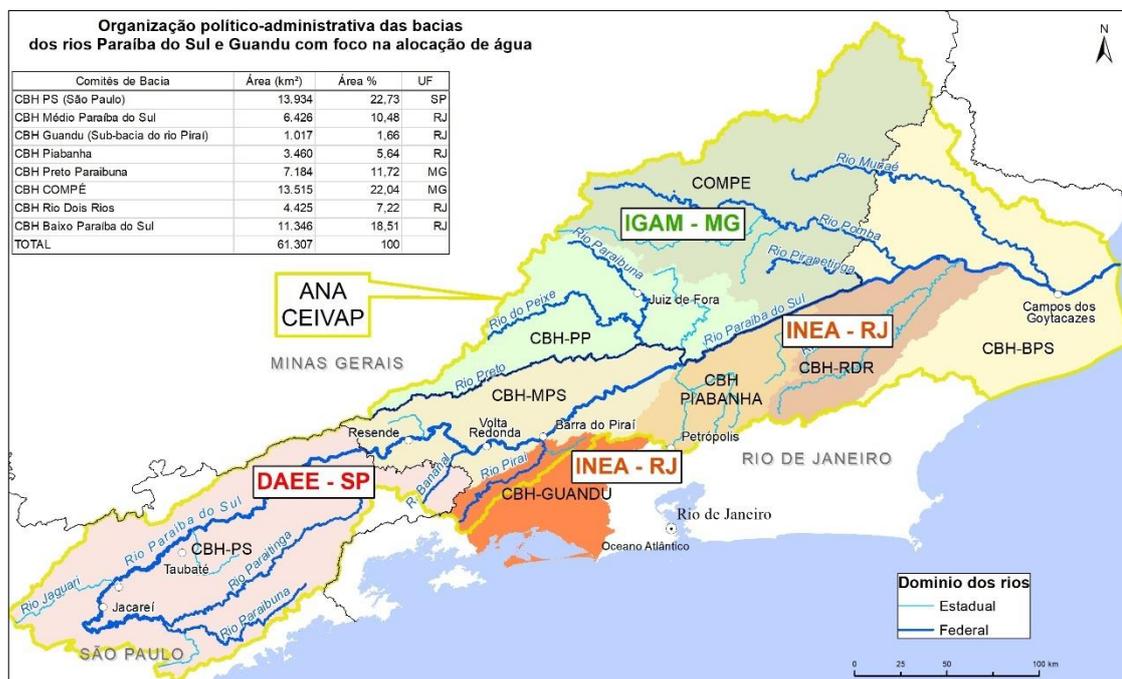
Os conselhos agregam também funções normativas, além de serem a instância superior na gestão em nível federal e estadual, com atribuições para resolução de conflitos por uso da água, aprovação do Plano (Nacional ou Estadual) de Recursos Hídricos e da instalação de comitês de bacia interestaduais ou estaduais, entre outras. Apesar de sua importância, OCDE (2015) aponta que, na prática, as funções desses conselhos perdem relevância em função da morosidade de suas discussões. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) está em funcionamento, tendo como presidente o Ministro do Desenvolvimento Regional, ministério ao qual está vinculada à Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH), que assume a função de secretaria executiva do CNRH. Cabe lembrar que é comum haver mudanças no SINGREH por ocasião de mudanças de governo; em nível federal, por exemplo, houve mudanças nos ministérios responsáveis pela política das águas desde 2018 ou, ainda, alteram-se os nomes dos ministérios como é o caso do atual Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional, ao qual estão vinculadas a SNRH e a ANA.

Os conselhos estaduais na Bacia do Paraíba do Sul também estão em funcionamento e são instâncias com funções similares ao federal. Em São Paulo é o CRH, no Rio de Janeiro é o CERHI e em Minas Gerais é o CERH. Em geral, conselhos estaduais são presididos por um secretário de estado, normalmente da Secretaria de Meio Ambiente, exceto no Rio de Janeiro que sempre teve usuário ou sociedade civil na presidência.

A bacia de estudo possui, no âmbito federal, o Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (CEIVAP), além de oito comitês estaduais, sendo um em São Paulo, dois em Minas Gerais e cinco no estado do Rio de Janeiro (Figura

21). As bacias receptoras das duas principais transposições possuem o Comitê Guandu e o CBH-PCJ, no qual está incluído a Bacia do Rio Piracicaba.

Figura 21 - Domínialidade dos rios da Bacia do Rio Paraíba do Sul.



Fonte: Ambrosio, 2018.

Os órgãos administrativos que cuidam da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) na bacia são os órgãos gestores em nível federal (Agência Nacional e Águas e Saneamento Básico) e em nível estadual, bem como as agências de bacia, que atuam como braço executivo e apoio técnico aos comitês de bacia. Os governos estaduais possuem seus próprios sistemas de gerenciamento de recursos hídricos e estruturam essa organização de formas distintas do Governo Federal. Assim, no estado do São Paulo, o órgão gestor das águas é a Agência de Águas do Estado de São Paulo (SP Águas), vinculada à Secretaria Estadual de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL), responsável pelas questões de quantidade de água, enquanto os assuntos relativos à qualidade estão sob responsabilidade da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)<sup>13</sup>; em Minas Gerais, o órgão gestor é o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) vinculado à Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

<sup>13</sup> <https://cetesb.sp.gov.br/infoaguas/>

(SEMAD); e no Rio de Janeiro é o Instituto Estadual do Ambiente (INEA), especificamente a Diretoria de Segurança Hídrica e Qualidade Ambiental (Dirseq)<sup>14</sup>; o INEA é vinculado à Secretaria de Estado do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS). Vinculados também as respectivas secretarias estaduais, estão os Fundos Estaduais de Recursos hídricos, que fazem parte dos Sistemas Estaduais de Gerenciamento Recursos Hídricos, e, portanto, do SINGREH. A origem dos recursos destes fundos pode variar, mas no geral são provenientes da cobrança pelos recursos hídricos, das multas aplicadas pelos órgãos gestores e recursos do próprio estado, destinados a implementação das ações e políticas da gestão dos recursos hídricos.

A Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP) é a agência de bacia que fornece apoio técnico ao CEIVAP e aos comitês estaduais da Bacia do Rio Paraíba do Sul, com exceção do comitê estadual do trecho paulista da bacia, o CBH-PS. Isso se deve a particularidades dos normativos da Lei Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo, que diferem do normativo Federal, em relação à personalidade jurídica da AGEVAP.

Da estrutura do SINGREH merecem destaque os Grupos de Trabalho GTA OH, no âmbito do CEIVAP, e o GAOPS.

O GTA OH é o Grupo de Trabalho Permanente de Acompanhamento da Operação Hidráulica na Bacia do Rio Paraíba do Sul, para atuação conjunta com o Comitê do Rio Guandu. Criado durante a crise hídrica de 2001-2003 pelo CEIVAP, o GTA OH passou um tempo menos ativo, até ser retomado em decorrência da crise hídrica 2014-2016. Pela deliberação CEIVAP nº 211/2014, o grupo objetiva antecipar conflitos e propor alternativas para operação hidráulica visando atender requisitos quantitativos e qualitativos para os usos múltiplos da água, além de divulgar informações da Bacia do Rio Paraíba do Sul. Suas funções são restritas àquelas dadas pelo Comitê dentro de suas limitações, demandando assim que os encaminhamentos das reuniões do GTA OH sejam aprovados pela Plenária do CEIVAP, exceto em condições de crise hídrica, quando o grupo pode encaminhá-las diretamente para ONS, ANA e Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). A composição do grupo reúne representantes: (i) dos Operadores de Reservatórios de Regularização, isto é, as cias de geração hidroelétrica que operam na bacia: FURNAS

---

<sup>14</sup> <https://www.inea.rj.gov.br/competencias-das-diretorias/>

Centrais Elétricas S/A, LIGHT Serviços de Eletricidade S/A e Companhia Energética de São Paulo – CESP; (ii) dos Órgãos Gestores Estaduais de Água: SP Águas, INEA e IGAM; (iii) dos usuários da água do CEIVAP e do Comitê Guandu; (iv) dos municípios da Bacia do Rio Paraíba do Sul e da Bacia do Guandu; (v) dos Comitês Afluentes da Bacia do Rio Paraíba do Sul; além de representantes de convidados permanentes (ANA, ANEEL, ONS e órgãos de controle ambiental dos três estados. Ressalta-se que a deliberação de institucionalização do GTAOH.

O segundo grupo de trabalho, GAOPS - Grupo de Assessoramento à Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul, foi instituído pela Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1.382/2015 e iniciou seu funcionamento com reuniões mensais em 2017. De acordo com a Portaria ANA nº 400 de 2017, tem como objetivo acompanhar a operação do sistema hidráulico de acordo com as regras previstas na mesma resolução, e quando houver situações não previstas pelas condições gerais de operação, o grupo é o espaço para propor e analisar soluções alternativas, visando o consenso entre os órgãos gestores da Bacia. Sob coordenação da ANA, o GAOPS é composto por um representante titular e um suplente da ANA, do DAEE (atual SP-Águas), do IGAM, do INEA, do ONS e do CEIVAP. Embora, seja prerrogativa da ANA determinar as regras operativas em articulação com o ONS, ouvidos os órgãos gestores estaduais, esta resolução resulta de uma construção criativa e coletiva para solução do conflito interestadual pelas águas do Paraíba do Sul, entre São Paulo e Rio de Janeiro. Neste sentido, o GAOPS faz parte de um contexto de descentralização da gestão das águas.

Para nosso estudo, consideramos outras organizações, que embora não estejam explicitadas na estrutura mais comum do SINGREH, foram mobilizadas durante a crise hídrica ou assumiram papéis relevantes em ações posteriores para melhorar a segurança hídrica e lidar com estiagens e secas. Nesse contexto, destaca-se o Operador nacional do Setor Elétrico (ONS) que comanda a aplicação das regras operativas, que se relaciona aos usos múltiplos, junto aos diversos aproveitamentos hidroelétricos na bacia.

A despeito de ter a bacia hidrográfica como unidade territorial para gestão dos recursos hídricos ser uma alternativa capaz de integrar natureza e sociedade e se ajustar bem a compreensão dos sistemas socioecológicos e seus elementos, a associação desta unidade territorial com a gestão compartilhada das águas ainda não

alcançou a integração necessária (Marques et al., 2022). A integração entre as instituições de diferentes esferas governamentais para o estabelecimento de regras e normas para os instrumentos de gestão das águas no país enfrenta desafios importantes. Ao analisar a Bacia do Rio Paraíba do Sul, uma das mais relevantes do país no contexto de implementação do SINGREH (Braga et al., 2008), podemos apontar alguns desafios de coordenação e o que tem sido feito para superá-los no âmbito desta bacia especificamente.

Entre os desafios, destacam-se a compatibilização dos diferentes interesses dos atores da bacia (governamentais, usuários de água e organizações da sociedade civil) e a assimetria na implementação da gestão entre a União e os estados (Braga et al., 2008). Formiga-Johnsson et al. (2005), por exemplo, destacam que divergências na aplicação da cobrança em bacias compartilhadas podem gerar desigualdades e conflitos entre usuários situados em estados diferentes.

A ANA, juntamente com os estados, tem buscado, por meio do pacto de gestão, superar desafios para a harmonização dos critérios e procedimentos para aplicação dos instrumentos de gestão como o plano de recursos hídricos, o cadastro de usuários, a outorga de direito de uso, a cobrança pelo uso da água e a fiscalização. Braga et al. (2008), por sua vez, apontam como formas de avançar na superação da fragmentação da gestão a necessidade de garantir a participação dos diversos atores da bacia com suas necessidades e perspectivas por meio dos Comitês de Bacias Hidrográficas e da celebração de convênios de integração entre a União, os estados e os Comitês de Bacias.

A bacia hidrográfica como recorte territorial materializa também a concepção descentralizada do SINGREH, que fundamenta a tomada de decisão na escala local por meio de estruturas organizacionais inseridas no sistema integrado, desde que as ações estejam de acordo com as regras gerais do Sistema (Porto e Porto, 2008). Assim, a descentralização estabelece a transferência de competências de um ente para outro, com o objetivo de proporcionar eficácia na gestão dos recursos hídricos. O maior problema é que os estados podem estabelecer regras diferentes, muitas vezes conflitantes, daquelas estabelecidas pelo ente federal.

Durante o período da crise hídrica 2014-2016, o principal espaço institucional para o enfrentamento foi o GTAOH, que desempenhou papel de destaque do sistema de gestão das águas da bacia. O grupo atuava como um fórum de discussão

participativa que incluía atores institucionais e locais (para usar os termos adotados nesta tese) das diferentes esferas do SINGREH, especialmente aqueles diretamente relacionados à questão das secas e escassez hídrica. As atas de reunião do Grupo estão disponíveis on-line no site do CEIVAP, bem como documentos resultantes de discussões ocorridas neste fórum, no formato de notas técnicas e resoluções.

#### 4.1.4 Usuários: Identificação dos atores locais durante o enfrentamento da crise hídrica 2014-2016.

Neste trabalho, a caracterização dos usuários das águas do Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul foi feita com base no Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PIRH-PS), finalizado em 2021. Os principais usos da Bacia do Paraíba do Sul são: abastecimento público, indústria, irrigação, geração de energia hidrelétrica e diluição de efluentes sanitários. Na bacia do Rio Guandu, o abastecimento público, o uso industrial e as termoelétricas são os usos com maior demanda (PERH-Guandu, 2018).

A população total da Bacia do Rio Paraíba do Sul é de cerca de 7 milhões de habitantes (PIRH-PS, 2021). O número de pessoas atendidas pelo sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul, considerando as transposições, ultrapassa 15 milhões, dos quais mais de 9 milhões se situam na metrópole do Rio de Janeiro (PIRH-PS, 2021). O Sistema Cantareira, que recebe pouco mais de 5 m<sup>3</sup>/s de vazão da Bacia do Rio Paraíba do Sul para reforçar sua disponibilidade hídrica, abastece uma população de 8,8 milhões de pessoas na Metrópole Paulista.

Os usuários de água bruta incluem ainda as companhias estaduais, municípios que gerenciam as empresas de saneamento e abastecimento de água, os sistemas autônomos municipais e as empresas privadas, por exemplo a Companhia Estadual de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro (CEDAE), O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Jacareí (SAAE), SAAE de Barra Mansa, para citar alguns exemplos; indústrias situadas na bacia do Rio Guandu, no trecho paulista da bacia e no Médio Paraíba do Sul em sua maioria, representadas nos Comitês e Conselhos por Associações de indústria, como FIRJAN, FIESP, FIEMIG; Irrigantes em sua maioria no trecho paulista e no Baixo Paraíba do Sul.

O uso não consuntivo de maior importância é a produção de energia hidroelétrica, com 15 aproveitamentos com potência a partir de 30 MW. As principais usinas hidroelétricas (UHE) são: Paraibuna/Paraitinga, Jaguari (CESP) (potência de 27.600 MW), Santa Branca (LIGHT), no estado de São Paulo; e Funil (FURNAS), Nilo Peçanha, Fontes Velha, Fontes Nova, Pereira Passos e Ilha Pombos (LIGHT), no estado do Rio de Janeiro.

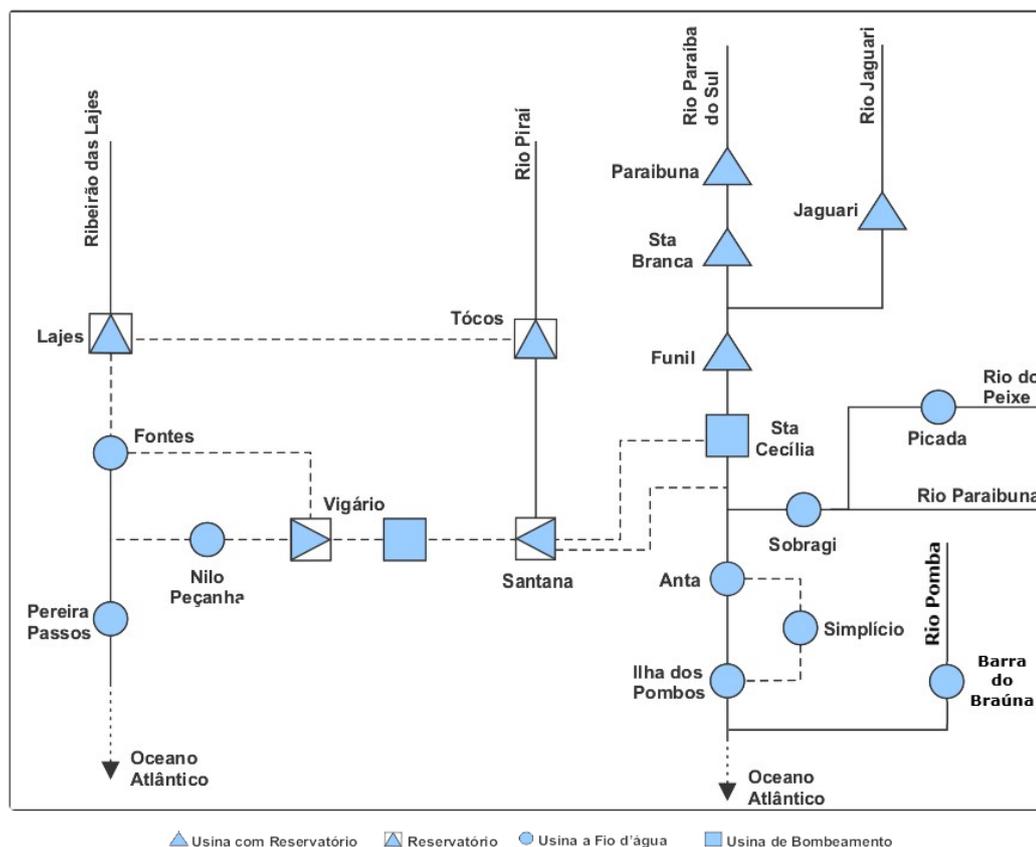
Compreender a governança do sistema socioecológico sob a perspectiva de múltiplos níveis adotados nesta tese (institucional - federal, estadual, municípios, bacias hidrográficas; e local - usuários) auxilia verificar como as dinâmicas de poder em diferentes escalas espaciais impactam na transformação dos sistemas (Pahl-Wostl, 2015). Assim, o detalhamento do componente sistema de governança e usuários do sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul é importante para compreender como as relações de poder e liderança e os processos de participação e colaboração moldam a capacidade adaptativa institucional e local às secas e escassez hídrica.

#### **4.2 Secas e escassez hídrica no Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul**

A Bacia do Rio Paraíba do Sul é situada em região com clima predominantemente úmido, fortemente dependente das condições climáticas sob incertezas em tempos de mudanças. Posicionada em uma área de transição entre sistemas climáticos, distribuída latitudinalmente e relativamente pequena, além de condicionada por barreiras orográficas, a efetiva distribuição das chuvas na área de contribuição é bastante incerta mesmo sem outros forçantes (como em anos de El Niño ou La Niña).

Os reservatórios de armazenamento permitem alguma segurança hídrica aos usuários e beneficiários externos das regiões metropolitanas atendidas, a depender de sua operação e da severidade da seca. Contraditoriamente, a complexa e infraestrutura hídrica do sistema também pode ser encarada como um fator de vulnerabilidade devido a sua concentração nas cabeceiras da Bacia (Figura 22).

Figura 22 - Diagrama unifilar do sistema hidráulico Paraíba do Sul-Lajes-Guandu



Fonte: SAR/ANA (<https://www.ana.gov.br/sar/>)

O diagnóstico do PIRH-PS (2021) aponta como os principais problemas da bacia a poluição hídrica, as enchentes e a escassez hídrica. A poluição hídrica oriunda da diluição de efluentes sanitários é, segundo o documento, uma das principais fontes de poluição. Historicamente, as enchentes são mais danosas na bacia e estão se tornando mais frequentes e intensas nos últimos anos, com destaque para a ocorrência no Baixo e Médio Paraíba do Sul. Por fim, a escassez hídrica por secas é um problema mais recente, que tem exigido respostas distintas aos problemas habituais.

Na última década, a bacia enfrentou duas crises hídricas (2001-2003 e 2014-2016) associadas à seca hidrológica, momentos nos quais os usuários tiveram dificuldades em obter a água necessária para suas atividades, com implicações também na qualidade da água devido a redução das vazões e consequentemente nível dos rios, caracterizando a seca operacional.

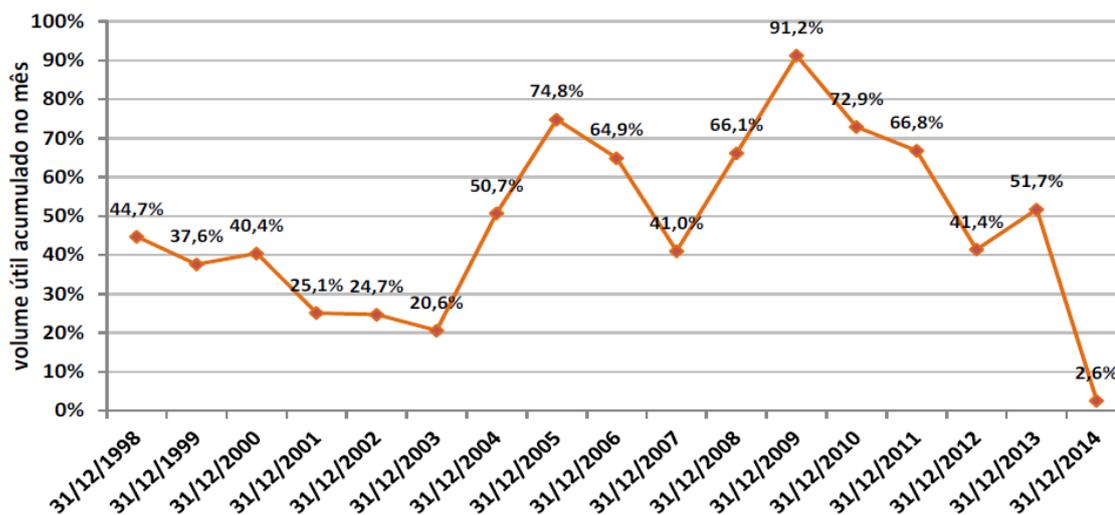
Nesta seção, o objetivo é descrever o histórico da crise hídrica 2014-2016 no Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul (SSE-BPS), antes de entrarmos na análise das estratégias adaptativas e dimensões da capacidade adaptativa.

No início de 2014, a ANA e o então DAEE/SP notaram que os volumes de armazenamento do Reservatório Equivalente estavam muito baixos, em um período que deveriam estar se recuperando para atender aos usos múltiplos da bacia durante o período seco que se aproximava. A resolução da ANA nº 211/2003, construída em articulação com o ONS, estabelecia as regras operativas do Sistema Hidráulico. Mesmo diante da percepção de escassez, a operação não foi modificada, e os reservatórios continuaram a ser deplecionados, mantendo a geração de energia hidroelétrica em níveis elevados (Costa et al., 2015).

A produção de energia na bacia, de acordo com o ONS, depende das restrições impostas pelas regras operativas, que tem por objetivo atender aos demais usos múltiplos da água. Por outro lado, a geração é colocada como estratégica para atender a demanda por energia elétrica no horário de pico, sobretudo por estar próxima do centro consumidor, sendo, portanto, um uso importante, ainda que tenha diminuído sua relevância no contexto do Sistema Interligado Nacional (SIN), ao longo dos anos.

O período de baixos índices pluviométricos se estendeu até o final de 2015, mas a crise avançou por 2016 enquanto os estoques dos reservatórios eram minimamente recuperados. O volume do Reservatório Equivalente que, em dezembro/2013 era de mais de 50%, despencou para pouco mais de 2% no mesmo período de 2014. Esse volume foi muito inferior ao observado na crise hídrica 2002-2003, com mínimas em dezembro/2003 da ordem de 20% (ANA, 2015a) (Figura 23).

Figura 23 - Evolução no armazenamento do Sistema Equivalente do Complexo Hidráulico Paraíba do Sul (Vol. acumulado no mês em relação ao volume útil do reservatório)



Fonte: ANA, 2015a.

Em 1º de fevereiro de 2015, o Reservatório Equivalente do Sistema Hidráulico do Rio Paraíba do Sul atingiu o volume útil de 0,33%, o menor valor observado em todo o histórico (ANA, 2015a). Naquela ocasião, os reservatórios de Paraibuna e Santa Branca chegaram a operar abaixo de seus níveis operacionais mínimos (volume morto), ou seja, pararam de gerar energia.

Nesse contexto, os órgãos gestores da bacia, usuários do Sistema Hidráulico e outros atores do SINGREH se mobilizaram em torno do Grupo de Trabalho Permanente de Acompanhamento da Operação Hidráulica na Bacia do Rio Paraíba do Sul (GTAOH), na busca por soluções para gerir a crise com o menor impacto possível sobre os usuários dos Rios Paraíba do Sul e Guandu. As primeiras ações consistiram em reduções sucessivas da vazão mínima em Santa Cecília e flexibilização das regras operativas: a vazão de 190m³/s chegou a 110 m³/s nesse ponto central para a operação do Sistema Hidráulico. As reduções tinham o objetivo de economizar ao máximo a água dos reservatórios e assim atender aos usos múltiplos por mais tempo presumido de seca. Outras ações desenvolvidas para o enfrentamento da crise hídrica foram incluídas no Plano de Ações Complementares (ANA, 2015b), que continha, por exemplo, ajustes nas captações para abastecimento público no Rio Paraíba do Sul e a utilização dos reservatórios de cabeceira abaixo dos níveis mínimos operacionais.

Conflitos de uso setoriais fazem parte das múltiplas causas da crise hídrica 2014-2016 no SSE-BPS. Os reservatórios de regularização da Bacia são parte das estruturas de usinas hidroelétricas, portanto, operadas pelas empresas do setor sob coordenação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), respeitadas as restrições de usos múltiplos definidas pela ANA (em conjunto com os Estados, a partir de 2016).

Além disso, bacias hidrográficas vizinhas, como a PCJ, muito pressionada por fornecer água para a região metropolitana de São Paulo via Sistema Cantareira, também passavam por uma grave crise hídrica. A crise foi uma janela de oportunidade para São Paulo colocar em prática a transposição para o Cantareira com a Bacia do Rio Paraíba do Sul – uma forma de reforçar sua oferta de água e que já constava como proposta em documentos de planejamento de longo prazo como o Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista (2013), embora não fosse a alternativa prioritária.

A proposta de interligação entre as bacias, em uma situação de escassez na bacia, instalou um conflito interestadual imediato, considerado o maior da federação brasileira (Formiga-Johnsson et al., 2015). Mas também em função da urgência, houve um acordo que culminou na efetiva construção da interligação entre os reservatórios de Jaguari (BPS) e de Atibainha (PCJ). Para que o acordo fosse possível, foram necessárias muitas negociações entre os estados envolvidos sob a liderança da ANA, o que se deu em parte, menos relevante, no GTAOH, que acompanhava atento a definição de novas regras operativas, mas principalmente no embrião do que mais tarde viria se constituir no GAOPS, além de outras instâncias de governo de alto escalão. Durante essas reuniões, o lado de São Paulo apresentou a proposta de possibilidade de bombeamento nos dois sentidos.

A Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº1382/2015, de dezembro de 2015, mas com efeitos práticos a partir de 1º dezembro de 2016<sup>15</sup>, estabeleceu novos limites mínimos de vazão para os reservatórios do sistema. O normativo também criou o Grupo de Assessoramento à Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (GAOPS), que passa a funcionar também em dezembro de 2016.

---

<sup>15</sup> Ofício Circular nº 48/2016/AA-ANA. Documento nº: 00000.067904/2016-91, de 30 de novembro de 2016.

### **4.3 Estratégias adaptativas na Bacia do Paraíba do Sul durante a crise hídrica 2014-2016**

Neste item, identificamos as estratégias adaptativas implementadas no sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul (SES-BPS) e as classificamos em ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e transformativas, de acordo com os seus atributos de abrangência territorial e duração no tempo. Observamos ainda quem são os atores que foram responsáveis pela execução e implementação dessas medidas e em qual universo de atuação de situa (institucional ou local). Esse procedimento é importante para relacionar estas ações com as dimensões da capacidade adaptativa institucional e local às secas e à escassez hídrica necessárias para cada estratégia e, posteriormente, avaliar sua capacidade adaptativa.

Para tanto, utilizamos de diferentes estratégias para identificar e classificar tais ações. As atas de reunião do GTAOH foram os principais documentos utilizados para mapear as estratégias adaptativas empreendidas durante o período da crise (05/2014 – 11/2016). Adicionalmente, analisamos documentos oficiais, como o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (PERHI-RJ) e documentos da ANA. Entrevistas com atores do SINGREH buscaram complementar informações sobre o enfrentamento da crise hídrica. Esse conjunto de documentos e fontes de dados estruturados e não estruturados foram codificados e analisados como auxílio do software Atlas.ti, no qual foi executada a análise de conteúdo qualitativa.

O processo de codificação e análise incluiu a identificação, marcação do trecho do texto do documento no qual ela aparece e sua classificação como ação de enfrentamento (M1), medida adaptativa incremental (M2) ou medida adaptativa transformativa (M3). As ações de enfrentamento, em maior número, foram divididas em quatro subcategorias: gestão, abastecimento público, indústria e setor elétrico. Essa subdivisão busca separar o escopo de atuação em institucional (gestão) e local (setores usuários). Os setores foram criados à medida que apareciam nas análises dos documentos, o que reflete, por exemplo, a ausência do setor agrícola.

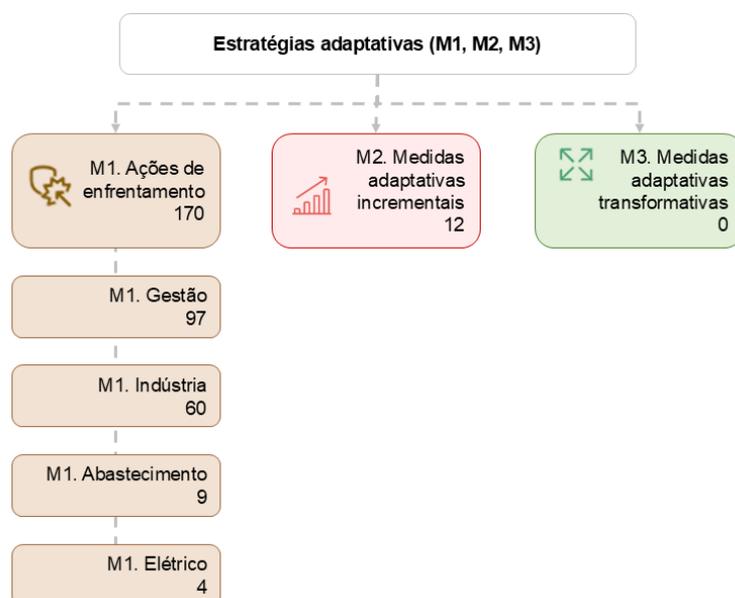
Os mesmos documentos também passaram pelo mapeamento, marcação do trecho do texto e classificação em dimensões da capacidade adaptativa. Esse

procedimento permitiu a articulação em rede e visualização das relações entre as diferentes dimensões da capacidade adaptativa envolvidas em cada tipo de estratégia adaptativa, que será analisado mais adiante (seção 4.4).

Os documentos foram lidos e marcados individualmente. Uma mesma medida foi marcada sempre que mencionada. As ações de enfrentamento, assim classificadas, empreendidas pelas organizações do sistema de gestão, foram as mais debatidas, o que coloca o SINGREH como o ator mais ativo nas reuniões do grupo. As ações de enfrentamento do setor usuário industrial aparecem em segundo lugar, fenômeno explicado pelos impactos negativos da crise hídrica sofrido por este setor, sobretudo pelas indústrias situadas no Canal São Francisco, na bacia do rio Guandu, e por indústrias da porção paulista da bacia (Figura 24)

Nesta etapa da análise, foram identificadas um total de 27 estratégias adaptativas implementadas durante a crise hídrica, das quais 21 foram classificadas como ação de enfrentamento (M1) e 6 como medidas adaptativas incrementais (M2) (Quadro 6). Não encontramos medidas adaptativas que pudessem ser categorizadas como transformativas (M3) durante a crise hídrica. Ressalta-se que, mais adiante apontaremos uma única medida classificada como transformativa, contudo, sua implementação ocorre no momento pós-crise, e por isso não é abordada nesta seção.

Figura 24 - Categorias de estratégias adaptativas e número de citações marcadas nos documentos durante a crise hídrica



Fonte: A autora, 2025

Legenda: Os dados são provenientes do software Atlas.ti. As estratégias adaptativas foram classificadas em três categorias: ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e

medidas adaptativas transformativas e aplicadas aos documentos, o que gerou um número de vezes que foi identificada.

As estratégias adaptativas identificadas estão de acordo com aquelas encontradas por Vasconcellos et al. (2022), que, em sua pesquisa, desenvolveu uma metodologia para identificação dos impactos da crise hídrica nos diversos setores usuários das águas do Paraíba do Sul. A única exceção foi o protocolo de comunicação paulista, que só foi encontrado nas atas do GTAOH. Por outro lado, algumas estratégias apontadas por Vasconcellos et al. (2020) não foram identificadas nas atas do GTAOH, notadamente aquelas empreendidas por municípios isoladamente; essas medidas foram obtidas pela autora por meio de questionários e entrevistas.

No quadro (Quadro 6), detalhamos ainda qual foi o principal ator envolvido na iniciativa e implementação da medida: o sistema de gestão dos recursos hídricos, isto é, as organizações do SINGREH (gestão), ou usuários de água bruta, com o setor correspondente (setor elétrico, indústria e abastecimento público).

Quadro 6 - Estratégias adaptativas implementadas durante a crise hídrica

<b>Código</b>	<b>SINGREH e usuários</b>	<b>Descrição da Medida</b>
M1	Gestão	Redução da vazão de Santa Cecília de 190m <sup>3</sup> para até 110m <sup>3</sup> de vazão mínima
M1	Gestão	Reforço do monitoramento quali-quantitativo em trechos específicos
M1	Gestão	Protocolo de comunicação entre o Instituto Estadual do Ambiente – RJ (INEA), Light, Furnas e ONS
M1	Gestão	Protocolo de comunicação paulista
M1	Abastecimento	Monitoramento mais frequente e completo da qualidade da água bruta captada pela ETA Guandu
M1	Abastecimento	Alteamento do nível da barragem
M1	Abastecimento	Aumento do uso dos produtos químicos em cerca de 20% para tratamento da água na ETA Guandu
M1	Abastecimento	Uso de outra fonte de abastecimento (água subterrânea)
M1	Abastecimento	Alteração do tipo de tratamento e aumento de uso de produto químico
M1	Abastecimento	Investimento no controle de perdas e vazamentos na rede
M1	Abastecimento	Campanha para redução de consumo pela população
M1	Abastecimento e Indústria	Instalação de bombas flutuantes
M1	Abastecimento e Indústria	Prolongamento da tubulação de captação.
M1	Indústria	Construção de poço
M1	Setor elétrico	Operação a fio d'água em usina hidroelétrica com reservatório

M1	Gestão	Redução da vazão mínima de jusante de forma prolongada de Paraibuna, Santa Branca e Jaguari (reduz a vazão momentaneamente para recuperação dos estoques).
M1	Indústria	Contratação de carro pipa para abastecimento interno
M1	Indústria	Captação de água em momentos mais favoráveis
M1	Indústria	Aumento da reserva interna das indústrias
M1	Indústria	Realocação do ponto de captação
M1	Indústria	Construir uma soleira na calha do rio Guandu
M2	Gestão	Reativação do GTAOH, grupo de trabalho criado na crise hídrica de 2001-2003
M3	Gestão	Definição e pactuação de novas regras de operação
M1/ M2	Abastecimento	Ajustes dos sistemas de captação
M2	Gestão	Plano de Ações Complementares para Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul.
M2	Abastecimento	Alterar ponto de captação
M2	Indústria	Realocação do ponto de captação

Fonte: Organizada pela autora, informações obtidas por meio da codificação no Atlas.ti das atas do GTAOH entre 2014 e 2016, entrevistas e Vasconcellos et al. (2020).

Um ator central que não aparece nomeado neste quadro é o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), isto porque ele não é diretamente um usuário e também não está no núcleo de órgãos do SINGREH. Entretanto, o ONS desempenha importante papel no planejamento e execução da operação dos reservatórios, o que o coloca no centro das atividades relacionadas às alterações na operação durante a gestão dos eventos extremos de cheias e secas. Nesse aspecto, o ONS atua como um representante do setor elétrico com relevante influência sobre decisões que impactam os usuários do setor elétrico e dos demais setores dependentes da operação de reservatórios. Inclusive é o organismo com o qual a ANA se articula para definir regras operativas de reservatórios do setor elétrico.

#### 4.3.1 Discutindo as ações de enfrentamento durante a crise

Os principais atributos das estratégias adaptativas observados para sua classificação são abrangência espacial e duração ou recorte temporal, tomando a crise hídrica 2014-2016 como marco inicial.

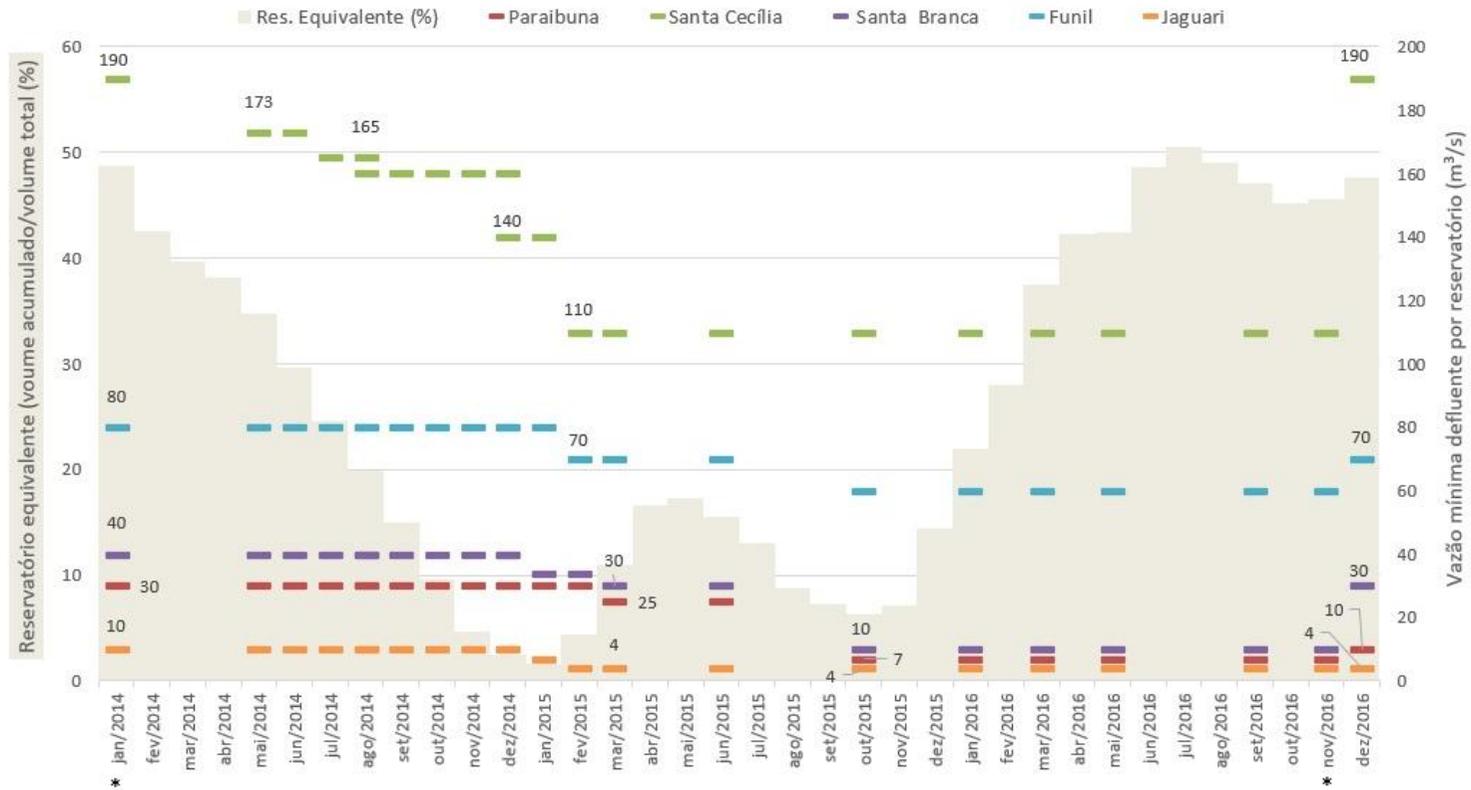
Assim, ações de enfrentamento são aquelas que tem início, meio e fim durante um momento ou durante toda a crise e no geral com abrangência espacial localizada;

essas medidas mantêm o sistema funcionando. O principal exemplo é a redução da vazão objetivo de Santa Cecília de 190m<sup>3</sup> para até 110m<sup>3</sup> de vazão mínima. Esta medida foi executada com reduções sucessivas, à medida que gestores e usuários conseguiam realizar ajustes para manter suas captações e usos funcionando. A estratégia ficou restrita ao período da crise hídrica, sua operação envolveu diretamente o ONS e as unidades geradoras de energia hidroelétrica, em ação coletiva coordenada com os usuários mais vulneráveis. Seus efeitos foram sentidos em toda a Bacia do Paraíba do Sul e do Guandu, embora haja controvérsias quanto aos efeitos sobre as vazões no baixo Paraíba do Sul, pois neste trecho a influência da operação do Sistema Hidráulico sobre as vazões é reduzida.

Naquele momento a interligação Jaguari-Atibainha ainda estava em discussão. As mudanças na operação do sistema hidráulico trouxeram aprendizados e informações que contribuíram para o maior conhecimento do Sistema socioecológico (desde questões técnicas e operacionais de capacidade do maquinário a questões ambientais de deterioração da qualidade da água e represamento de peixes), bem como para as discussões para o estabelecimento das novas regras de operação do sistema hidráulico.

As discussões e decisões para cada uma das reduções de vazão, durante a crise hídrica, foram feitas no âmbito do GTAOH/CEIVAP, com ampla participação de seus integrantes, seguidas da validação da ANA, que tem a atribuição legal de regular a alocação das águas do sistema hidráulico, por meio de resoluções temporárias que alteravam a resolução anteriormente em vigor Nº 211/2003 (Figura 25).

Figura 25 - Vazões mínimas estabelecidas em atos normativos entre 2014-2016



\*Nota: Vazões mínimas em jan/2014 correspondem aos estabelecidos pela Resolução ANA nº 211/2003, revistas sucessivamente pelos atos de maio de 2014 a novembro de 2016. Os valores em dez/2016 permanecem vigentes até a atualidade de acordo com a Res. ANA nº 1.382/2015.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025. Dados provenientes do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR/ANA) para Reservatório Equivalente; determinações das seguintes Resoluções da ANA (ou conjuntas) para a vazão mínima defluente dos reservatórios: 211/2003, 700/2014, 898/2014, 1038/2014, 1072/2014, 1309/2014, 1516/2014, 1603/2014, 1779/2014, 2048/2014, 2051/2014, 86/2015, 145/2015, 215/2015, 714/2015, 1204/2015, 1382/2015, 65/2016, 288/2016, 561/2016, 1188/2016.

Em resumo, mesmo tendo ampla abrangência na bacia, o que define a redução da vazão objetivo de Santa Cecília de 190m<sup>3</sup> para até 110m<sup>3</sup> de vazão mínima como uma ação de enfrentamento, é o seu caráter temporário e de contingência, restrito ao período da crise hídrica. Seu objetivo foi manter o funcionamento do Sistema no momento de crise com o menor impacto possível – em caráter excepcional, com um aprendizado baseado na prática, apoiado por modelagens hidrológicas a curto prazo e pelo acompanhamento dos seus efeitos em tempo real.

Um exemplo de ação de enfrentamento do setor usuário de abastecimento público é o investimento no controle de perdas e vazamentos na rede, entendida assim, pois se restringiu ao momento da crise hídrica e foi executada pontualmente. Segundo Vasconcellos et al. (2020), somente sete municípios tomaram essa medida: Barra do Piraí (RJ), Vassouras (RJ); Paraíba do Sul (RJ), Sapucaia (RJ), Itaocara (RJ), São Fidélis (RJ), São João da Barra (RJ). Tal medida, apontada como imprescindível e indicada para a gestão da demanda no contexto de mudanças climáticas (ANA 2016) poderia contribuir para tornar o sistema mais resiliente; no entanto, precisaria ser mais abrangente, com monitoramento e melhorias contínuas.

O Atlas das Águas (ANA, 2021c) analisa os sistemas de abastecimento em todo o país. O estudo traz uma classificação do desempenho técnico da infraestrutura e gerenciamento de perdas. De acordo com este indicador (com 5 classes - A1, A2, B, C, D), a cidade de São Paulo está na categoria B – Potencial para melhorias significativas, quando há necessidade de considerar gerenciamento de pressão, práticas melhores de controle ativo de vazamentos, e melhor manutenção da rede; e a cidade do Rio de Janeiro na D – Uso muito ineficiente dos recursos, quando a redução de perdas é prioritária. O desempenho técnico da infraestrutura das maiores cidades do país, beneficiárias das águas do Paraíba do Sul enfatizam a necessidade urgente de medidas que reduzam as perdas para que a pressão do aumento da demanda não intensifique a escassez hídrica em tempos de seca na bacia.

No setor usuário industrial, encontramos uma estratégia tipicamente de enfrentamento: a contratação de carro pipa para abastecimento interno. Tal ação, empregada em situações emergenciais, é restrita no tempo e na abrangência espacial.

#### 4.3.2 Discutindo as medidas adaptativas incrementais durante a crise

Já as medidas adaptativas incrementais são aquelas que perduram após o término da crise, e podem ser oriundas de um aprendizado decorrente de um momento anterior ou da observação de outro sistema socioecológico. Além disso, medidas incrementais costumam ter uma abrangência espacial maior, com efeitos que repercutem na bacia como um todo e, em geral, melhoram a flexibilidade do sistema para eventos futuros. É possível ainda, que medidas incrementais sejam executadas no momento pós-crise, por meio de planejamentos e ações para prevenção e mitigação de secas. Exemplos de medidas incrementais foram os ajustes de sistemas de captação de abastecimento público e industrial e a realocação do ponto de captação da Ternium (indústria situada no canal São Francisco) para 16km a montante (Vasconcellos et al., 2020).

Ambas as medidas tiveram ampla repercussão na bacia porque, embora pontuais, foram identificadas, até um certo momento, como uma espécie de condicionante para efetivação da redução da vazão defluente em Santa Cecília ao limite mínimo, tanto para o rio Guandu, quanto para seguir no leito do Paraíba do Sul. Assim, as reduções eram intensificadas à medida que os usuários conseguiam ajustar-se para manter o estado de atendimento dos usos da água. Quando a crise se intensificou e a CEDAE-Guandu conseguiu se adaptar para níveis de captação mais restritivos, o atendimento aos usuários no Baixo Guandu não pode mais ser feito plenamente, em função da necessidade urgente de economizar águas nos reservatórios para o abastecimento público nos meses seguintes, em especial para a RMRJ durante as Olimpíadas em 2016 (entrevistado 10).

As medidas do setor de abastecimento público também contribuíram para melhorar a flexibilidade dos sistemas de captação, que passaram a poder operar com níveis mais baixos do Rio Paraíba do Sul. Quanto à Ternium, a realocação do seu ponto de captação eliminou o risco de intrusão salina em momentos de estiagens e marés altas.

#### 4.3.3 Discutindo as medidas adaptativas transformativas durante a crise

Por fim, medidas transformativas são aquelas que perduram no tempo e são capazes de modificar a lógica de funcionamento do sistema, provocando profundas mudanças em aspectos relevantes para gestão sustentável dos recursos hídricos. Mobilizam múltiplas dimensões da capacidade adaptativa, com repercussões em todo o sistema socioecológico. Neste sentido, a definição e pactuação de novas regras de operação promoveram mudanças significativas na lógica de operação do Reservatório Equivalente. As novas regras operativas foram pactuadas durante a crise hídrica e resultaram na Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1.382/2015. No entanto, o ato normativo só começou a valer a partir de dezembro do ano seguinte, quando os reservatórios começaram a recuperar o armazenamento. Por isso, tal estratégia adaptativa será discutida na próxima seção, sobre o período pós-crise.

#### **4.4 Estratégias adaptativas na Bacia do Paraíba do Sul pós-crise hídrica 2014-2016**

As estratégias adaptativas pós-crise hídrica ganharam forma a partir do aprendizado vivenciado durante o enfrentamento da crise. Este é claramente o caso da modificação das regras operativas do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu. Após a crise hídrica, algumas ações inéditas tomaram forma, por exemplo, projetos dispersos, que tratavam da segurança hídrica em tempos de mudanças climáticas no estado do Rio de Janeiro foram agrupados no Plano de Adaptação às Mudanças Climáticas (PROSEGH, 2021). Por sua vez, o Plano de Risco da Bacia do Rio Paraíba do Sul (PGR, 2022) e o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH, 2019) ganharam uma primeira versão.

Identificamos e discutimos as estratégias adaptativas pós-crise hídrica com base em documentos e relatórios técnicos oficiais, tais como os Planos de Bacia, a Resolução Conjunta ANA, DAEE, IGAM e INEA nº 1382/2015, as reuniões do GAOPS transmitidas via YouTube, as atas de reunião do GTAOH a partir de 2017, o Plano de Gerenciamento de Riscos da Bacia do Rio Paraíba do Sul, Programas Estaduais de enfrentamento as Mudanças Climáticas, além de outros programas e ações nacionais

e estaduais que visem ao planejamento para preparação e enfrentamento às secas e escassez hídrica e tenham repercussões sobre o Sistema Socioecológico da Bacia Paraíba do Sul.

As estratégias adaptativas do período pós-crise hídrica podem estar em execução, ou apenas fazerem parte de uma espécie de lista de próximas ações, em documentos de instituições, ou seja, podem não ter preenchido todos os requisitos técnicos, institucionais, políticos e financeiros para sua implementação parcial ou total. Em decorrência disso, a análise das estratégias desse momento é feita diretamente sob o lente do quadro analítico da Capacidade Adaptativa Institucional e Local às Secas e Escassez Hídrica, muitas vezes sem um parecer sobre a fase em que se encontram no momento.

Na sequência, estas estratégias foram analisadas, tanto sob a perspectiva da sua classificação (ações de enfrentamento, medidas incrementais e transformativas) quanto das dimensões de capacidade adaptativa atribuídas às mesmas, conforme quadro analítico apresentado no capítulo 3. A natureza da fonte dos dados e informações das estratégias pós crise identificadas anuncia que são de iniciativas de atores institucionais, que são organizados em nível de bacia hidrográfica, estados e União.

#### 4.4.1 Estratégias adaptativas específicas para a Bacia do Rio Paraíba do Sul e Sistema Hidráulico

##### *Regras operativas do Sistema Hidráulico e criação do GAOPS*

A **Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1.382/2015** define limites para a vazão de água em diferentes pontos do sistema hidráulico, com o objetivo de evitar o deplecionamento acentuado dos reservatórios e oferecer segurança hídrica para o abastecimento em períodos de seca e atendimento aos usos múltiplos. Esta é uma medida adaptativa transformativa, pois abrange o Sistema Hidráulico com repercussões em todo o sistema socioecológico, apresenta continuidade ao longo do tempo e provoca profundas mudanças nas regras operativas do Reservatório Equivalente.

Ao focar na operação do Sistema Hidráulico, o ato impõe restrições ao setor elétrico para acomodar os demais usos múltiplos, com definição de vazões em pontos de controle do Sistema. Assim, as regras funcionam como uma macroalocação, condicionando a disponibilidade hídrica da bacia através do controle das vazões efetuado pela operação do Reservatório Equivalente. Já a 'microalocação' entre usuários é organizada pela outorga de direito de uso da água, que dependendo da dominialidade é feita pela ANA ou pelo órgão gestor estadual. Observa-se a partir da análise dos instrumentos de macro e microalocação das águas, a ausência de mecanismos de controle do uso (demanda) considerando as particularidades por setor usuário. Poder-se-ia incluir no aspecto da demanda a definição de condições mínimas de eficiência do uso, como controle de perdas e tratamento de efluentes, em um cronograma de médio/longo prazo de condicionantes para as novas outorgas e suas renovações na bacia, por exemplo.

Na mesma resolução, são estabelecidos mecanismos de acompanhamento e gestão da operação do sistema, incluindo a criação de um grupo de assessoramento, o **GAOPS**, responsável por propor soluções alternativas em situações de crise hídrica.

O GAOPS, composto por representantes da ANA, DAEE, IGAM, INEA, ONS e CEIVAP (Portaria ANA nº 599/2023) acompanha permanentemente a operação do Sistema. O Grupo de Assessoramento tem como objetivos: realizar o acompanhamento permanente da operação do Sistema; analisar e propor soluções alternativas às operações estabelecidas na resolução. O ONS pode solicitar à ANA operação especial do Sistema Hidráulico do Paraíba do Sul, desde que devidamente justificada, quando se aproximam os períodos de cheias, por exemplo, mesmo antes do estabelecimento da operação de controle de cheias específica planejada pelo ONS.

As novas regras de operação do Sistema Hidráulico estabelecidas com participação dos órgãos gestores estaduais, em vigor desde 2016, e a criação e o funcionamento permanente do GAOPS são claramente avanços decorrentes da crise hídrica, principalmente se considerarmos que para firmar o acordo foi necessária a mediação do Supremo Tribunal Federal. Apesar de inovações, como a percepção de um volume adicional de água dos reservatórios (volume morto do reservatório de Paraibuna), que pode ser mobilizado em momentos de seca e escassez hídrica, a lógica continua centrada em soluções do lado da oferta e da projeção do clima

passado como clima futuro. Além disso, a resolução conjunta e a criação do grupo de assessoramento permitem um monitoramento próximo das condições de armazenamento dos reservatórios, contribuindo para percepção quase que instantânea de um período crítico de vazões reduzidas, antes que haja fortes repercussões no armazenamento dos reservatórios.

Um olhar mais atento, no entanto, observando o conjunto de estratégias adaptativas pós-crise hídrica, nos levam a supor que os gestores e usuários da bacia acreditam nas regras operativas como uma solução mais fácil para o problema das secas e escassez hídrica na bacia, sobretudo no trecho sob maior influência do Sistema Hidráulico, gerando uma acomodação de interesses que retardam a adoção de outras medidas adaptativas mais consistentes com a capacidade adaptativa, como a própria proteção dos mananciais, levando o sistema para um estado não tão desejável assim. Em outras palavras, pode tornar-se uma má adaptação pelo seu potencial inibidor de transformações outras para lidar com secas e escassez hídrica no novo contexto de incertezas que se encontra o sistema socioecológico.

#### *Ajustes de sistemas de captação*

A adequação das estruturas de captação feitas durante a crise hídrica 2014-2016 é retomada aqui para analisar a situação pós-crise, uma vez que pode ser entendida como uma medida adaptativa incremental sob certas condições. O ajuste das captações no RPS foi tratado em um Plano de Ações Complementares para gestão da crise hídrica elaborado pela ANA no auge da crise (ANA, 2015b), com apoio técnico e financeiro do CEIVAP e órgãos gestores estaduais. Compreendemos que as adequações nas captações, se mantidas com as manutenções necessárias, são suficientes para situações de escassez hídrica como a enfrentada naquele período. No entanto, diante de incertezas decorrentes da aceleração das mudanças climáticas, se faz necessária a avaliação e melhorias dos ajustes, que tornem o sistema cada vez mais flexível, inclusive para situações de seca e escassez hídrica ainda mais críticas. Além, é claro, da mencionada necessidade de estabelecer medidas claras de controle da demanda

Adicionalmente, mais uma vez, são minimizadas as preocupações com o controle da demanda hídrica quantitativa, tanto em situações normais quanto

emergenciais de escassez. São exemplos a redução de perdas (em especial no abastecimento público) e o uso de tecnologias com menor uso da água (em especial na indústria). Os usuários são mais estimulados a promover ações sob o lado da oferta e da adaptação de captações de água em situações de escassez (por ex., bombas reserva para captação em nível operacional baixo) do que em controlar seu uso, seja por meio de ações normativas (como a imposição de eficiências mínimas em atos de outorga) ou de ações de estímulo (como financiamento).

A adaptação de captações está diretamente associada às condições necessárias para que a Resolução Conjunta seja cumprida sem impor dificuldades aos sistemas de abastecimento público. Para sua implementação foram mobilizadas as dimensões da capacidade adaptativa: aprendizado ao monitorar os níveis dos rios com a aplicação de vazões reduzidas foi possível identificar as captações afetadas e as campanhas de vistoria avaliaram as adaptações necessárias em cada captação; flexibilidade, uma vez executadas as adequações a operação dos reservatórios ganhou maior amplitude de manobras para vazões reduzidas e aumentadas; colaboração e recursos técnicos e financeiros provenientes dos órgãos gestores e do CEIVAP com as companhias e sistemas municipais de abastecimento público para diagnóstico e execução das ações.

Enquanto os ajustes das captações foram necessários durante a crise hídrica se configuraram como ações de enfrentamento; avaliação, manutenção técnica e execução de melhorias apropriadas, bem como o efeito de maior flexibilidade para operação do sistema determinam se tal ação pós-crise passa a ser medida adaptativa incremental. Neste sentido, foi verificado que (i) órgãos gestores e entidades de bacia não possuem informações atualizadas sobre a situação atual das captações no Rio Paraíba do Sul; (ii) Pelo menos em uma captação, SAAE de Barra Mansa-RJ as adaptações e equipamentos necessários foram desmobilizados; (iii) Pelo menos uma captação, a do SAAE-Jacareí (SP) que não precisou de adaptação durante a crise hídrica 2014-2016, apresentou dificuldades e precisou de ajustes, em 2021.

Essas informações foram verificadas em três entrevistas e em atas do GTA OH pós-crise hídrica. O trecho extraído da conversa com o entrevistado (5), ilustra os três aspectos citados sobre os ajustes nas captações:

São sistemas antigos criados para um nível de rio. Onde você tinha que fazer adaptações à estrutura de abastecimento para pegar água. Nós temos quatro SAAE grandes, que eram [...] Aparecida do Norte, Volta Redonda, Barra

Mansa e Três Rios. Eles não conseguiam se resolver sozinhos [...]. Então as bombas que tem instaladas nesses quatro municípios são da AGEVAP. [...] bombas flutuantes, que podem suportar essa queda, esse rebaixamento e levantamento do rio. Então, mas esse é um trabalho [avaliação do estado das captações do RPS que foram ajustadas] que tem que ser feito, o comitê não fez ainda [...]. Os feitos pelas companhias estaduais, a gente não acompanha mais de perto, mas teoricamente eles estariam funcionando. [...] Por exemplo, o SAAE de Jacareí [...] tinha uma capacidade técnica para fazer sozinho. Sofreu com alguns problemas, mas a priori já está adaptado também. Então, mas eu acho que vale a pena, o comitê contratar e [...] fazer uma revisão dos 20 pontos, como é que estão.

O trecho extraído a Ata do GTAOH de 20/09/2021 retrata o mesmo desconhecimento quanto a situação das captações no Rio Paraíba do Sul:

A Sra. Larissa Costa (INEA) perguntou ao Sr. Juarez (Município de São José dos Campos) se no município há problemas de captação ou problemas com desabastecimento para a população. O Sr. Juarez Vasconcelos (Município de São José dos Campos) informou que 62% dos municípios do vale do Paraíba realizam a captação superficial no Rio Paraíba do Sul, só que atualmente não há um levantamento sobre o grau de dificuldade que esses municípios estão enfrentando.

Vale esclarecer a situação do SAAE-Jacareí, que com a redução dos índices pluviométricos em 2021 e dificuldades técnicas de seu sistema de captação pouco adaptados, solicitou que fossem mantidas vazões defluentes dos reservatórios mais elevadas, em um momento de recessão, no qual a operação do Sistema estava voltada para a conservação dos volumes armazenados, até que obras de adequação fossem contratadas e executadas. O entrevistado (2) destaca a demora do SAAE de Jacareí para solucionar o problema de sua captação:

Jacareí sempre demorou a fazer as obras nas captações dele, botar captação flutuante, adaptar a captação fixa, ou problemas administrativos, ou seja, quando uma determinada gestão estava fazendo as coisas e mudava o governo, mudava a equipe toda, começava tudo do zero (Entrevistado 2).

Os baixos índices pluviométricos verificados em 2021, causaram apreensão inclusive às indústrias instaladas no município de Jacareí:

A Sra. Camila Reggiani (CIESP Jacareí) comentou que, em relação ao nível de atenção para os usuários, compreendeu que deverão se preocupar com o risco de restrição de vazão, com o risco de captação e com a qualidade do rio a partir de dezembro já que em novembro ainda será trabalhado o foco na redução dos reservatórios e depois seria o início de restrição de vazão para recuperar os armazenamentos. Ela perguntou se esse seria o raciocínio correto para compreender melhor esta nova realidade, pois é preciso tentar como usuário focar nos cronogramas internos para manter as ações de captação garantida.” (Ata do GTAOH 06/2021, citação 161: 17)

Quanto ao SAAE de Barra Mansa, a troca de gestores favorece ao enfraquecimento da dimensão aprendizado, até pela perda de “memória” sobre os impactos da crise hídrica. A partir disso, abre-se a perspectiva de um pensamento que vai na contramão da capacidade adaptativa, assim, o equipamento, no caso a bomba flutuante instalada, perde função e importância, além de representar um custo adicional desnecessário para operação do sistema de abastecimento, devendo, portanto, ser extinta, como demonstrado na fala do entrevistado (8):

essa adaptação na captação durante a crise hídrica de Barra Mansa foi desfeita. Aí o CEIVAP pegou [a bomba], porque esse é o patrimônio do CEIVAP, emprestou para uma [...] empresa de São Paulo. Não sei se era Guaratinguetá ou Jacareí, que estava com problema na sua captação. Uma bomba que custou um milhão e meio, Barra Mansa devolveu porque ela não tinha utilidade. E o rio está cheio. [...] não pensa no futuro (Entrevistado 8).

Na ata da reunião do GTAOH de 20/09/2021 foi esclarecido o que motivou da desmobilização da bomba flutuante:

Sr. Edson Falcão (SEAS) perguntou a ela [Sra. Vera Lúcia] se seria possível confirmar se a bomba flutuante está funcionando ou precisa de instalação ou algum reparo. A Sra. Vera Lúcia (CBH MPS) comunicou que para a bomba funcionar é preciso alugar um gerador, pois não há capacidade de energia para a instalação dessa bomba e que há uma negociação atual para a compra de um gerador ou o estudo de uma fonte de energia mais viável. O Sr. Edson Falcão (SEAS) sugeriu uma reunião junto com o INEA, a SEAS e o Comitê do Médio Paraíba para conversar sobre as perspectivas de prazo e se prepararem para possíveis eventualidades.

### *Programas, projetos e ações do PIRH – PS*

As estratégias adaptativas identificadas no Plano de Bacias do Paraíba do Sul (PIRH-PS, 2021) estão dispersas pelo plano. Por isso, apresentamos o plano no que é relevante para a análise e em seguida discutimos as estratégias adaptativas.

ANA e CEIVAP coordenaram a elaboração do PIRH, que foi desenvolvido em conjunto com os comitês estaduais, à exceção da porção paulista, que elaborou no mesmo período seu próprio plano, compatibilizado com o PIRH na sequência. Acserald et al. (2021) e Ferreira et al. (2023) destacam o caráter integrador do plano com a efetiva participação e colaboração de organismos colegiados de toda a bacia. Além disso, a elaboração do Plano durou quase uma década, tendo sua conclusão viabilizada justamente pela pactuação entre os comitês e órgãos gestores pela

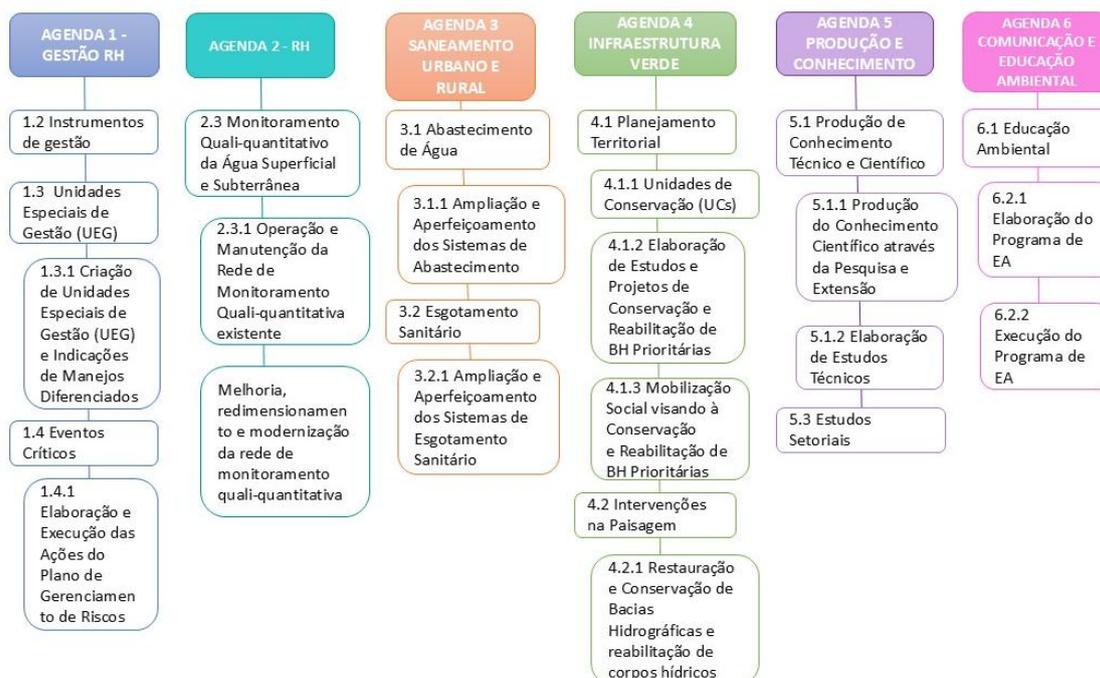
construção de “Planos de Ação de Recursos Hídricos das bacias afluentes, conferindo *legitimidade e ganho de escala* ao processo de planejamento” (Acserald et al., 2021).

A pactuação entre os atores envolvidos na elaboração do PIRH considerou um aspecto sensível para implementação das ações dos Planos de Gestão, que é o financiamento (Muylaert, 2018). Por meio do Manual Operativo (MOP) foi feito um detalhamento dos investimentos a serem realizados para cada ação pelo CEIVAP, comitês estaduais ou em conjunto pelos próximos 15 anos, horizonte de execução do Plano (PIRH-PS, 2021). As ações previstas no PIRH – PS que são de responsabilidade de outros setores devem ser custeadas por instituições externas ao SINGREH, o que exige esforços na integração setorial, prevista na Lei das Águas, mas de difícil execução na prática.

O PIRH-PS (2021) agrupou suas ações em seis agendas (Figura 26), das quais destacamos ações que refletem preocupações que podem direcionar a bacia para uma relação mais alinhada à adaptação e resiliência em sistemas socioecológicos.

Figura 26 - Agendas do PIRH que contribuem para estratégias adaptativas às secas

**Agendas do PIRH-PS em destaque para as estratégias adaptativas para secas e escassez hídrica**



Fonte: Adaptado do PIRH-PS (2021). Ações citadas no texto. Para Programa de ações completo verificar o PIRH-PS (2021).

Tais ações conferem relevância na gestão para qualidade ambiental da bacia, ainda que não subvertam a lógica de incremento da oferta por meio de grandes obras e infraestruturas, que apesar de essenciais, têm sua capacidade de resolver a escassez hídrica super dimensionada (Castro, 2022).

Incluir o saneamento na agenda (3) é essencial para enfrentar a poluição hídrica; a infraestrutura verde (agenda-4) incorpora o aprendizado obtido com o funcionamento natural do sistema socioecológico e dos serviços ecossistêmicos; o aprendizado, dimensão fundamental da capacidade adaptativa, tem em um de seus pilares a produção do conhecimento sobre o sistema (Agenda-5); a comunicação e a educação ambiental (Agenda-6) podem incentivar a participação ativa da sociedade nas discussões e engajamento em ações necessárias em momentos de seca e escassez hídrica. A proposição de elaboração e execução das ações de Plano de Gerenciamento de Riscos (Agenda-1) para a bacia indicam a preocupação com eventos extremos, apontado como um dos problemas críticos para gestão da bacia pelo estudo técnico. O PIRH-PS estabeleceu diretrizes para aprimoramento e padronização dos instrumentos de gestão (Plano de recursos hídricos, enquadramento, outorga, cobrança e sistema de informações). Essa estratégia mantém o funcionamento e o atendimento aos usos múltiplos em condições de normalidade, ao mesmo tempo em que reúne informações (dados atualizados e integrados, volume outorgado e captado) e melhora a qualidade ambiental geral da bacia (estímulo ao aumento da eficiência no tratamento do efluentes lançados e de sua carga orgânica).

O PIRH-PS delimitou 26 áreas prioritárias, com indicação de restrição de uso, para isso, em considerou além de situação crítica qualitativa e quantitativa, outros riscos como inundação, mas não incluiu secas. Essas áreas serão foco para intervenções e investimentos em saneamento com ênfase no esgotamento sanitário e recomposição florestal. Ambas as ações são relevantes para melhorar a qualidade ambiental da bacia de forma geral. Estas são estratégias adaptativas importantes para atacar as condições mais vulneráveis, otimizando recursos escassos, no entanto é preciso avaliar os efeitos sobre a bacia como um todo para definir o tipo de estratégia e se a mesma coloca a bacia em um rumo mais adaptativo a partir da apropriação das dimensões da capacidade adaptativa. Inicialmente, embora as ações não estejam voltadas para gestão de secas e escassez hídrica, elas conferem melhor capacidade

de resposta diante de eventos desse tipo. Outro destaque, por relacionar-se as dimensões de colaboração, participação, aprendizado, recursos financeiros e técnicos positivamente, é que as áreas prioritárias para recomposição florestal foram estabelecidas a partir de programas já existentes nos estados<sup>16</sup>, o que caracteriza uma junção de esforços em ações que já estão em andamento, e abre a oportunidade de aproveitamento do aprendizado já adquirido, das parcerias já estabelecidas, da otimização do investimento já executado e desse modo permitindo o aumento do alcance das ações, ampliando os efeitos positivos para capacidade de resposta da bacia aos eventos extremos. Desse modo, o PIRH-PS conectou a sua agenda 4 de infraestrutura verde com o objetivo comum dos programas dos estados de proteção dos recursos hídricos.

A agenda de Recursos Hídricos (2) contempla a dimensão de aprendizado quanto a necessidade de disponibilidade de dados passados e em momento atual, e sempre que possível, real, integrados para toda a bacia para permitir tanto a existência no futuro de uma rede mais densa de dados para modelagens, bem como para acompanhar o desenvolvimento de ações para melhoria da qualidade ambiental da bacia à medida que são implementadas e em momentos de secas e escassez hídrica.

A agenda de saneamento urbano e rural (3) traz, entre outros, o programa de “Ampliação e aperfeiçoamento dos sistemas de esgotamento Sanitário”, que aplica Recursos financeiros e técnicos da gestão dos recursos hídricos, em colaboração com municípios para a elaboração de estudos de saneamento básico com foco no esgoto sanitário. Ações que contribuem significativamente para melhoria da qualidade ambiental da bacia e maior flexibilidade para operação dos reservatórios com vazões reduzidas. No entanto, essas não são medidas adaptativas transformativas, pois embora colaborem para mudança na lógica de “utilizar águas limpas para diluição de esgotos” como ocorre na captação da ETA Guandu (PIRH-PS, 2021). (ainda são pontuais, promovidas em pequenas áreas prioritárias. Além disso, os estudos técnicos

---

<sup>16</sup> Os programas dos estados são (PIRH-PS – Resumo executivo. (2022) pág. 57):

UP Paulista: Metodologia de Avaliação de Oportunidades de Restauração (ROAM).

UPs Mineiras: Projeto Conexão Mata Atlântica, Planejamento Sistemático da Conservação e da Restauração da Biodiversidade e dos Serviços Ambientais dos Biomas Cerrado, Caatinga e Mata Atlântica;

UPs Fluminenses: metodologia aplicada no Atlas dos Mananciais de Abastecimento Público do Estado do Rio de Janeiro.

são apenas o primeiro passo para a implementação desafios como os elevados custos e a necessidade de integração com entidades externas ao SINGREH ainda precisam ser superados.

A qualidade da água na lagoa de captação da ETA-Guandu é um problema que precisa ser solucionado para melhorar a segurança hídrica da metrópole do Rio de Janeiro, que se constitui ainda como uma medida para redução da pressão da demanda na bacia do Guandu, com o benefício extra de criar uma reserva de água futura, de fato estratégica. Durante a crise hídrica, a situação de criticidade da qualidade da água em todo SSE-BPS, foi levantada pelo menos, 48 vezes nas reuniões do GTAOH e entrevistas de atores do SINGREH. A exemplo deste trecho da ata GTAOH do dia 28/04/2015:

O representante da Light disse, ainda, [...] que não é correto aumentar a vazão para diluir o esgoto e sim o tratar [...]. Destacou também que a maior afluência ao reservatório de Lajes é proveniente do túnel de Tocos e que a manutenção de uma vazão a jusante de Tocos reduziria o armazenamento de Lajes podendo comprometer a reserva estratégica para o atendimento ao Rio de Janeiro.

A agenda de Infraestrutura Verde traz os principais programas em relação a melhoria da qualidade ambiental da bacia, com potencial para promover a criação e implementação de medidas adaptativas transformativas, no entanto o pequeno recorte territorial às áreas prioritárias da bacia, limita os efeitos para recuperação ambiental dessas medidas. O aspecto positivo é que a colaboração entre os entes federativos e a participação no processo técnico e decisório de definição das áreas prioritárias para a intervenções, que permitiu a integração com programas já em andamento apontam para a perspectiva de que essa é uma agenda comum em todo o território da bacia.

A produção de conhecimento (Agenda 5) está diretamente relacionada às dimensões da capacidade adaptativa de aprendizado e participação. Os programas que visam a integração entre ciência na academia e gestão da bacia, inclusive para elaboração de estudos técnicos, capacitação de funcionários da agência de bacia, e também estudos setoriais (indústria, agropecuária, extração mineral e saneamento) ampliam o aprendizado. A participação de atores da sociedade civil como a academia pode promover a troca de aprendizado prático e teórico com a promoção do avanço de soluções técnico-científicas, que tem feito parte do histórico da gestão das águas e de seus instrumentos

O PIRH-PS trouxe recomendações para setores usuários, que podem vir a contribuir para criação de estratégias adaptativas por parte desses atores. Destaca-se pela relevância para lidar com a redução das vazões necessárias para períodos de secas e escassez hídrica, a “verificação e adaptação das estruturas existentes às regras de operação de reservatórios, especialmente com relação a Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA n° 1382/2015.”,

O PIRH-PS (2021) tem funcionado como um orientador da gestão da bacia, inclusive a pactuação quanto ao financiamento das ações do plano sob responsabilidade conjunta do comitê federal e dos comitês estaduais, como destaca o entrevistado (5):

Todos os projetos vão ser feitos porque ele [CEIVAP] está seguindo o plano à risca. Ele segue o plano [...]. As vezes como a diretoria muda, mas muito pouquinho [...]. Então, [...] ele amadureceu, as reuniões hoje não têm mais aquele negócio de dividir dinheiro entre os estados. Nós tivemos momentos de rompimento de um estado com o outro, porque chegou uma época que tinha um estado que não apresentava o projeto, mas queria o dinheiro [...]. Então, quer dizer, eu acho que essa evolução já aconteceu. Então [...], hoje o comitê CEIVAP está muito maduro.

### *Programa Mananciais*

Destacamos a principal ação de recuperação ambiental da bacia em andamento, o Programa de Investimento em Serviços Ambientais para a Conservação e Recuperação de Bacias Hidrográficas - Programa Mananciais do CEIVAP. O PIRH-PS (2021) propôs áreas prioritárias, que incluem áreas para investimentos em saneamento abrangendo municípios; áreas para investimentos em recomposição florestal, que considera os projetos já em curso na bacia; além de áreas potencialmente sujeitas à restrição de uso. Programa Mananciais do CEIVAP, se insere no contexto das áreas prioritárias para recomposição florestal e na agenda 4 – Infraestrutura verde. O programa tem como origem o PSA-Hídrico (Pagamentos por Serviços Ambientais), desenvolvido pelos estados. Como é apresentado atualmente, está organizado em um horizonte de desenvolvimento e implementação de ciclos de 5 anos entre 2020 e 2035, o programa atua em propriedades situadas em microbacias prioritárias.

Analisamos algumas características do Programa Mananciais que nos permitem classificá-lo como uma medida adaptativa incremental. Programa

Mananciais baseia-se em investimentos em serviços ambientais para a conservação e recuperação de mananciais na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. O Programa tem como objetivo geral proteger, manter, recuperar e expandir a oferta de serviços ecossistêmicos que contribuem para a qualidade e disponibilidade de água na região. As intervenções incluem: práticas mecânicas de conservação do solo, como terraços e valetas, para controlar a erosão e promover a infiltração da água; práticas vegetativas, como a restauração florestal com espécies nativas, são aplicadas para aumentar a cobertura vegetal, proteger o solo e regular o fluxo de água; promoção da certificação para incentivar práticas agrícolas sustentáveis e reduzir o impacto ambiental das atividades produtivas.

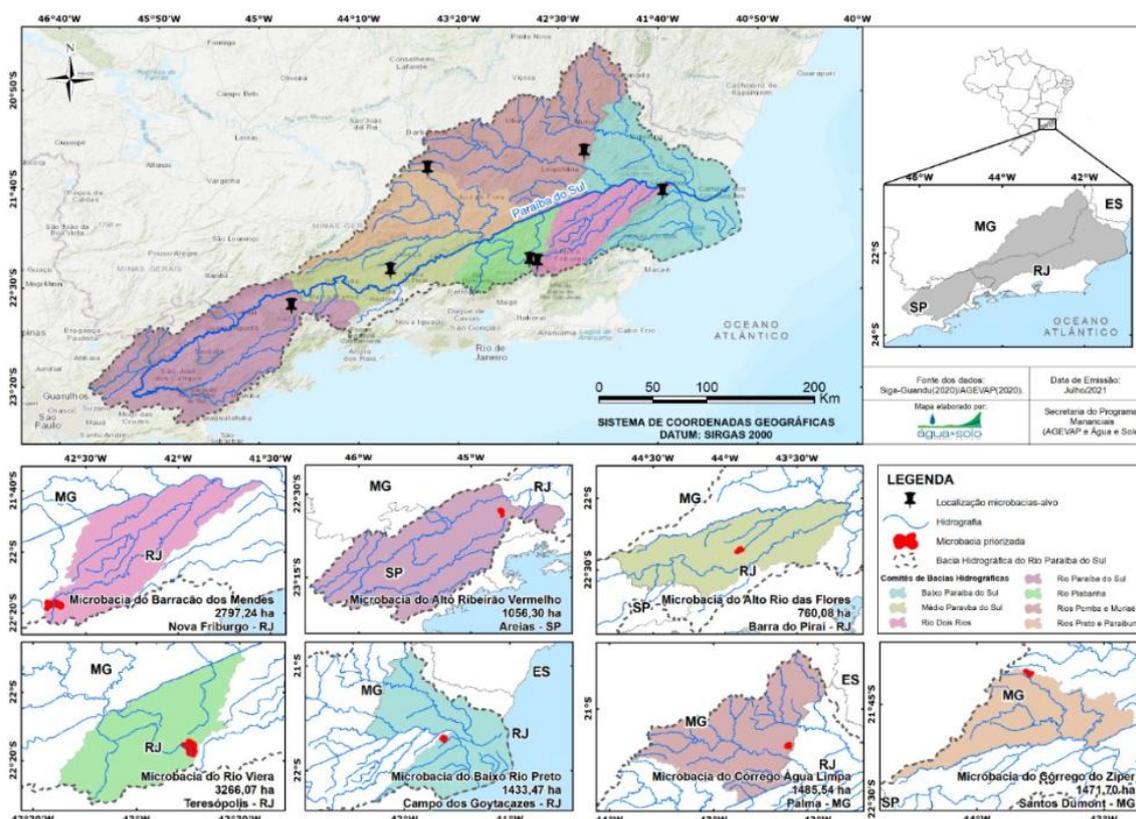
Essas ações são implementadas em nível de propriedade, selecionada a partir de critérios objetivos, situada em microbacia alvo, dentro da sub-bacia prioritária. Portanto a execução e legitimidade do programa depende do envolvimento da comunidade para mobilização dos proprietários de terras. Além da comunidade, os atores do Programa são: o CEIVAP, que implementa e financia as ações; os comitês das sub-bacias atuam como coinvestidores, a AGEVAP planeja e coordena a implementação do Programa, a comunidade da microbacia beneficiada atua voluntariamente no acompanhamento das ações, avaliação dos resultados e promoção do engajamento para continuidade das ações; empresas executoras das obras; empresas gerenciadoras de obras (as empresas são contratadas pela AGEVAP por meio de licitações públicas) e; parceiros e apoiadores como prefeituras municipais, órgãos de Assistência Técnica e Extensão Rural, universidades e centros de ensino e pesquisa, ONGs, empresas privadas etc. Essa descrição evidencia que o Mananciais envolve atores internos e externo ao SINGREH, usuários de água, proprietários de terras, comunidade local e iniciativa privada em ampla participação e colaboração.

Com pouco mais de um quinto dos recursos totais para o 1º ciclo (2020-2025) de 20,4 milhões de Reais investidos, as ações do programa estão sendo desenvolvidas em 228 propriedades situadas em sete microbacias (Figura 27), em diferentes estágios de execução, por exemplo a implantação de sistemas agroflorestais (SAFs) está em quase 16% de avanço, racionalização do uso da água chega a 57%, monitoramento das águas atingem 80%, tratamento de efluentes chega a 74,5%, no entanto a ação de projetar a instalação de sistema de tratamento de

efluentes doméstico contemplando toda a extensão territorial de maior concentração humana na microbacia não avançou.

Uma importante contribuição do PSA-Hídrico desenvolvido pelo CEIVAP entre 2014 e 2020 foi a influência para inclusão da agenda da “infraestrutura verde para produção de água” no PIRH-PS (CEIVAP, 2019). A colaboração entre os entes de bacia avançou para a nova fase, agora denominada, Programa de Investimento em Serviços Ambientais para a Conservação e Recuperação de bacias hidrográficas - PROGRAMA MANANCIAIS. Essa sinergia aponta para uma medida adaptativa transformativa potencial, uma vez que fortalece suas bases de ação e amplia suas possibilidades de execução, inclusive quanto a previsibilidade das ações do PIRH-PS (2021) e recursos financeiros oriundos do CEIVAP e comitês das sub-bacias. Além disso, Santos (2020) avalia que o Programa Mananciais aprimorou o PSA-Hídrico, corrigindo fortes fragilidades, como melhorar a transparência das ações, incluir no processo mecanismos de monitoramento e avaliação das ações e fortalecer a secretaria executiva.

Figura 27 - Localização de cada microbacia contemplada no 1º ciclo do Programa Mananciais do CEIVAP



Fonte: CEIVAP, 2020.

No entanto, pela amplitude territorial da degradação ambiental verificada na Bacia do Rio Paraíba do Sul tal programa precisa abranger mais que áreas prioritárias para de fato fazer parte do conjunto de medidas adaptativas transformativas necessárias para a mudança de chave do sistema socioecológico da Bacia do Paraíba do Sul para o sentido caminho adaptativo e resiliente.

*Plano de Gerenciamento de Risco da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PGR)*

O Plano de Gerenciamento de Risco da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PGR), como uma ação prevista no PIRH-PS (2021) foi contratado pela AGEVAP e elaborado pelo Consórcio NipponLac e Regea. Concluído em 2022, seu relatório consolidado foi analisado enquanto um documento para a pesquisa desta tese, quanto as estratégias adaptativas propostas. Para isso, apresentamos o plano e o discutimos à luz de nossos conceitos e quadro analítico.

O estudo aborda o risco em função da probabilidade de ocorrência de um evento e dos impactos relacionados, considerando os seguintes eventos: cheias, estiagens, intrusão salina (foz do Paraíba do Sul), movimentos de massa, contaminação por poluentes e rompimento de barragens. Os impactos ambientais, sociais e econômicos, por sua vez, são classificados considerando a vulnerabilidade, magnitude dos eventos e delimitação da área de ocorrência. Ao considerar os impactos ambientais sobre ecossistemas de mangues, restingas e vegetações arbóreas o Plano apresenta uma visão que contempla as necessidades de uso ambiental das águas, considerado nesta tese como um aprendizado, uma vez que foi incorporado aos estudos técnicos para o risco de seca, no pós-crise. Destaca-se que esta é a primeira vez que o tema é apresentado como um plano para a bacia. O reconhecimento dos impactos ambientais da seca é um passo importante para colocar a gestão da bacia em uma rota adaptativa transformativa, que deve ser perseguida por meio de ações que concretizem a inclusão de estratégias adaptativas neste sentido, no entanto, a análise atenta do documento, não revelou ações nesta direção, nem mesmo na fase de gestão do risco, isto é, em momentos de normalidade, quando a bacia deveria se preparar para enfrentar de modo mais adaptativo às secas e escassez hídrica.

A partir do diagnóstico do risco, foram elaborados o Plano de Gerenciamento de Risco (PGR) e o Plano de Contingência (PLANCON). O PGR se divide em duas fases: (i) gestão do risco e (ii) gestão do desastre. A gestão do risco inclui as etapas de prevenção/mitigação, atenção e alerta com foco em ações de planejamento, monitoramento, treinamento, capacitação e preparação; já durante a ocorrência do evento e após é o momento da gestão do desastre, quando as ações estão voltadas para resposta, posterior revisão das ações do PGR e monitoramento dos resultados. O estudo se preocupou em relacionar suas ações aos programas do PIRH-PS.

O PLANCON detalha as ações da gestão do risco e do desastre para estiagens. Nesta etapa, o estudo detalhou três cenários de magnitude de impacto, que caracterizam a evolução do desastre (Figura 28), a partir dos quais foram definidos gatilhos para mudança de fases e níveis da gestão do risco e do desastre.

Figura 28 - Descrição dos cenários de magnitude para estiagem

Tipologia de Desastre	Cenário de Magnitude		
	Cenário 1 - Baixa Magnitude de Impacto	Cenário 2 - Média Magnitude de Impacto	Cenário 3 - Alta Magnitude de Impacto
Estiagem	Relacionado a estiagens leves em que o total precipitado no período chuvoso anterior seja compreendido entre a média histórica e 10% inferior ao valor médio	Relacionado a estiagens médias em que o total precipitado no período chuvoso anterior seja compreendido entre 10% inferior à média histórica e 25% inferior à mesma média ou em que pelo menos dois anos sequenciais anteriores tenham sido verificados cenários de baixa magnitude	Relacionado a estiagens elevadas em que o total precipitado no período chuvoso anterior seja inferior a 75% da média histórica ou em que pelo menos dois anos sequenciais anteriores tenham sido verificados cenários de média magnitude

Fonte: PGR (2022)

A estiagem foi entendida no plano como a probabilidade de ocorrência de número de dias com vazão menor Q95%, que determinam as fases de gestão e nível do PLANCON (Figura 29).

Figura 29 -Fase de gestão, respectivas ações e gatilhos de deflagração de ações do PLANCON referente a estiagem

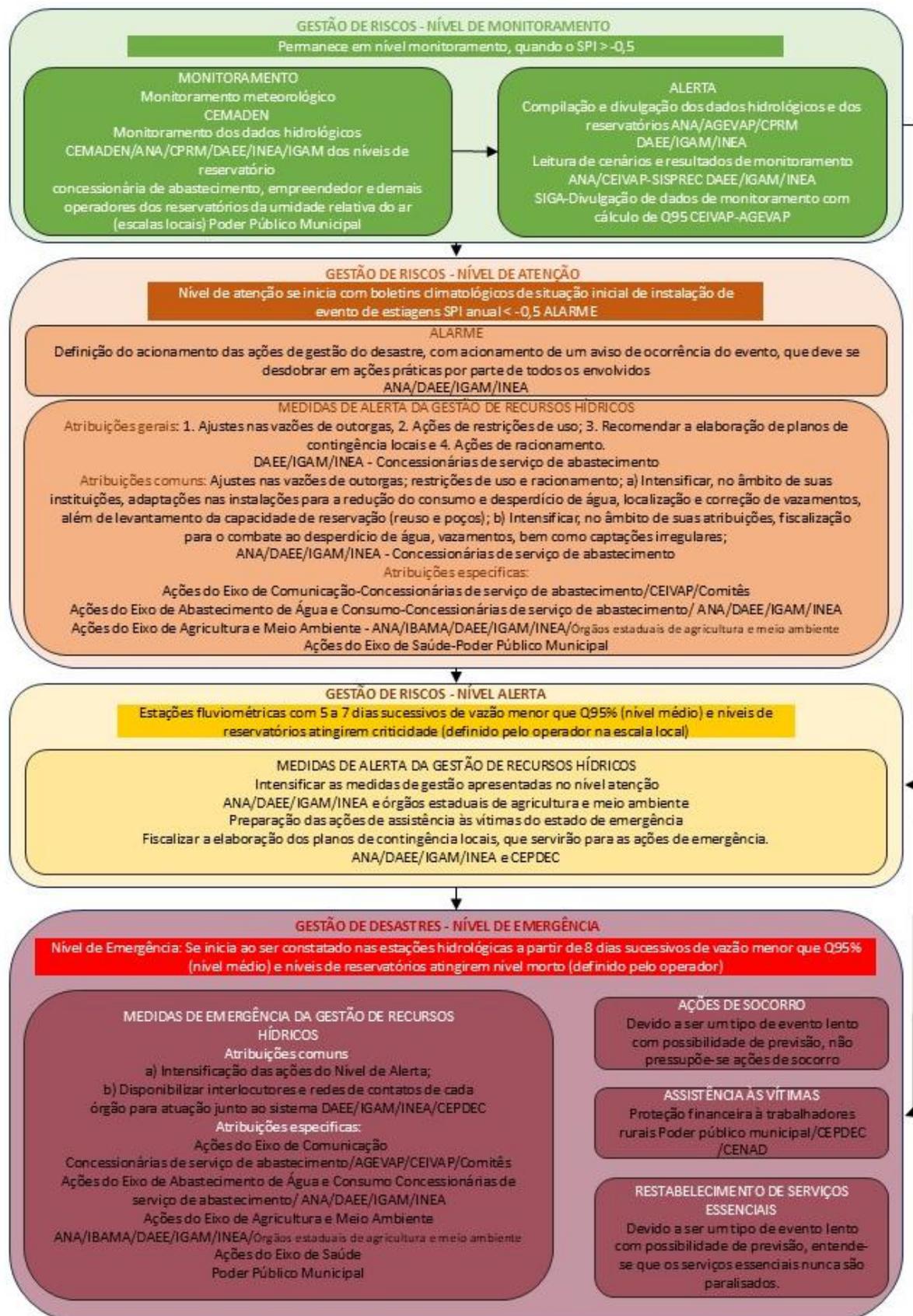
Estiagem		
Fases de Gestão	Nível PLANCON	Deflagração de fase de gestão
Gestão de riscos	Nível de Monitoramento	O Produto 2 indica a utilização do índice SPI. Permanece em nível monitoramento, quando o SPI > -0,5
Gestão de riscos	Nível de Atenção	Nível de atenção se inicia com boletins climatológicos de situação inicial de instalação de evento de estiagens SPI anual < -0,5
Gestão de riscos	Nível de Alerta	Estações fluviométricas com 5 a 7 dias sucessivos de vazão menor que Q95%* (nível médio) e níveis de reservatórios atingirem criticidade (definido pelo operador – alinhamento com procedimentos do ONS)
Gestão do desastre	Nível de Emergência	Nível de Emergência: Se inicia ao ser constatado nas estações hidrológicas a partir de 8 dias sucessivos de vazão menor que Q95%* (nível médio) e níveis de reservatórios atingirem nível morto (definido pelo operador – alinhamento com procedimentos do ONS)

Fonte: PGR-PS (2022)

A intrusão salina, analisada para a foz do Rio Paraíba do Sul foi considerada a partir relação matricial entre a suscetibilidade à intrusão salina e a ocorrência de estiagens. Esta foi a interação mais próxima entre eventos verificada no Plano, em relação as estiagens. Para o risco de poluição, a condição de estiagem foi considerada como um gatilho para o monitoramento específico. A avaliação integrada dos riscos pelo plano refere-se correlação entre as probabilidades de ocorrência de eventos adversos e os impactos ambientais, sociais e econômicos associados. Essa abordagem permite classificar os riscos em diferentes trechos de rios ou sub-bacias, variando de risco baixo a muito alto (PGR, 2022). A integração não se referiu, portanto, aos diversos eventos, que foram analisados separadamente. Assim, não foram observadas interações relevantes entre os eventos de estiagens e cheias que refletissem nas ações propostas. Apesar de esta ser uma preocupação, principalmente do ONS, frequentemente levantada nas reuniões do GAOPS.

As ações propostas pelo PLANCON estão organizadas por níveis dentro da gestão do risco e do desastre, identificadas pelos gatilhos. A deflagração de cada um dos quatro níveis, na gestão do risco: Monitoramento, Atenção e Alerta, e na gestão do desastre: Emergência, se dá pelo monitoramento do índice SPI anual e adicionalmente por número de dias com vazão menor que a referência da Q95% e níveis críticos dos reservatórios (Figura 30).

Figura 30 - Fluxograma dos níveis e respectivas ações do PLANCON de estiagem



Fonte: PGR-PS, 2022.

Nota-se nos quatro níveis a colaboração entre instituições federais e estaduais pertencentes ao SINGREH e também externas, como o CEMADEN e o CPRM, além da participação dos órgãos de bacia do poder público municipal e de usuários. No nível de monitoramento, já que há a participação da ANA e do CEMADEN poderia ser estimulada a integração das ferramentas nacionais desenvolvidas por essas instituições, o Monitor de secas e o monitoramento de impactos das secas hidrológicas, uma vez que agregam informações sobre impactos no nível local, mesmo que essas informações ainda sejam escassas.

O monitoramento, compartilhamento das informações e boletins climatológicos a da ocorrência de evento de estiagem são inovações importantes do PLANCON, pois, em comparação a resposta à crise hídrica de 2014-2016, quando a identificação da estiagem e seus reflexos na vazão e armazenamento dos reservatórios foram observados, provavelmente em atraso. Naquele momento, não havia um sistema de alerta e comunicação pré-estabelecido, esta é uma proposta, na qual se verifica a aplicação das dimensões: aprendizado, participação e colaboração e recursos técnicos da capacidade adaptativa. Outra inovação do PLANCON são os planos de contingência locais. Observa-se, no SSE-BPS, que as captações de água municipais apresentam condições precárias de funcionamento e que precisam ser adequados o quanto antes, como evidenciado na fala no ator (2):

“[...]a maioria esmagadora das captações de água é antiga, projetada nas condições [...] hidráulicas médias e não tem captação flutuante, fora que [...] os SAAE, os sistemas autônomos de abastecimento de água, operam de uma forma muito precária em termos técnicos, ou seja, eles não monitoram os rios, eles não têm uma postura proativa em relação às captações de água, prever situações escassez, ou seja, quando o nível do rio cai, eles gritam, não, aumenta a vazão aqui porque a gente está com problema, [...] um caso que é recorrente no Paraíba do Sul é a captação de água de Jacareí, você vai ver nas diversas atas de reunião que o Jacareí sempre demorou a fazer as obras nas captações dele, botar captação flutuante, adaptar a captação fixa, ou problemas administrativos, ou seja, quando uma determinada gestão estava fazendo as coisas e mudava o governo, mudava a equipe toda, começava tudo do zero.

Neste ponto, o aprendizado foi baixo, pois os pontos de captação no Rio Paraíba do Sul que foram verificados e adequados durante a crise hídrica 2014-2016, mas não passaram por avaliações posteriores e em alguns casos ocorreu a desmobilização das ações de adequação; adicionalmente, algumas captações que tenham passado por adequações ou não, têm problemas técnicos que dificultam o atendimento quando o nível do rio diminui, são exemplos os casos citados em atas do

GTAOH os SAAE: Barra Mansa/RJ (20/09/2021), Jacareí/ SP (14/12/2015; 29/10/2018) e Aparecida/SP (22/11/2021). No entanto, o PLANCON faz a recomendação de elaboração dos planos de contingência locais na fase de gestão do risco, mas já no nível de atenção, quando uma situação inicial de estiagem é reconhecida.

Durante a crise hídrica a solução dada foi o Plano de Contingência, que contou com a participação e colaboração e recursos emergenciais de vários atores do SINGREH para diagnóstico e elaboração do plano de contingência para as captações de abastecimento público ao longo do Rio Paraíba do Sul. Na proposição do PLANCON, a elaboração dos planos de contingência locais é uma ação proposta no segundo nível da gestão do risco, o de atenção sob responsabilidade dos órgãos de bacia locais com fiscalização dos órgãos gestores estaduais e federal. Acreditamos que a solução empregada no momento da crise hídrica 2014-2016 tenha oportunizado ganho de experiências que poderiam ser empregados para melhorar esta ação, incluindo na sua construção, maior colaboração e participação para agregar os melhores equipamentos e conhecimentos técnicos na busca das melhores respostas para o enfrentamento da crise.

Incorporar a experiência da crise como aprendizado passa necessariamente por avaliar posteriormente as condições das captações com foco no que funcionou e no que pode ser melhorado, no caso das desmobilizações, apurar os motivos. Esse diagnóstico poderia inicialmente embasar a elaboração de diretrizes para construção dos planos de contingência locais e posteriormente os próprios planos mais maduros e capazes de lidar com secas e escassez hídrica futuras.

O PLANCON traz importantes ações de enfrentamento, necessárias para o momento em que são colocadas em prática, a gestão do desastre no nível emergencial. No entanto, para que essas ações possam ser efetivadas com agilidade exigida na situação, elas precisam ser antecedidas por ações preparatórias. Os ajustes e intensificação em níveis de planos de contingências de queimadas e incêndios florestais, por exemplo, precisam ser antecedidas por um mapeamento de existência e estágio desses planos, bem como das possíveis parcerias entre secretarias municipais de meio ambiente e comitês de bacia nas ações de combate às queimadas, fomento a parcerias e trocas de experiências em curso nas sub-bacias, entre outra. Assim, acredita-se que o PLANCON para a Bacia do Rio Paraíba do Sul

seria mais efetivo se trouxesse detalhamento de como as ações propostas poderiam ser desenvolvidas, a exemplo do MOP, que acompanha o PIRH-PS (2021).

Outras ações trazidas pelo PLANCON ilustram a situação exemplificada acima, como a intensificação da comunicação entre órgãos e agentes para interlocução direta; proteção financeira aos trabalhadores rurais com a articulação entre poder público municipal, defesas civis estaduais e Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres (CENAD). São todas ações de enfrentamento, de acordo com nossas categorias de análise das estratégias adaptativas e dimensões da capacidade adaptativa necessárias para compor estratégias adaptativas para lidar com as secas e escassez hídrica.

O PGR integra os dados de monitoramento as medidas de gestão com identificação dos atores responsáveis pelas ações. A ampla gama de atores participantes do PGR possibilita mais opções para identificar e lidar com o risco de seca. Destaca-se a necessidade de avaliar como os gatilhos funcionam e melhorá-los à medida que seja necessária sua aplicação.

Em resumo, no PGR, o meio ambiente não assume a importância necessária para promover maior resiliência na bacia para os períodos de estiagens; o aprendizado foi pouco explorado, uma vez que não se verificou tentativa de correlação entre cheias e secas para fins de operação dos reservatórios, que operados de modo conservador para evitar secas, pode dificultar a contenção de cheias, e do mesmo modo, a não conservação de volumes de água de acordo com a Resolução Conjunta 1.382/2015 pode culminar na chegada do período seco com níveis abaixo do necessário para atender aos usos múltiplos até a próxima estação chuvosa; o aprendizado, a colaboração e os recursos não foram explorados para a proposta de elaboração dos planos de contingência locais.

Destaca-se que o plano é bastante conservador ao utilizar o termo estiagem para referir-se as situações de seca e escassez hídrica da bacia, sobretudo pela magnitude de impactos destacados no próprio plano. Além disso, o PGR é pouco enfático quanto a abordagem dos efeitos das mudanças climáticas e suas possíveis repercussões sobre a estacionariedade dos dados hidroclimatológicos da bacia, nem como ela impacta os gatilhos de resposta a seca e por isso as estratégias adaptativas propostas podem já terem sido pensadas de forma defasada. Conseqüentemente, o PGR não apresenta explicitamente inspirações nas perspectivas da capacidade

adaptativa e da resiliência de sistemas socioecológicos. Desse modo, concluímos que o PGR se configura como um plano que contribui até certo ponto para criação e implementação de medidas adaptativas incrementais, isto é, contribui para que o sistema continue fornecendo água em condições de normalidade e até estiagens esperadas para a bacia, mas sem prepará-lo, de forma robusta, para eventos extremos de seca e escassez hídrica.

Assim como o PGR tratou das mudanças climáticas de forma marginal, o PIRH-PS também ao considerar as mudanças climáticas apenas como uma incerteza crítica sobre os cenários para disponibilidade hídrica na bacia (Ferreira et al., 2023). Por outro lado, o PIRH-PS estabeleceu uma agenda de atualização dos estudos de disponibilidade e de demanda, que, caso considerem as mudanças do clima de forma robusta, poderão preencher parte dessa lacuna identificada. O Estudo de disponibilidade está pronto e foi analisado neste capítulo, na seção 4.1.2.

#### 4.4.2 Planos, programas e ações desenvolvidas pelos estados

Discutiremos os planos, programas e ações desenvolvidos pelos estados, com repercussões sobre a gestão e adaptação às secas e à escassez hídrica no sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul (SSE-BPS), como o Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (PERHI-RJ, 2014), o Plano de adaptação às mudanças climáticas do estado do Rio de Janeiro (PAMC-RJ, 2018) e o Programa Estadual de Segurança Hídrica do Rio de Janeiro (PROSEGH, 2022). Os três planos referem-se ao estado do Rio de Janeiro. Quanto à Minas Gerais, o Plano de Segurança Hídrica está em Elaboração. Já em São Paulo, os Planos de Gerenciamento de Riscos da Bacia não consideram secas e escassez hídrica.

#### *Estratégias adaptativas no Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio Janeiro*

O relatório síntese do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (PERHI-RJ) foi analisado para identificar estratégias adaptativas voltadas à preparação e gestão de secas e escassez hídrica. Embora o documento apresente a proposição de programas e ações, e não sua execução, é possível identificar a

abordagem da gestão das águas. Além disso, por ser de 2014, o PERHI-RJ permite estabelecer conexões com programas e ações implementados posteriormente.

O PERHI-RJ, aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERHI-RJ) em março de 2014, teve seus estudos iniciados em outubro de 2011, tendo sido, portanto, elaborado e publicado antes do início da crise. A análise do plano estadual neste trabalho se justifica pela extrema importância do SSE-BPS para os usos da água no Rio de Janeiro, bem como pela extensão da bacia no território fluminense, no qual quatro das nove regiões hidrográficas do estado situam-se na Bacia Paraíba do Sul. Embora anterior à crise hídrica, o horizonte de atuação do plano se estende até 2030.

O plano aborda as mudanças climáticas em dois aspectos das estratégias adaptativas para lidar com secas e escassez hídrica: a intrusão salina e os períodos de estiagem na bacia. Os estudos do plano incluíram projeções sobre os efeitos das mudanças climáticas nos estuários dos Rios Paraíba do Sul e Guandu/Canal de São Francisco, áreas bastante afetadas pelo avanço da cunha salina. Esse fenômeno gerou dificuldades na captação para o abastecimento em São João da Barra/RJ e na operação de indústrias que retiravam água diretamente do Canal de São Francisco.

O Programa PRO-PSA inclui ações de conservação, recuperação e reflorestamento das matas ciliares, nascentes e olhos d'água para fins de minimização dos efeitos das mudanças climáticas globais, o que, na visão desta pesquisa, são medidas que podem contribuir para reduzir a vulnerabilidade e melhorar a resiliência aos eventos extremos, por meio de profundas alterações na lógica da gestão das águas, mas para isso precisa também ter uma abrangência espacial relevante. Portanto podem ser classificadas como incrementais.

Como visto anteriormente, as mudanças climáticas aumentam o desafio de garantir a disponibilidade de água durante os períodos de seca e de mitigar os impactos das inundações. No plano, as ações específicas para secas e estiagens no eixo de vulnerabilidade a eventos críticos restringem-se a estudos e projetos para redução da vulnerabilidade a estiagens e secas, inclusive com estimativa de custo, que incluem a análise de eventos anteriores, a identificação de áreas prioritárias para ação e a elaboração de soluções estruturais e não estruturais para mitigar os impactos destes eventos.

O acompanhamento da implementação dos programas e ações do PERHI é de responsabilidade do CERHI, que criou o Grupo de Trabalho (GT) para acompanhamento do plano, em 2015. De acordo com Muylaert (2018) os trabalhos do grupo foram rapidamente esvaziados, entre outros motivos pela própria crise financeira do ERJ. O retorno dos trabalhos do grupo, em 2018, se deu por incentivo do Progestão, que previa o repasse de recursos federais (ANA) para os estados condicionado ao cumprimento de metas específicas, entre elas, a implantação de ações dos planos estaduais de recursos hídricos.

De acordo com a avaliação qualitativa do andamento e implementação do Plano elaborada pelo GT, os programas citados aqui, estavam em estágio inicial, com cerca de 40% dos estudos efetivados (Muylaert, 2018). O PERHI trouxe uma gama de programas com foco na reversão das tendências à degradação dos recursos hídricos e na solução de problemas que afetam a disponibilidade e qualidade das águas do estado, no entanto muitos desses programas dependiam da articulação com instituições externas ao SINGREH, o que de acordo com Acserald et al., (2021) não recebeu os esforços necessários. Outro ponto que dificultou a implementação das ações do plano foi a falta de financiamento, uma vez que os recursos necessários para viabilizar as ações ultrapassavam, e muito, os recursos financeiros existentes no FUNDRHI, e, portanto, a articulação e integração seriam mais uma vez essenciais (Muylaert, 2018).

Outra preocupação já exposta no Plano era a proposta de desvio de água do Rio Paraíba do Sul para São Paulo, pois representaria um risco significativo para a disponibilidade de água no Rio de Janeiro. Tal preocupação resulta da interligação entre os reservatórios de Jaguari (BPS) e Atibainha (bacia PCJ), que era um componente de um conjunto de ações do Plano do Macrometrópole de São Paulo, modificada e construída, a reversão de águas está em pleno funcionamento desde 2017, no sentido Jaguari-Atibainha.

#### *Estratégias adaptativas no Plano de adaptação às mudanças climáticas do estado do Rio de Janeiro (PAMC-RJ)*

O Plano de adaptação às mudanças climáticas do estado do Rio de Janeiro (PAMC-RJ), publicado em 2018, portanto, cerca de dois anos após a crise hídrica é

enfático na afirmação de que o estágio de adaptação do estado do Rio de Janeiro é insuficiente. O Plano propõe medidas gerais de adaptação às mudanças climáticas para o setor de recursos hídricos e outros impactados, após o estudo de projeções climáticas e modelagens hidrológicas para identificar impactos sobre os recursos hídricos do estado. Além disso, o Plano identifica o potencial do estado do Rio de Janeiro para o desenvolvimento de medidas de adaptação baseadas em ecossistemas, com o aproveitamento do capital natural.

Destacamos aqui, medidas relacionadas às secas e à escassez hídrica, especialmente aquelas que compreendem as Bacias dos Rios Paraíba do Sul e Guandu: recomendação para elaboração de planos de contingência de secas associados ao planejamento de longo prazo e continuamente atualizados; desenvolvimento e/ou aprimoramento de sistemas de alerta precoce existentes para alerta de cheias e secas; elaboração de boletins periódicos com as informações de monitoramento; estabelecimento de comunicação tanto com os gestores e usuários das bacias; uso de indicadores de seca e de qualidade da água na comunicação e níveis dos reservatórios estratégicos.

Essas medidas adaptativas são associadas à dimensão do aprendizado, uma vez, que requerem o aumento do conhecimento científico, e a disponibilidade de informações e monitoramento dos sistemas a fim de trabalhar com as incertezas impostas por um clima em mudança. Enfatizam também a participação e colaboração dos usuários, principalmente quanto a comunicação, outra dimensão basilar da capacidade adaptativa.

Entretanto, ainda que tais medidas sejam implementadas (não é a tendência observada, uma vez que não foram encontrados relatórios de acompanhamento da execução disponíveis em meios públicos), a mudança do foco do desastre para o risco, pensando na preparação, não direciona por si só a transformação efetiva para uma rota mais resiliente. Essas medidas, ainda em estágio de propostas a serem implementadas, continuam atuando para promover a adaptação incremental no sistema. É justo lembrar, que paralelamente o PAMC-RJ enfatiza o potencial do estado do Rio de Janeiro para o aproveitamento de seu capital natural no sentido de promover medidas adaptativas baseadas no ecossistema, que tornam o sistema mais propenso para amortecer efeitos de estiagens, embora não apresente ações neste sentido.

O exemplo da medida proposta de acompanhar o cumprimento das metas do Programa Estadual Rio Mais Limpo aponta para a necessidade de integração dos novos Planos com ações já existentes, que podem ganhar maior relevância e abranger maiores áreas.

### *Estratégias adaptativas no Programa Estadual de Segurança Hídrica do Rio de Janeiro (PROSEGH)*

O Programa Estadual de Segurança Hídrica do Rio de Janeiro (PROSEGH), lançado em 2021, organiza ações, projetos e programas para o aumento da Segurança Hídrica no Estado do Rio de Janeiro, em torno de quatro pilares (

Figura 31). Em tese, o Programa é um instrumento norteador para todos os setores e políticas que tenham a água como estruturante no estado do Rio de Janeiro (SOUZA et al., 2022). Entre os atores do programa estão a Secretaria Estadual do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS) e o INEA.

Figura 31 - Componentes do Programa Estadual de Segurança Hídrica (Prosegh-RJ) e foco de atuação



Fonte: PROSEGH-RJ (2021).

Destacamos estratégias adaptativas organizadas no portfólio de investimentos do PROSEGH, no qual estão organizadas por componente/pilar do programa, com descrição dos objetivos, órgão responsável, valores de investimento, fonte de financiamento, segmento público, privado ou comitê, o período de execução e o status da ação. Com 48 ações elencadas e 4,9 bilhões em investimentos previstos, sendo

90% dos recursos oriundos do setor público (Souza et. al., 2022), o portfólio inclui ações anteriores à criação do Programa.

As estratégias adaptativas que contribuem capacidade adaptativas às secas e escassez hídrica incluídas no PROSEGH são: Plano Estadual de Segurança Hídrica, Obras de redundância da transposição para o Guandu e Guandu II, Boletim Mensal de Segurança Hídrica e ações associadas a melhoria da qualidade da água, especialmente na Bacia do Guandu.

O Plano Estadual de Segurança Hídrica (PESHI), principal instrumento do Programa, foi iniciado em 2022, está em andamento. Esta iniciativa pode ser a oportunidade de transformar a posição de usuário ‘gastador’ no cenário de dependência das águas oriundas do Paraíba do Sul do estado do Rio de Janeiro, desde que, mude a lógica de gerir a oferta para a diluição de efluentes no rio Guandu e proponha ações no sentido de oferecer uma solução duradoura para o tratamento de esgotos nas áreas de contribuição do rio Guandu e redução drástica de perdas na distribuição, bem como ações para racionalizar o uso da água em todo o estado, especialmente no leste metropolitano do Rio de Janeiro. Essas medidas, associadas às de infraestrutura verde, podem aumentar a segurança hídrica atual e futura da região metropolitana do Rio de Janeiro, diminuindo a pressão por aumento de transposição de águas do Paraíba do Sul e de outras soluções alternativas.

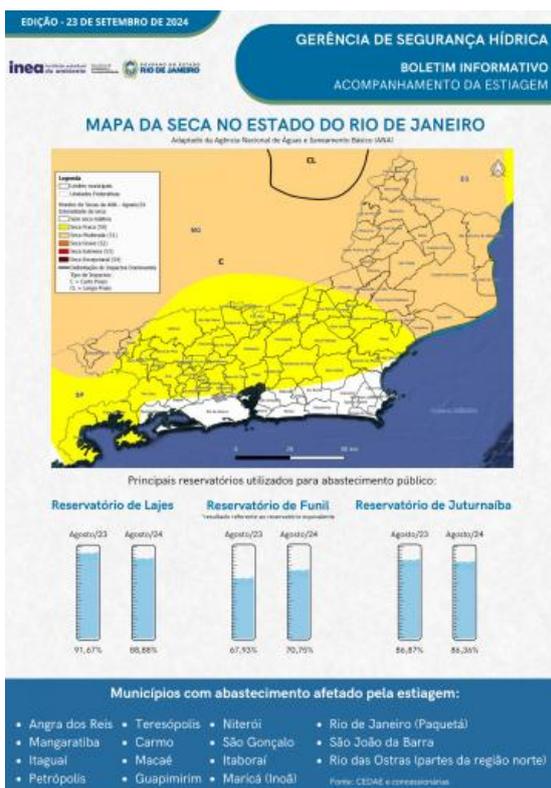
No componente oferta hídrica as duas ações encontradas estão no âmbito de melhorias de infraestruturas: Implantação do *by-pass* (redundância) da transposição do Paraíba do Sul para o Guandu e Guandu II. A primeira cria redundância para transposição, de responsabilidade da Light, portanto, com recursos privados, e se encontra paralisada. A segunda é de responsabilidade da CEDAE, conta com recursos do Governo Federal e se encontra em andamento. Ambas, são relevantes para ampliar a segurança hídrica para o abastecimento público e melhoram a flexibilidade geral do sistema hidráulico.

No eixo de riscos climáticos, as ações do programa estão centradas na prevenção e mitigação das inundações, apesar de a gestão do risco de secas constituir-se como um dos pilares do programa.

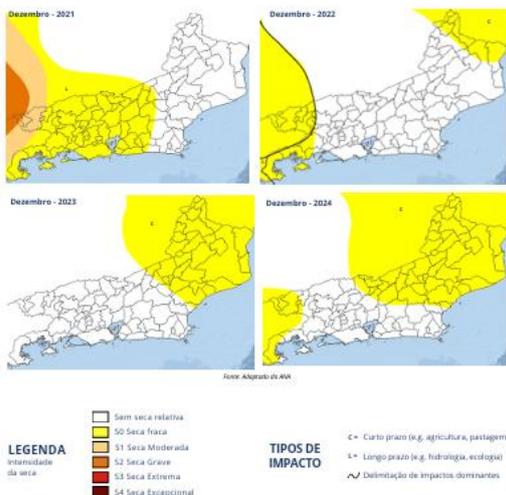
No terceiro trimestre de 2024, o INEA, no âmbito de ações para segurança hídrica do ERJ, criou o “Boletim Mensal de Segurança Hídrica” (Figura 32).

que parte do Mapa Mensal do Monitor de Secas, para identificar o estágio da seca, os municípios com abastecimento impactado e acompanhamento do armazenamento de reservatórios estratégicos, incluindo Lajes e Funil, integrantes do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu. Esta ação enfatiza a participação e colaboração, uma vez que aproxima o Monitor de Secas, iniciativa para todo o país, para qual o Instituto Estadual contribui por meio geração e revisão de dados da região sudeste, da gestão de recursos hídricos do estado, ao mesmo tempo, que provê e dissemina informações aos municípios e usuários, melhorando o aprendizado para as bacias hidrográficas contribuintes do Paraíba do Sul e para as bacias e regiões receptoras, bacia do Rio Guandu e MetrÓpole do Rio de Janeiro.

Figura 32 - Boletim mensal de segurança hídrica



Comparativo da seca nos anos anteriores (dezembro)

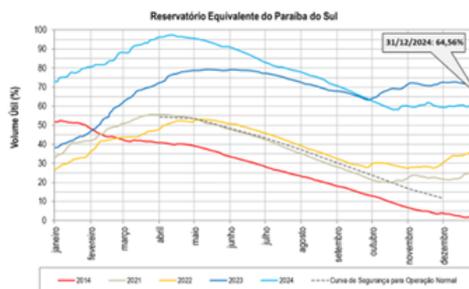
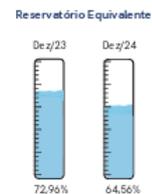


**SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PÚBLICO**

O Sistema Hidráulico do Paraíba do Sul é composto pelos reservatórios de Jaguari, Paraíbauna e Santa Branca, em SP, e Funil, no RJ.

A transposição do Rio Paraíba do Sul viabiliza o abastecimento de parte da RMRJ, através da Estação de Tratamento de Água (ETA) Guandu.

Portanto, neste sistema, deve-se avaliar o **reservatório equivalente** que, em dezembro de 2024, apresentou uma pequena redução quando comparada a 2023, contudo, ainda se observa uma **condição favorável** quando comparado aos anos anteriores.



Fonte: INEA (2024; 2025)



No eixo de qualidade ambiental, uma série de ações associadas a melhoria da qualidade da água podem ser incluídas entre as medidas adaptativas incrementais, pois melhoram a resiliência da bacia como um todo para que em momentos de vazões reduzidas a qualidade da água seja menos prejudicada, dependendo da abrangência das ações. Este é o caso dos projetos de sistema de esgotamento sanitário propostos para municípios da Bacia do Rio Paraíba do Sul, do Sanear Guandu (em andamento) e da revitalização da Lagoa do Guandu (em andamento). Sob responsabilidade dos comitês em conjunto com municípios, financiados com recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro (FUNDRHI), os projetos estão em várias fases, inclusive concluídos. Muitos, porém, sem previsão para execução, e desse não se efetivam os benefícios para qualidade da água vislumbrados.

Na região hidrográfica do Guandu/RJ (RH-II), o Sanear Guandu inclui a construção de 25 estações de tratamento de esgoto, 5 km de rede coletora e cerca de 7 mil soluções individuais em áreas rurais e periurbanas de 11 dos 15 municípios integrantes da sua área de abrangência.

A revitalização da lagoa do Guandu visa a melhoraria das condições de qualidade da água para o fornecimento para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro, a ação sob responsabilidade da CEDAE encontra-se em andamento. Não foram encontrados detalhamento da implementação da ação, que inclui a instalação de estações de monitoramento fluviométricos e de qualidade da água nos rios Queimados, Poços e Ipiranga que deságuam na lagoa do Guandu, após receber efluentes sem tratamento dos municípios de Queimados e Nova Iguaçu. Ainda assim, é possível compreender que a ação não resolve definitivamente o problema da poluição das águas nesta região. A poluição das águas nesta região resulta em crises de abastecimento público recorrentes, como em 2020 e 2021 e demandam, portanto, uma ação de enfrentamento imediata, sem perder de vista a necessidade de uma medida que solucione o problema definitivamente, como o tratamento do esgoto antes de lançá-lo aos rios (Ottoni, 2022).

Neste contexto, a construção de duas Unidades de Tratamento de Rios (UTRs) para os rios Queimados e Poços e para o Ipiranga foi apresentada pela SEAS e pelo INEA como uma solução para o problema da poluição das águas, especialmente no ponto de captação da ETA Guandu.

Pela sua concepção a UTR não pode ser entendida como uma solução definitiva, uma vez que o processo inicia após o efluente ser lançado no rio sem tratamento, pois o tratamento é do próprio corpo hídrico, normalmente instaladas a jusante, a maior parte do leito do rio continua degradado. Portanto, apesar de ser uma solução rápida, ela é apenas paliativa (NT-INEA/DIRAM). Pelo exposto, classificamos as ações como incrementais levando-se em conta, principalmente sua continuidade ao longo do tempo, mas também seu caráter paliativo, que não promove mudanças significativas.

#### 4.4.3 Planos, programas e ações nacionais para a preparação e enfrentamento às secas e escassez hídrica

Entre os programas e ações nacionais com mais repercussões sobre a gestão e adaptação às secas e à escassez hídrica no Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul (SSE-BPS) estão: Monitor de Secas, Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil (CEMADEN) e Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019a).

##### *Monitor de Secas*

O Monitor de Secas muda completamente a lógica de monitoramento dos eventos de seca no país. Implementado de forma gradual, conta com a participação colaboração dos órgãos gestores estaduais e é coordenado pela ANA. O Monitor além de acompanhar as secas, as categoriza em cinco estágios de gravidade e os correlaciona aos possíveis impactos. Os impactos também são monitorados e documentados nos relatórios mensais. Estados do Nordeste deram início a produção dos mapas mensais de seca, destaque para Ceará, Pernambuco e Bahia. O protagonismo desta região do país se dá pelo seu histórico e experiência acumulada no enfrentamento das secas na região semiárida mais povoada do mundo.

Contudo, essa ferramenta ainda carece de mais integração com os processos de gestão das águas nos estados e bacias hidrográficas, especialmente para a BPS e do Guandu. O que pode ser difícil de explicar, uma vez, que os órgãos gestores estaduais atuam junto à ANA para o acompanhamento das secas e seus impactos.

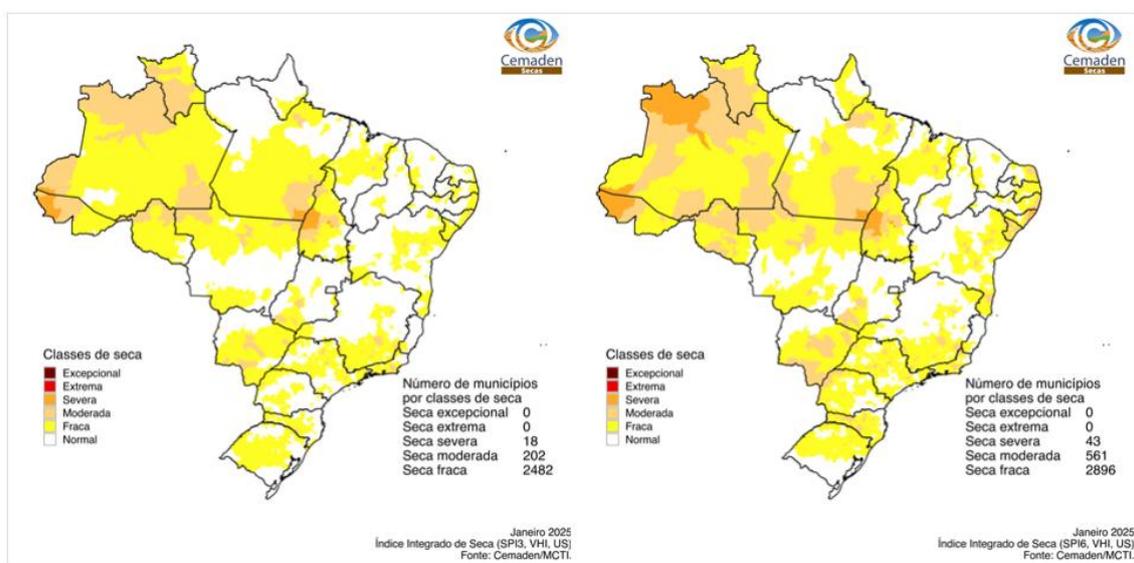
Recentemente, uma iniciativa do INEA-RJ, com foco na comunicação do INEA, o Boletim Mensal de Segurança Hídrica, lança luz sobre as possibilidades de aproveitamento do Monitor, citado no item anterior.

### *Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil (CEMADEN)*

O CEMADEN reúne três iniciativas associadas à gestão do risco de seca: Risco de Seca na Agricultura Familiar (RiSAF), Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil (Boletim de Secas) e o Boletim de Impactos de Extremos de Origem Hidro-Geo-Climático em Atividades Estratégicas para o Brasil (Boletim de Impactos do CEMADEN).

Publicado mensalmente no formato de boletim, o RiSAF avalia a severidade das secas, vulnerabilidades e impactos sobre as culturas (feijão, arroz e milho), adicionalmente são considerados os registros de impactos, que é disponibilizado no site para que usuários e outros interessados preencham. Mais abrangente, o Boletim de Secas, também publicado mensalmente, apresenta o Índice Integrado de Seca para 3 e 6 meses em escala municipal (Figura 33), destaca os municípios onde a seca se prolonga por mais de 6 meses, previsão da seca par ao mês seguinte, monitoramento dos impactos sobre vegetação e agricultura e previsão sazonal.

Figura 33 - Índice Integrado de Seca (IIS) referente ao mês de janeiro de 2025 nas escalas de 3 meses (IIS3, esquerda) e 6 meses (IIS6, direita).



Fonte: CEMADEN (2025)

Mais amplo, o Boletim de Impactos do CEMADEN é composto por: (i) a avaliação das ocorrências e alertas para desastres de origem hidro-geo-climático mensal, e (ii) o diagnóstico e cenários dos extremos pluviométricos (secas e inundações) e seus impactos em diferentes setores econômicos do Brasil trimestralmente. Destacamos que o segundo item condensa as informações do RiSAF e do Boletim de Secas e adiciona: situação dos níveis dos rios, previsão sazonal para vazões e impacto das secas nos recursos hídricos, por meio do Índice Padronizado Bivariado Precipitação-Vazão (TSI), que caracteriza a seca hidrológica nas principais bacias hidrográficas do país com UHEs, abastecimento de grandes adensamentos populacionais e navegabilidade, incluindo a Bacia do Paraíba do Sul (Figura 33). É um produto técnico com uma linguagem acessível, que conta com uma reunião mensal transmitida ao vivo pelo Youtube com a participação e questionamentos do público, uma forma de comunicação e disseminação da informação técnica inovadora.

Figura 34 – Exemplo de informações apresentadas no Boletim de Impactos do CEMADEN

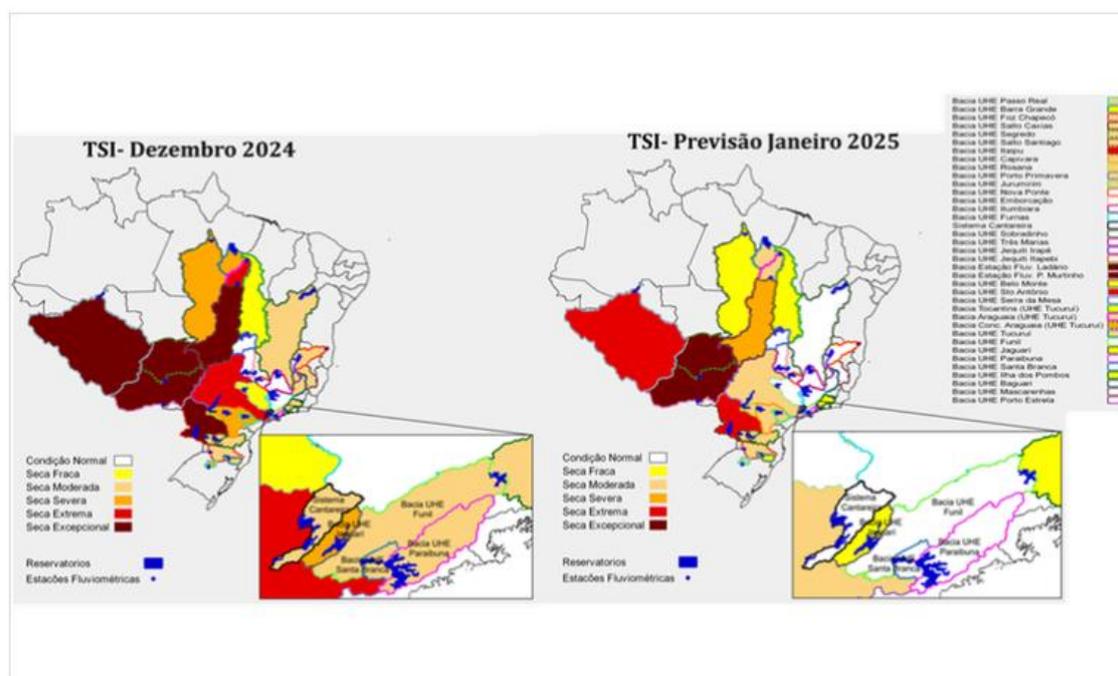


Figura 3. Índice Bivariado de Seca (Chuva-Vazão) - TSI 6 e 12 para o mês de dezembro de 2024 (observado, esquerda) e janeiro de 2025 (previsão, direita). As delimitações coloridas representam as principais bacias monitoradas ao longo do país com suas respectivas classes de seca (variando de excepcional a seca fraca) e a condição dentro da normalidade. Fonte dos dados observados entre janeiro/1981 e dezembro/2024: Precipitação (CHIRPS); e Vazão (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA/Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS). Fonte dos dados de precipitação prevista em dezembro: CFS.

Fonte: CEMADEN (2025)

Os produtos do CEMADEN, assim como o Monitor de secas são pouco incorporados aos processos de gestão nas bacias hidrográficas do Paraíba do Sul. Por outro lado, a participação do CEMADEN nas reuniões do GAOPS, juntamente com a ANA, órgãos gestores estaduais, ONS e CEIVAP, participam o grupo do Boletim de Secas com foco na bacia e colaboram para as interpretações dos dados e informações trazidos pelo ONS. Adicionalmente, às contribuições do CEMADEN, durante as reuniões mensais do grupo, se acrescentam as previsões climatológicas do INPE. Assim, são mobilizadas as dimensões participação e colaboração e aprendizado.

### *Plano Nacional de Segurança Hídrica - PNSH*

Por fim, destacamos o Plano Nacional de Segurança Hídrica - PNSH. Com ênfase regional-nacional e em ações de natureza estratégica, o PNSH buscou reunir o planejamento existente da infraestrutura no Brasil e apontar lacunas de planejamento/estudos (áreas com menor segurança hídrica e sem ações identificadas). O índice de segurança hídrica (ISH) desenvolvido inclui uma dimensão de resiliência e eventos extremos, como secas e inundações. O instrumento possui ênfase na infraestrutura cinza, sendo apontado no Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2024 a necessidade de um instrumento adicional que foque em diagnóstico e ações voltados à infraestrutura verde.

Relacionadas ao Paraíba do Sul, foram recomendadas no PNSH apenas a execução da obra do Sistema Produtor Guandu (ampliação da ETA Nova Guandu). Adicionalmente, foi proposta a execução de um estudo para avaliar um novo esquema de redundância para o eixo de Transposição Rio Paraíba do Sul-Rio Guandu, mencionada anteriormente, obra que se encontra parada sob responsabilidade da Light. Ou seja, o PNSH não recomendou a obra em si, mas um Estudo de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro que incluía essa obra e outras três fora da região de influência do Paraíba do Sul (Sistema Adutor Tanguá-Maricá, Barragem Rio Preto e Barragem Rio Tanguá).

Com uma abordagem inovadora, o PNSH representou também um marco da inserção da agenda da segurança hídrica no meio técnico e político, inspirando iniciativas similares no âmbito regional e dos Estados e influenciando o orçamento da

União. As recomendações do PNSH foram também incorporadas ao Plano Integrado de Longo Prazo para a Infraestrutura (PILP), influenciando a alocação de recursos e a priorização de obras em programas como o PAC - Programa de Aceleração do Crescimento.

#### 4.4.4 Síntese sobre as estratégias adaptativas pós crise hídrica

Na análise apresentada, as estratégias adaptativas foram classificadas como: ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e medidas adaptativas transformativas, principalmente quanto à sua abrangência espacial, continuidade temporal e capacidade de promover mudanças de superficiais a mais profundas ou de manter a situação ainda que dê respostas frente a eventos de seca e escassez hídrica. Além disso, associamos as estratégias adaptativas às dimensões da capacidade adaptativa (Quadro 7). Ressalta-se que o quadro-resumo agrupa ações sob o projeto que as conceberam, como as estratégias do PIRH-PS (2021) ou do PGR (2023).

Quadro 7 - Quadro resumo das estratégias adaptativas pós-crise hídrica 2014-2016 a partir dos níveis do Sistema de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (Bacia hidrográfica, estados e União) (continua)

Estratégia adaptativa Classificação (M1, M2 e M3), dimensões (D1, D2, D3, D4, D5) e atores	Resumo
<b><i>Estratégias adaptativas específicas para a Bacia do Rio Paraíba do Sul e seu Sistema Hidráulico</i></b>	
<b>Mudança das regras operativas do Sistema Hidráulico (2015)</b>  <b>M3- Medida adaptativa transformativa</b>  <b>D1, D2, D3, D4, D5</b> Institucional (Órgãos gestores)	A Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1382/2015, define as diretrizes para a operação do sistema hidráulico Paraíba do Sul.  <i>Esta resolução substituiu a resolução anterior e alterou de forma significativa as restrições de operação do setor elétrico, visando os usos múltiplos.</i>
<b>Criação do GAOPS (2016)</b>  <b>M2 – Medida adaptativa incremental</b> <b>D1, D2, D3, D4</b>	O Grupo de Acompanhamento de Operações do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul constitui-se como um fórum de discussão que reúne os órgãos gestores da bacia, o ONS e o CEIVAP. Outros órgãos ou CBHs convidados participam das reuniões. O Grupo foi criado pela resolução conjunta nº 1.382/2016.

<p>Institucional (Órgãos gestores, CEIVAP, instituições convidadas)</p>	<p><i>O GAOPS é absolutamente central no monitoramento da situação da bacia e no diagnóstico antecipado de eventos extremos (secas e escassez hídrica; e controle de cheias).</i></p>
<p><b>Ajustes dos Sistemas de Captação</b> (análise pós-crise)</p> <p><b>M2– Medida adaptativa incremental</b>  <b>D1, D2, D3, D5</b>  Institucional (CEIVAP) e usuários (Serviço Autônomo de Água e Esgoto - SAAE)</p>	<p>Avaliação e manutenção dos ajustes dos sistemas de captação feitos durante a crise hídrica. Ajustes em outros sistemas de captação ao longo de anos mais secos como 2020 e 2021.</p> <p><i>O desconhecimento das condições atuais das 21 captações para abastecimento público no Paraíba do Sul, inclusive daquelas que passaram por intervenções durante a crise hídrica, a desmobilização de ajustes, bem como a necessidade de novas adequações durante anos secos indicam que a preocupação com secas futuras e sua gestão não entraram para a pauta da bacia de modo contínuo.</i></p>
<p><b>Programas, projetos e ações do PIRH – PS (2021)</b></p> <p><b>M2– Medida adaptativa incremental</b>  <b>D1, D2, D3, D5</b>  Institucional (SINGREH)</p>	<p>O Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PIRH-PS) de 2021 traz um conjunto de ações a serem executadas em um horizonte de 15 anos, com destaque para ações de saneamento, criação de uma agenda com ações baseadas em infraestrutura verde, melhoramentos na rede de monitoramento quali-quantitativa, proposição da elaboração e execução das ações do Plano de Gerenciamento de Riscos e Programa Mananciais.</p> <p><i>O Plano de Bacias da Bacia do Rio Paraíba do Sul inclui programas e ações que contribuem, de maneira genérica, para o enfrentamento das secas e escassez hídrica, reconhecidas como um dos desafios de gestão da bacia.</i></p>
<p><b>Ações PGR (2022)</b></p> <p><b>M1 – Ação de enfrentamento e M2– Medida adaptativa incremental</b>  <b>D1, D3, D5</b>  Institucional (CEIVAP e AGEVAP)</p>	<p>O Plano de Gerenciamento de Risco da Bacia do Rio Paraíba do Sul (PGR) (2022), desenvolvido como uma ação do PIRH-OS, inclui ações direcionadas para a preparação e enfrentamento de estiagens na Bacia do Rio Paraíba do Sul.</p> <p>Concluído em 2022, o estudo aborda o risco em função da probabilidade de ocorrência de um evento e dos impactos relacionados. A análise de risco abrange os eventos: cheias, estiagens, intrusão salina (foz do Paraíba do Sul), movimentos de massa, contaminação por poluentes e rompimento de barragens.</p> <p><i>O plano avança na identificação do início de um período mais seco que o normal por meio do monitoramento e acompanhamento do índice SPI e níveis do Reservatório Equivalente. Além disso, as ações propostas no Plano estão restritas ao enfrentamento da seca, isto é, mantém a lógica reativa. Em geral o plano, é operacional, no entanto, algumas das ações precisam de mais estudos, como a elaboração de planos de contingências locais.</i></p>
<p><b>Programa Mananciais – desde 2020.</b></p> <p><b>M2– Medida adaptativa incremental</b>  <b>D1, D4, D5</b>  Institucional (CEIVAP/AGEVAP) e usuários – proprietários de terras)</p>	<p>O programa concentra-se na melhoria da quantidade e disponibilidade de água, focando em sub-bacias prioritárias para manutenção, recuperação ou aumento da provisão de serviços ecossistêmicos. Estão em curso ações em 228 propriedades situadas em sete microbacias.</p> <p>As intervenções incluem: práticas mecânicas de conservação do solo, como terraços e valetas, para controlar a erosão e promover a infiltração da água; práticas vegetativas, como a restauração florestal com espécies nativas, para aumentar a cobertura vegetal, proteger o solo e regular o fluxo de água; promoção da certificação para incentivar práticas agrícolas sustentáveis e reduzir o impacto ambiental das atividades produtivas.</p>

	<p>O desenho do programa reconhece a importância do envolvimento da comunidade e visa mobilizar proprietários de terras, usuários de água e a sociedade civil organizada.</p> <p><i>O programa é altamente estratégico para aumentar a resiliência da bacia, mas enfrenta desafios financeiros e operacionais, entre outros, para ganhar escala e fazer diferença na ponta. Projetos de efeito demonstrativo, como os atuais, são muito importantes.</i></p>
<p><b>Programas, projetos e ações do PERHI-RJ (2014)</b></p> <p><b>M2– Medida adaptativa incremental</b>  <b>D1, D3, D5</b>  Institucional (INEA/CERHI-RJ)</p>	<p>O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Rio de Janeiro (PERHI-RJ) de 2014 contempla um conjunto de ações a serem executadas até 2030.</p> <p><i>Embora o Plano inclua ações de recuperação das bacias hidrográficas no estado, que contribuem para o enfrentamento das secas e escassez hídrica e estudos para redução da vulnerabilidade às secas e escassez hídrica, a dependência de financiamento para as ações externas ao setor de recursos hídricos somado ao contexto de crise fiscal do estado dificultaram a implementação de suas ações.</i></p>
<p><b><u>Planos, programas e ações desenvolvidas pelos estados</u></b></p>	
<p><b>Plano de adaptação às mudanças climáticas do estado do Rio de Janeiro (PAMC-RJ) - 2021</b></p> <p><b>M2 – Medida adaptativa incremental</b>  <b>D1, D3</b>  Institucional - Governo do estado e Secretaria Estadual do Ambiente e Sustentabilidade (SEAS)</p>	<p>O Plano propõe medidas gerais de adaptação às mudanças climáticas para o setor de recursos hídricos e outros que sofrem afetados, após o estudo de projeções climáticas e modelagens hidrológicas para identificação de impactos sobre os recursos hídricos do estado. O Plano identifica o potencial do estado do Rio de Janeiro para o desenvolvimento de medidas de adaptação baseadas em ecossistemas, com o aproveitamento do capital natural. Entre as medidas propostas estão:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Recomendação para elaboração de planos de contingência de secas associados ao planejamento de longo prazo e continuamente atualizados;</li> <li>- Desenvolvimento e/ou aprimoramento de sistemas de alerta precoce existentes para alerta de cheias e secas;</li> <li>- Elaboração de boletins periódicos com as informações de monitoramento;</li> <li>- Estabelecimento de comunicação tanto com os gestores e usuários das bacias;</li> <li>- Uso de indicadores de seca e de qualidade da água na comunicação e níveis dos reservatórios estratégicos.</li> </ul> <p><i>Apesar de genérico, o plano aponta para a necessidade de ações de monitoramento e comunicação essenciais para identificar o início de uma seca.</i></p>
<p><b>Programa Estadual de Segurança Hídrica do Rio de Janeiro (PROSEGH) - 2021</b></p> <p><b>M1 – Ação de enfrentamento e M2– Medida adaptativa incremental</b>  <b>D1, D2, D3, D5</b>  Institucional - SEAS e INEA</p>	<p>Lançado em 2021, o Programa organiza ações e projetos para o aumento da Segurança Hídrica no Estado do Rio de Janeiro.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plano Estadual de Segurança Hídrica (PESH);</li> <li>- Implantação de by-pass da transposição do Paraíba do Sul para o Guandu e Guandu II;</li> <li>- Sanear Guandu (UTR nos rios Poços e Queimados, contribuintes do rio Guandu);</li> <li>- Melhorias e ampliações dos sistemas de informações do estado e comitês e dos sistemas de alerta de cheias e secas.</li> </ul>

	<i>O principal elemento do Programa, o PESH foi contratado com agilidade, já no ano seguinte, mas até o momento não se tem previsão de quando ficará pronto. As demais ações estão em andamento e podem ser acompanhadas no site do INEA.</i>
<b>Outros Planos e Programas em âmbito estadual</b>	- Plano de segurança hídrica de MG (em elaboração) - Planos Municipais de Redução De Riscos (PMRRS) e Plano Integrado de Gestão de Riscos de Desastres Naturais da UGRHI-02 (PS) não abordam secas e estiagens.
<b><u>Programas e ações nacionais para a preparação e enfrentamento às secas e escassez hídrica</u></b>	
<b>Monitor de Secas</b>  <b>M2 - Medida adaptativa incremental</b> <b>D1, D3, D5</b>  Institucional - ANA e órgão gestores estaduais	O Monitor de Secas muda a lógica de monitoramento dos eventos de seca no país. Implementado de forma gradual, a partir de 2014, atualmente abrange todo o território nacional, conta com a colaboração dos estados e é coordenado pela ANA (desde 2017). O Monitor além de acompanhar as secas, as categoriza em cinco estágios de gravidade e os correlaciona aos possíveis impactos. Os impactos também são monitorados e documentados nos relatórios mensais.  <i>Contudo, falta o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos incorporar o Monitor de Secas aos seus processos.</i>
<b>Boletins do CEMADEN:</b>  <b>M2 – Medida adaptativa incremental</b> <b>D1, D3, D5</b> Institucional (CEMADEN)	O CEMADEN disponibiliza três ferramentas com potencial para aplicação à gestão do risco de seca, além de acompanhar as secas e seus impactos sobre diferentes setores para o país em nível de município e de bacia hidrográfica: - Risco de Seca na Agricultura Familiar (RiSAF); - Monitoramento de Secas e Impactos no Brasil – Boletim de Secas; - Boletim de Impactos de Extremos de Origem Hidro-Geo-Climático em Atividades Estratégicas para o Brasil - Boletim de Impactos do CEMADEN.
<b>Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) (2019)</b>  <b>M2 – Medida adaptativa incremental</b> <b>D1, D3</b> Institucional (ANA)	Com ênfase regional-nacional e em ações de infraestrutura de natureza estratégica, o PNSH buscou reunir o planejamento existente da infraestrutura e apontar lacunas de planejamento e estudos (áreas com menor segurança hídrica e sem ações identificadas).  Relacionadas à BPS, foram recomendadas a execução da obra do Sistema Produtor Guandu (ampliação ETA Nova Guandu) e a execução de um estudo para avaliar um novo esquema de redundância para a transposição Paraíba do Sul- Guandu.  <i>Apesar do foco em medidas estruturais, o PNSH representou um marco da inserção da agenda da segurança hídrica no meio técnico e político, inspirando iniciativas similares no âmbito regional e dos Estados e influenciando o orçamento da União. O índice de segurança hídrica (ISH) desenvolvido inclui uma dimensão de resiliência e eventos extremos, como secas e inundações.</i>

Fonte: Elaborado pelo autor, com informações dos documentos citados no quadro.

Legenda: Estratégias adaptativas: **M1** – Ações de enfrentamento, **M2** – Medidas adaptativas incrementais, **M3** – Medidas adaptativas transformativas; Dimensões da capacidade adaptativa: **D1** – Aprendizado, **D2** – Flexibilidade, **D3** – Participação e colaboração, **D4** – Liderança e poder, **D5** – Recursos.

Observamos que as estratégias adaptativas implementadas na Bacia do Paraíba do Sul, no período pós-crise, são em sua maioria medidas adaptativas incrementais. Destaque para a única medida adaptativa transformativa.

#### **4.5 Dimensões e estratégias adaptativas: inércia e preparação dos sistemas socioecológicos para lidar com secas e escassez hídrica**

O objetivo desta seção é identificar, de forma abrangente, a dinâmica de construção da capacidade adaptativa do SSE-BPS às secas e à escassez hídrica nas seguintes direções: (I) sistemas socioecológicos menos preparados, (II) sistemas socioecológicos incrementais e (III) sistemas socioecológicos adaptativos, frente às crescentes mudanças e incertezas.

A Partir da identificação e categorização das estratégias adaptativas (seções 4.3 e 4.4), avançamos, nesta seção, na compreensão de quais dimensões da capacidade adaptativa (aprendizado, flexibilidade, participação e colaboração, liderança e poder, e recursos) estiveram presentes em cada uma das medidas identificadas, bem como em seus processos formadores. Nesse aprofundamento dos atributos de um sistema adaptativo torna-se possível aproximar as práticas identificadas durante e após a crise hídrica (estratégias adaptativas) dos processos de sua construção.

Para tanto, o procedimento de codificação foi aplicado à identificação e classificação das estratégias adaptativas e, ao mesmo tempo, à identificação da presença ou ausência das dimensões da capacidade adaptativa por meio de atributos que as definem. Esses atributos foram explorados na seção 3.2.1 e são apresentados resumidamente no início da discussão de cada uma das dimensões, a seguir.

Assim, todos os documentos foram codificados considerando as mesmas categorias (presença / negação das dimensões da capacidade adaptativa) e tipos de estratégia adaptativa. Por exemplo, um mesmo trecho de texto categorizado como ação de enfrentamento recebe outras 'etiquetas' associadas às dimensões da capacidade adaptativa. Tanto os documentos do período da crise hídrica 2014-2016 quanto aqueles do pós-crise (a partir de 2017 até 2024) passaram pelo mesmo procedimento. Durante a crise, as principais fontes foram: as atas do GTAOH e as entrevistas. Para o momento pós-crise foram incluídos além das atas do GTAOH, transcrições das reuniões do GAOPS, relatórios técnicos e relatos de gestores e usuários.

Essa separação das dimensões em subseções para análise faz parte do processo construtivo do conhecimento, mas todas elas compõem a capacidade adaptativa local e institucional às secas e à escassez hídrica. Por isso, mesmo separadas por subtítulos, as interações entre as dimensões são resgatadas e reforçadas, em uma análise multidimensional.

#### 4.5.1 Flexibilidade (D2): mais opções para lidar com secas e escassez hídrica

A flexibilidade é uma das dimensões mais presentes em análises da capacidade adaptativa de um sistema socioecológico na literatura científica, justamente por ser o atributo que confere ao sistema a capacidade de se ajustar dinamicamente para responder às mudanças e condições não previstas, particularmente em situações de secas e escassez hídrica (Dilling et al. 2023; Adger et al. 2005).

No sistema socioecológico da Bacia do Paraíba do Sul, a flexibilidade durante a crise hídrica foi observada em ações de enfrentamento colocadas em prática por usuários, por exemplo: o aumento da capacidade de armazenamento interno de água pelas indústrias do Canal São Francisco; as medidas adaptativas incrementais, pelo sistema de gestão em conjunto com usuários, como os ajustes dos sistemas de captação de água municipais para abastecimento público.

De acordo com Clarvis e Engle (2015), medidas que mobilizam a dimensão de flexibilidade da capacidade adaptativa de um sistema podem ser, por exemplo, mecanismos de emergência, como observado no protocolo de emergência criado durante a crise hídrica na Bacia do Paraíba do Sul, especialmente no estado do Rio de Janeiro. A interface entre flexibilidade, participação e colaboração envolvendo gestores e usuários, uma importante sinergia para adaptação, foi bastante explorada na execução desta ação de enfrentamento. O Protocolo funcionava no sistema de tentativa-erro: uma vez decidida e aplicada uma redução da vazão defluente dos reservatórios, usuários eventualmente impactados informavam ao órgão gestor estadual e este acionava o Operador do Sistema Hidráulico (ONS) para retornar à vazão anterior até que as infraestruturas de captação fossem adaptadas a níveis mais baixos dos Rios Paraíba do Sul e/ou Guandu. E assim foram feitas sucessivas reduções das vazões defluentes, em caráter extraordinário. Este contexto se aplica a

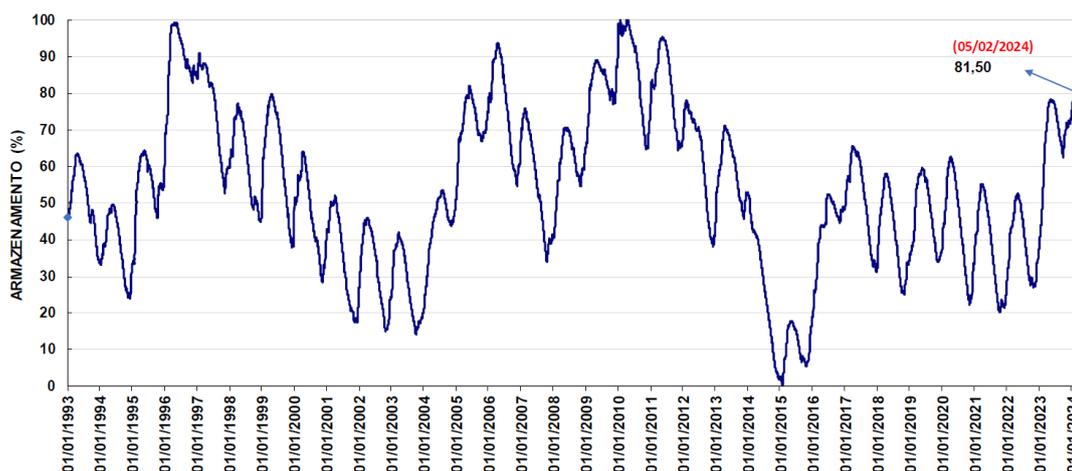
uma medida de enfrentamento, com abrangência de parte do sistema e restrita temporalmente ao período da crise hídrica, que poderia estar prevista em planos de gestão e contingência para secas e escassez hídrica. Isto demonstra como uma ação tipicamente de enfrentamento, com baixa aplicação para momentos de normalidade, pode fazer parte de um conjunto de estratégias adaptativas, orientada para a transformação, envolvendo usuários e sistemas governança e gestão para lidar com escassez hídrica associada a secas.

Os aprimoramentos incorporados às novas regras operativas do Sistema Hidráulico de 2015, possibilitados pelo aprendizado adquirido na prática de operação dos reservatórios durante a crise hídrica, demonstram mais uma vez a interface entre aprendizado e flexibilidade (ANA, 2016). Quanto mais profundamente se compreendem os efeitos de alterações momentâneas na operação dos reservatórios sobre o funcionamento do Sistema Hidráulico e os usuários da bacia, maior é a margem para mudanças, especialmente em momentos de crise.

Adicionalmente, a integração das informações obtidas com índices de seca, modelos e projeções hidroclimáticos pode conferir mais confiabilidade aos resultados obtidos. Isso ocorre porque, dados mais recentes e atualizados com maior frequência permitem capturar o momento em que os efeitos das mudanças climáticas começam a se manifestar, além de conferir uma abordagem mais apta a lidar com a não-estacionariedade dos dados (Lisonbee et. al., 2024).

Por fim, o aprendizado e a flexibilidade permitiram o aprimoramento da operação dos reservatórios, consolidada pela regulamentação da Resolução Conjunta No. 1.382/2015. Após a crise hídrica, foram necessários alguns anos para que se recuperassem os estoques de águas dos maiores reservatórios do Sistema Hidráulico. O marco de 80% de armazenamento equivalente, regra que permite defluências maiores que 190 m<sup>3</sup>/s em Santa Cecília em função da necessidade de operação de controle de cheias, só foi alcançado em 2024 (Figura 35)

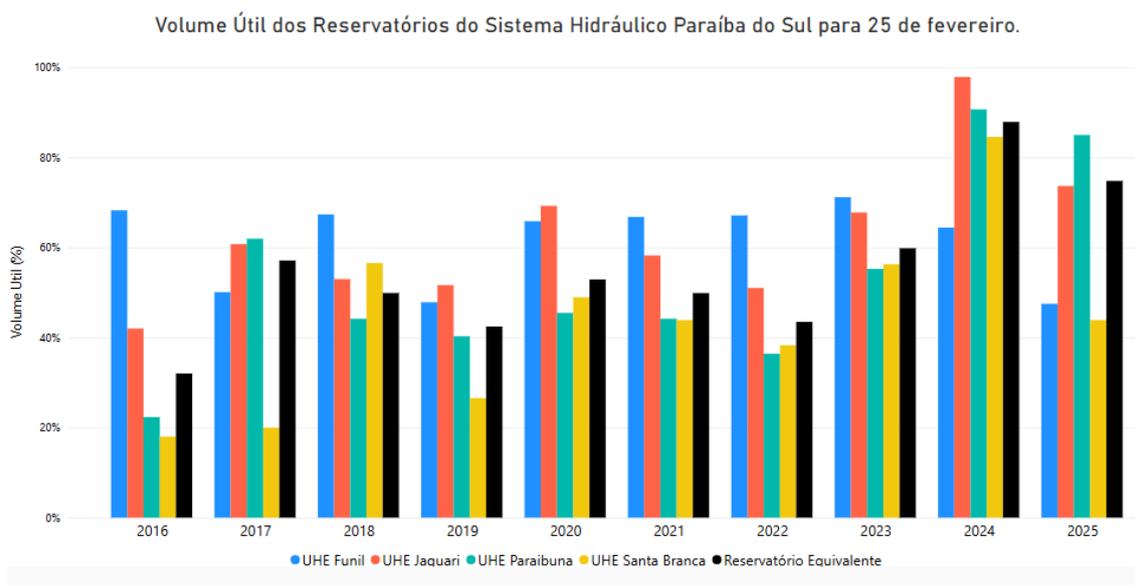
Figura 35 - Evolução do armazenamento do Reservatório Equivalente do SHPSG



Fonte: ONS, 2024.

Após a seca de 2014 (acentuada queda) e 2015, as reduções sucessivas de vazão defluente em Santa Cecília, até 110 m<sup>3</sup>/s, possibilitaram a recuperação paulatina do armazenamento, inclusive nos anos seguintes. Somente a partir de 2023 os ganhos se tornam mais consistentes, mas só em fevereiro de 2024 o armazenamento ultrapassou os 80% (Figura 36).

Figura 36 - Evolução do armazenamento dos reservatórios que compõem o armazenamento equivalente do SHPSG de 2015 até 2025.



\* O volume do Reservatório Equivalente do ano de 2025 é o 21º menor do histórico, desde 1998, para 25 de fevereiro.

\*\*Em 25/02/2025 a defluência em Santa Cecília foi de 73 m<sup>3</sup>/s e em Pereira Passos, de 123 m<sup>3</sup>/s.

ANA, 2025. Consulta ao site: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/paraiba-do-sul> em 26/02/2025.

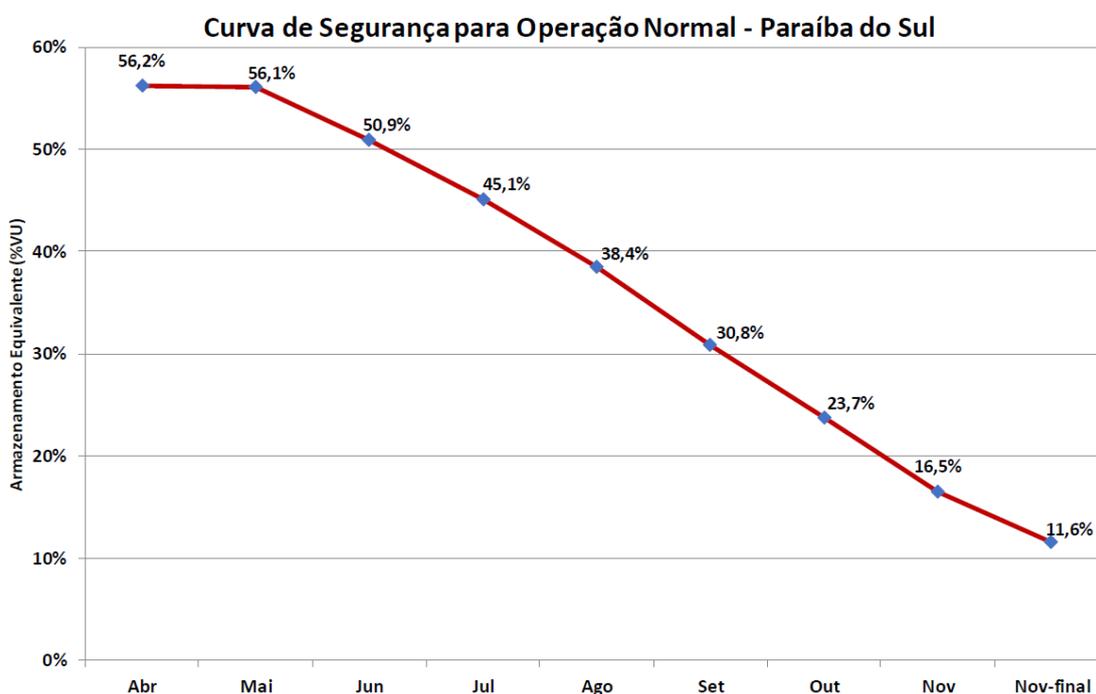
A recuperação do armazenamento entre 2023 e 2024 foi essencial para que a bacia estivesse mais bem preparada para a seca severa em alguns trechos da bacia

no final de 2024, identificadas pelo CEMADEN (2024, 2025). Mesmo que o período úmido e de recuperação dos volumes de armazenamento não tenha sido suficiente para o Reservatório Equivalente (RE) alcançar 80% de reservação (Figura 37), a operação hidráulica ainda se encontra em uma condição confortável.

Ainda que o RE se encontre abaixo do patamar de 80%, a comparação do armazenamento com a curva de segurança para 2024 (Figura 38) indica uma margem segura, pois o volume armazenado se mantém distante da curva de segurança. A curva exigida pela Resolução Conjunta nº 1.382/2015 é uma projeção elaborada anualmente pelo ONS,

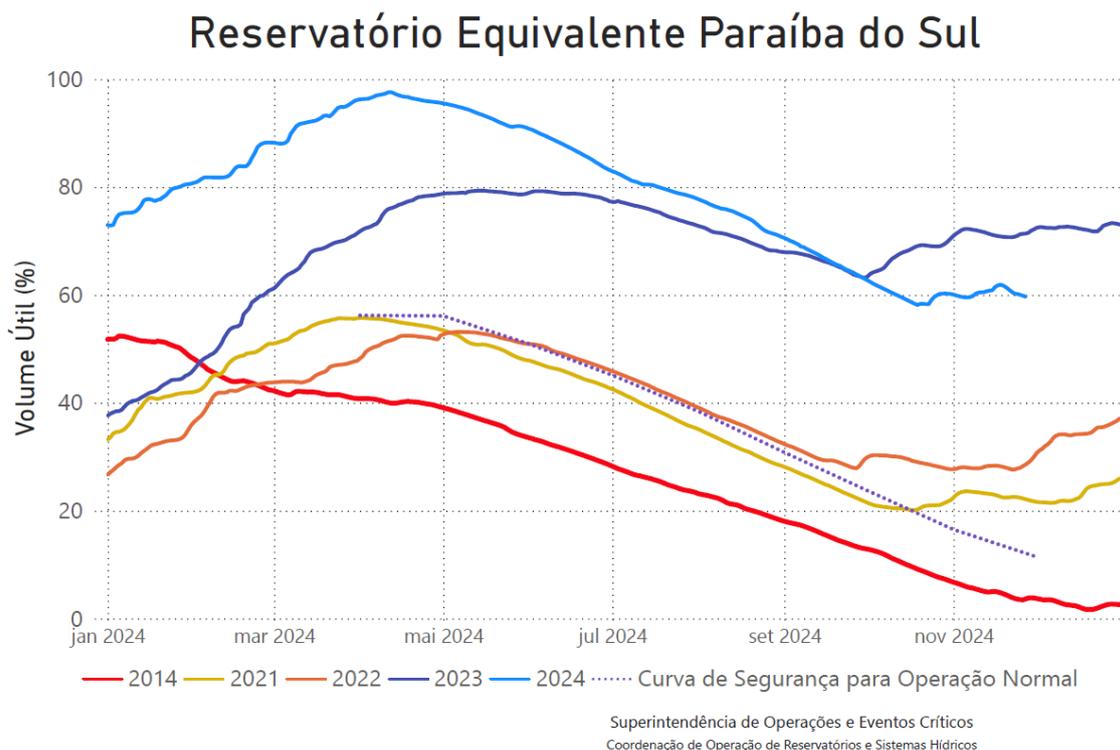
[...] que apresenta os volumes mínimos necessários do Reservatório Equivalente da bacia, para cada mês, visando assegurar as condições de operação das usinas hidrelétricas e o atendimento aos requisitos ambientais e de usos múltiplos da água. (Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA Nº 1382/2015, Art. 3º)

Figura 37 - Curva de segurança para operação normal do SHPSG para o período abril a novembro de 2024



Fonte: ONS, 2024

Figura 38 - Evolução do armazenamento do RE em 2024 em comparação à curva de segurança e aos anos de 2014 (pior do histórico), 2021, 2022 e 2023.

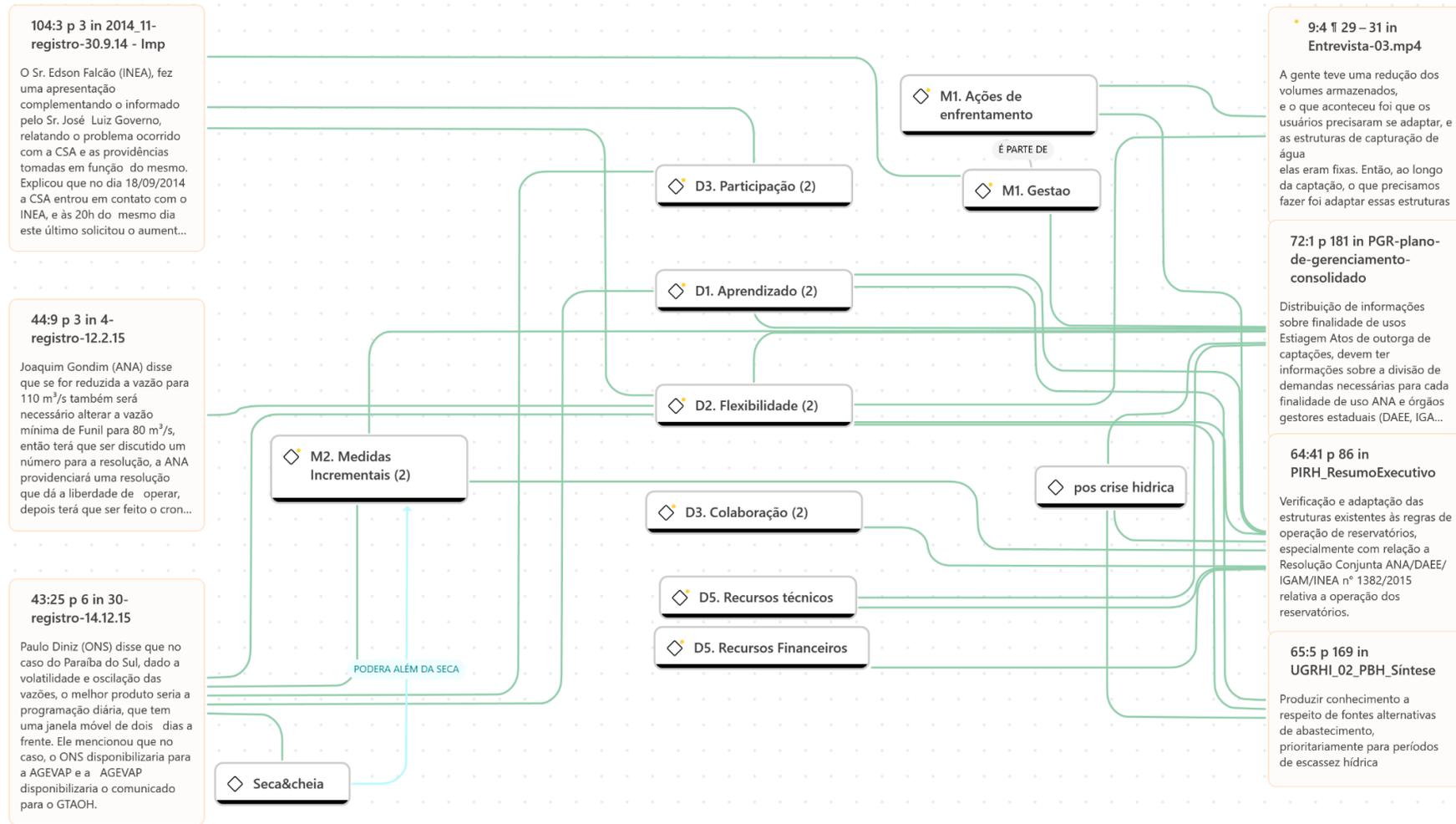


Fonte: ANA, 2024. Boletim de monitoramento.

Assim, a melhoria da flexibilidade do sistema de gestão das águas do Paraíba do Sul está fortemente baseada na operação dos reservatórios, que envolve: monitoramento e produção de conhecimento, ambos incluídos na dimensão do aprendizado; regulamentação com certo grau de flexibilidade e gatilhos previstos, como é o caso da Resolução Conjunta 1.382/2015; e um espaço de participação contínuo que vem sendo perseguido pelo Grupo de Assessoramento de Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (GAOPS), mesmo que restrito aos órgãos gestores da bacia e ao ONS, ainda que conte com a presença do CEIVAP (Figura 39).

A figura 39 é uma representação em rede, elaborada pela autora, no software Atlas.ti, para exemplificar a atribuição de sentido aos trechos extraídos do texto dos documentos analisados ('citações') por meio das categorias de análise, típicas do método de análise de conteúdo, que nesta tese foram criadas com base nas dimensões da capacidade adaptativa do quadro analítico. Neste caso, a dimensão analisada é da flexibilidade. Figuras como essa ajudam a demonstrar as evidências

Figura 39 - Citações codificadas no software Atlas.ti, organizadas em rede, sobre a dimensão de flexibilidade da capacidade adaptativa às secas e escassez hídrica



A autora, 2025. Elaborado no ambiente do Atlas.ti.

das dimensões da capacidade adaptativa encontradas nos documentos analisados, por isso aparecem também nas seções adiante. Quando chamada no texto a citação aparece com a notação, por exemplo: 103:4, onde 103 é o código do documento e 4 é o número da citação dentro do documento.

Sob a dimensão da flexibilidade, tais medidas adaptativas são incrementais devido à ampla abrangência espacial, continuidade temporal, e efeitos positivos para a gestão dos recursos hídricos observados inclusive em períodos de seca, como o mais recente de agosto a outubro de 2024 e anteriormente em 2021. Além disso, a maior flexibilidade de operação dos reservatórios, a curto prazo, torna o sistema mais resiliente, pelo menos para as condições atuais. No entanto, torna-se cada vez mais evidente que as incertezas impostas pelas mudanças climáticas, além das econômicas e sociais, colocam novos desafios, que passam por avaliar a implementação das regras operativas. É preciso, portanto, ampliar a flexibilidade do sistema para além dos melhoramentos incrementais da operação dos reservatórios a curto prazo.

Ainda assim, não compreendemos a maior flexibilidade na operação dos reservatórios como uma medida adaptativa transformativa, pois ela mantém o sistema na mesma direção, a fim de promover a segurança hídrica na bacia com apelo para a gestão da oferta. Além disso, sem buscar a redundância do sistema, isto é, sem a inclusão de fontes alternativas, por exemplo.

Medidas tão importantes quanto essa, seriam a redução da vulnerabilidade dos setores usuários, como a redução das perdas nos sistemas de abastecimento, o aprimoramento dos processos produtivos intensivos em água, e a redução da pressão para o aumento da produção de hidroenergia (por meio dos aproveitamentos já existentes) concomitante ao incremento de outras fontes renováveis de energia etc. Mas também, e principalmente, medidas que caminhem no sentido oposto ao da degradação ambiental, como programas de recuperação e revitalização de bacias hidrográficas em grande escala, melhorias no saneamento básico e tratamento de esgotos com conseqüente melhoria da qualidade das águas, além do avanço para soluções baseadas na natureza a fim de reequilibrar o ciclo hidrológico, promovendo a recarga de lençóis freáticos e aquíferos subterrâneos, por exemplo. Essas medidas podem contribuir para a maior resiliência da bacia mesmo para secas severas de curto

prazo (3 – 6 meses), como podem ser as mais comuns em bacias hidrográficas situadas em regiões de clima úmido, como a Bacia do Rio Paraíba do Sul.

A operação mais dinâmica e flexível dos reservatórios do Sistema Hidráulico durante a crise hídrica, descrita na tese como medidas de enfrentamento, gerou informações que foram produzidas por gestores e usuários e experiências capazes de se tornarem aprendizados, posteriormente incorporados à discussão das mudanças das regras operativas.

A flexibilidade das regras operativas tem sido colocada à prova ao longo do período observado das atas do GAOPS (2022 – 2024). Uma das preocupações apresentadas durante as reuniões, diz respeito à capacidade de operar o Sistema Hidráulico dentro das regras operativas, de modo a garantir a flexibilidade para responder a eventos de secas e cheias. Isso se torna particularmente difícil no contexto de imprevisibilidade climática e das dificuldades na previsão das chuvas vivenciada na bacia, como explicado:

Para os três meses março, abril, e maio, eu [Marcelo - CEMADEN] consultei vários modelos, mas a discrepância entre eles é tão grande, que acho que a conclusão é que não podemos dizer qual será o cenário mais provável para os próximos três meses. A gente vai ter que acompanhar estas previsões no prazo mais curto (59ª reunião do GAOPS, 2022, fala do Marcelo Celutti - CEMADEN)

Por exemplo nas reuniões 65ª, 63ª e 64ª, o período seco se apresentou mais seco que o normal; já nas reuniões 59ª, 82ª, 83ª, o controle de cheias foi o foco, especialmente para o ONS.

Além da irregularidade espacial das chuvas sobre o território da bacia, destaca-se que chuvas na cabeceira promovem o acúmulo de águas nos reservatórios e, a depender da operação, é possível fazer o controle de cheias. Por outro lado, chuvas em pontos da bacia sem infraestrutura de reservação têm maior potencial de causar danos por inundações. Além, é claro, de constituírem um cenário em que, mesmo com chuvas, a situação de reservação do Reservatório Equivalente pode ser desfavorável.

Adiantamos, no entanto, que na análise global, considerando, especialmente a dimensão de liderança e poder, as novas regras operativas foram consideradas como medidas adaptativas transformativas, como discutimos adiante na seção 4.5.4.

#### 4.5.2 Aprendizado (D1): mais informações disponíveis para a tomada de decisão e para a preparação do sistema

O aprendizado constitui-se como um processo dinâmico e interativo de obtenção e aplicação do conhecimento para formulação de estratégias adaptativas, que pode ser efetuado por meio das experiências externas e próprias, levantamento e compartilhamento de informações, além de envolver a interação entre os diversos atores (Bettini et al., 2015). O aprendizado de ciclo único, no qual regras e práticas são mantidas está relacionado às ações de enfrentamento; o de ciclo duplo reavalia a organização existente em busca de novas soluções e criação de medidas adaptativas incrementais; e o de ciclo triplo aborda causas profundas da vulnerabilidade no sentido de medidas adaptativas transformativas (Pahl-Wostl, 2009). O desenvolvimento do aprendizado do ciclo único até o ciclo triplo em sistemas socioecológicos os orienta para aumento da capacidade adaptativa e resiliência.

Exploramos algumas das estratégias adaptativas, que demonstram o aprendizado no sistema socioecológico Paraíba do Sul, identificadas durante a crise hídrica e no pós-crise, além de medidas futuras. São exemplos: os sistemas de informação para levantamento e acompanhamento de informações sobre seca e escassez hídrica (Monitor de Secas e Boletins do CEMADEN); a criação de novas regras operativas para o Sistema Hidráulico Paraíba do Sul-Guandu (Resolução 1.382/2015); Grupo de Acompanhamento Hidráulico (GAOPS); Analisamos também, os aspectos do aprendizado: o aprender fazendo, disponibilidade de informações, estudos e modelagens, documentação do enfrentamento da crise, tomada de consciência da crise, avaliação das estratégias adotadas para enfrentamento da crise hídrica, preocupação com secas futuras, inserção de temas como resiliência e capacidade adaptativa na gestão e lições aprendidas.

Implementar alterações rápidas da operação dos reservatórios dependem de monitoramento constante, mas também da produção de conhecimento, que tem sido desenvolvido em duas frentes principais: pelo Monitor de secas, que acompanha o avanço das secas pelo país mensalmente e; pelo CEMADEN por meio das previsões e classificação das secas e seus impactos, e que tem aproximado este conhecimento da gestão da Bacia do Rio Paraíba do Sul. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) colabora com a produção de conhecimento da bacia quanto as previsões

climáticas com uma ação complementar a do CEMADEN, juntando meteorologistas e hidrólogos para entender as secas na bacia.

Apenas as colaborações do CEMADEN e do INPE são reunidas em discussões mensais no âmbito do Grupo de Assessoramento de Operação do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul (GAOPS). As dimensões de aprendizado, colaboração e participação se destacam nessas ações, adicionalmente, percebe-se a liderança dos órgãos técnico e científicos fornecedores de informações ao tomarem essa tarefa para si (veja estrutura do SINGREH para o SSE-BPS - Figura 20, 117). O GAOPS e suas reuniões mensais, funcionam como as Salas de Crise da ANA<sup>17</sup>, são considerados pelos atores da gestão como uma importante lição da crise hídrica do Paraíba do Sul. As salas de crise viraram um modelo para gestão das bacias hidrográficas compartilhadas para o país (ANA, 2021a). O GAOPS acompanha continuamente a operação do sistema hidráulico, enquanto as salas de crise são acionadas em momentos de secas e inundações.

O GAOPS emerge das discussões para a modificação das regras operativas do SHPSG, diante da crise hídrica e das discussões para a construção da interligação Jaguari-Atibainha, como uma forma de acompanhar a implementação das regras e as condições de armazenamento dos reservatórios, considerando ainda o marco do acordo construído para esta resolução (1382/2015, que trata das regras operativas) que deixa de ser unicamente assinada pela ANA e passa a ter os estados como signatários, de modo que, alterações precisam passar pela anuência dos quatro órgãos gestores, ainda que a ANA lidere o processo (citação 79:9, Figura 40).

Tais medidas ilustram a dimensão aprendizado, pois são resultado da experiência obtida com a crise hídrica de 2014-2016. Algumas delas evoluem no ciclo de aprendizagem, por exemplo: acompanhar a qualidade das águas e o nível dos rios configura-se como ciclo único reunindo informações inexistentes; avançam para o ciclo duplo - adaptação das captações para ajustar-se em diferentes níveis); e atingem o ciclo triplo com a efetivação e acompanhamento de novas regras operativas.

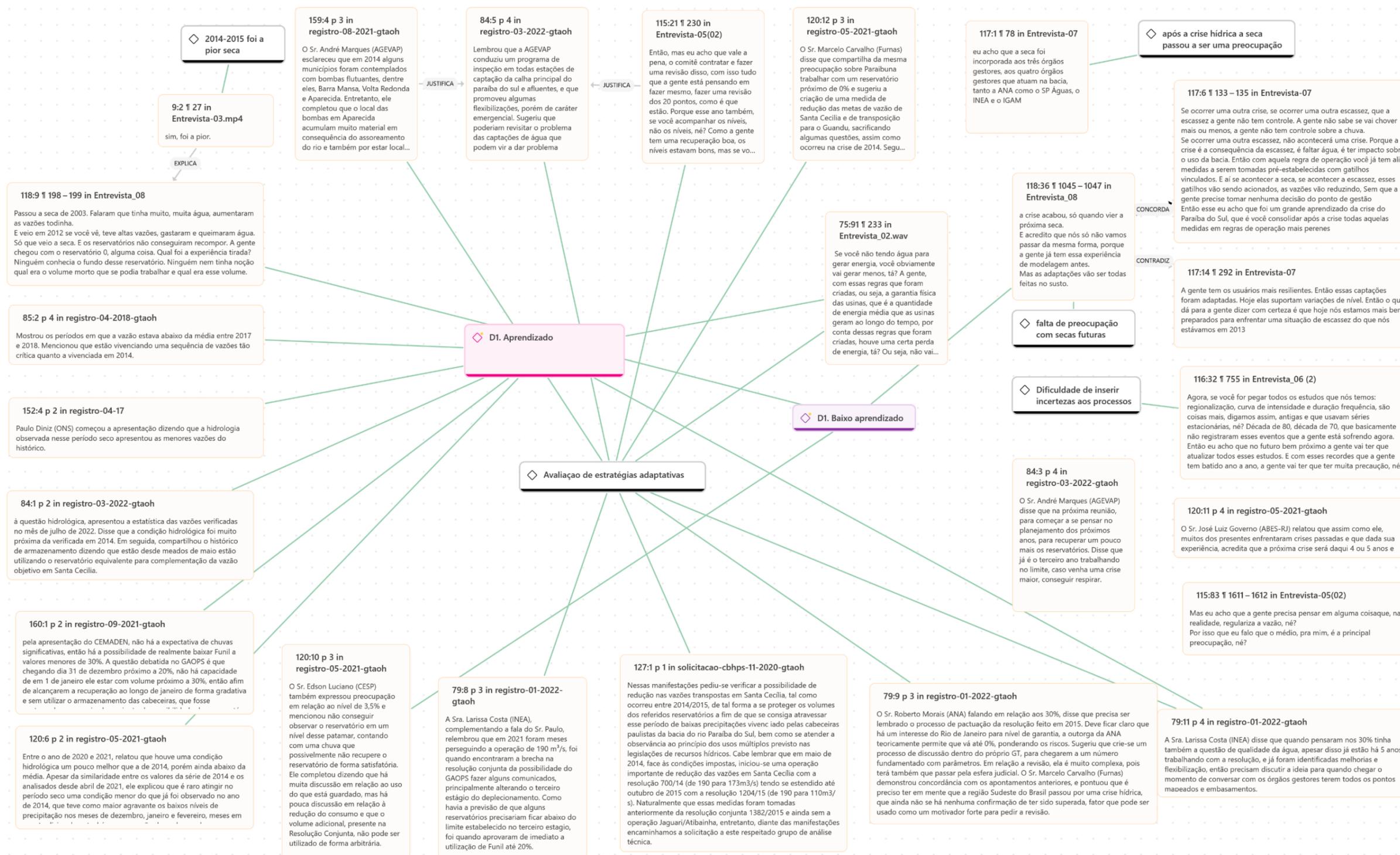
---

<sup>17</sup> “Nas **Salas de Crise**, os atores envolvidos em situações de crise hídrica se articulam, em reuniões periódicas, para buscar soluções aos problemas críticos verificados em bacias ou regiões com reservatórios ou outras infraestruturas hídricas. O objetivo é promover medidas de aumento da segurança hídrica, da capacidade de resposta e da resiliência dos sistemas” (ANA, 2021a)

Um aprendizado importante para mobilização em torno da preparação para as secas seria a tomada de consciência da seca e escassez hídrica como um evento recorrente na bacia e por isso a necessidade de preocupação com secas futuras (Citação 118:36, Figura 40). Em parte, vemos na bacia avanços nesse sentido, exemplificados pela elaboração do Plano de Gestão de Riscos para toda a Bacia do Rio Paraíba do Sul e estudos de atualização de disponibilidade hídrica e demanda, que ainda precisam compreender as mudanças climáticas e seus efeitos sobre essas variáveis, e incorporá-las ao desenho de estratégias adaptativas; pelas iniciativas de monitoramento das secas e seus impactos, bem como previsões mensais e sazonais, ainda que careçam de esforços para inserção nos processos de gestão das águas.

No entanto, a falta de preocupação com secas futuras se traduz na desmobilização de ações de enfrentamento da crise hídrica de 2014-2016; na fraca articulação para a elaboração do Plano de Segurança Hídrica do Estado do Rio, fortemente dependente das águas do Paraíba do Sul, inclusive para abastecimento da sua Metrópole; Na demora em providenciar uma solução definitiva, sustentável e socialmente justa para coleta e tratamento dos efluentes dos municípios da Baixada Fluminense contribuintes da bacia do Rio Guandu e do SSE-BPS como um todo; nas iniciativas insuficientes de recuperação de mananciais.

Figura 40 - Citações codificadas no software Atlas.ti, organizadas em rede, sobre a dimensão de aprendizado e preocupação com secas futuras no SSE-BPS



Fonte: A autora, 2025. Trechos de citações extraídos dos documentos codificados no Atlas.ti.

Retomando um pouco o reconhecimento da seca e sua relação com a crise de 2003, para entender a importância da preocupação com secas futuras para o aprendizado, temos que: a seca de 2014-2015 foi se anunciando pelas reduções bruscas nos níveis dos reservatórios, a articulação e mobilização dos atores foi se dando de forma quase que espontânea, em torno do GTAOH, que já existia e se reunia duas vezes por ano. Assim, de um lado, técnicos da ANA que perceberam o rebaixamento dos reservatórios, acionaram o ONS, que na sequência, sugeriu a redução da vazão defluente em Santa Cecília para a transposição do Guandu (Costa et al., 2015); de outro lado, técnicos experientes que vivenciaram a crise de 2003, com participação nos Comitês, tiveram a mesma percepção de redução dos níveis dos reservatórios, como no relato (5):

“Então, é importante, porque quando aconteceu a crise, nós fomos avisados, na verdade, quem se tocou muito, quem tinha uma experiência grande e tinha participado em 2003 da crise, na verdade, foi o [...], do DAEE, [...] participava mais do CBH-OS, falou assim, vamos dar uma olhada, está acontecendo alguma coisa, o nível está baixando.

O aprendizado com a crise de 2003 permitiu a um ator experiente perceber que havia algo de errado. No entanto, esse aprendizado individual parece não ter sido incorporado ao sistema de forma mais abrangente e sistemática, o que possivelmente contribuiu para uma percepção da seca talvez tardia, junto com o precário acompanhamento contínuo dos reservatórios por órgãos gestores e falta de sistemas de monitoramento e de previsão de secas, quando sem uma orientação clara do que fazer, pois não havia previsão ou gatilhos para próximas ações nestes casos nas regras operativas vigentes.

A condução do enfrentamento da crise de 2014-2016 diferentemente da de 2003, teve seu processo documentado (citação 75:49, Figura 40), com monitoramento e acompanhamento da operação do Sistema Hidráulico e atenção dada as informações climáticas e hidrológicas, tudo isso possibilitou um avanço no aprendizado, que adianta a percepção do risco de seca para antes do estabelecimento do evento, bem como medidas imediatas, já previstas nas regras operativas.

Até o momento, as regras operativas têm funcionado para que reduções dos índices pluviométricos com repercussões sobre as vazões não se tornem crises hídricas. As estiagens e secas subsequentes entre 2017 e 2022 na bacia foram de intensidade menor que 2014-2015 (citações 152:4; 85:2; 120:6; 160:1; 84:1; 120:10,

Figura 40). Monitorar a seca e documentar seus impactos é muito importante para a gestão dos recursos hídricos lidar com as secas de modo mais proativo (Van Loon, 2015).

Por outro lado, pode ser que, a preocupação com secas futuras tenha diminuído com o passar do tempo, devido à percepção de que o risco de seca e escassez hídrica atingir o ponto crítico de uma crise é menor, devido a operação dos Sistema Hidráulico sob novas regras operativas mais restritivas e “poupadora de águas”, levando os atores a uma certa letargia e tornando-os menos dispostos a promover a capacidade adaptativa (citação 117:6, Figura 40).

A desmobilização da adequação de captações no Paraíba do Sul e a falta de informações sobre a situação atual de vulnerabilidade de usuários, que foram mais impactados durante a crise hídrica 2014-2016, foram interpretadas como uma redução na percepção do risco de secas futuras (citações 117:14; 118:36, Figura 40). Isto demonstra que determinados atores consideram desnecessárias medidas de preparação. Enquanto a elaboração do PGR para a Bacia do Rio Paraíba do Sul com inclusão de estiagens, estudos de atualização da disponibilidade hídrica e demandas se relacionam a uma preocupação de atender aos usos múltiplos no futuro, inclusive, se for necessário enfrentar secas e escassez hídrica.

#### 4.5.3 Participação e Colaboração (D3): impulsionam a criação de soluções inovadoras

Participação e colaboração constituem uma dimensão processual da capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica que devem funcionar conjuntamente, pois a participação é um processo amplo que envolve diversos atores da gestão dos recursos hídricos incluindo usuários e sociedade civil, especialmente no âmbito dos Comitês de Bacia, para busca de soluções e tomada de decisão. Ao lado, a colaboração é um processo mais focado na junção de esforços das instituições e outras partes interessadas, como usuários e sociedade civil, na gestão dos recursos hídricos em torno de um objetivo comum, neste caso uma estratégia adaptativa. A colaboração entre os atores pressupõe a participação nas discussões melhorando comunicação e qualidade das interações. A dimensão aprendizado atravessa a discussão, pois participação e colaboração funcionam bem tanto para geração de

informações, quanto seu compartilhamento, bem como utilizam o aprendizado para tomada de decisão informada. A dimensão de liderança e poder orienta (ou bloqueia) a agenda da discussão participativa e pode centralizar (ou descentralizar) a decisão, relacionando-se com a dimensão da participação e colaboração.

O enfrentamento da crise hídrica 2014-2016 foi participativo, aproveitando o aprendizado pela experiência adquirida da gestão da crise 2001-2003. Costa et al. (2015) enfatizam o caráter coletivo desse processo, envolvendo diversos atores afetados pela escassez hídrica nas Bacias Paraíba do Sul e Guandu, a exemplo do que ocorreu na crise anterior entre 2001 e 2003, cuja gestão motivou a criação do GTAOH. Pode-se afirmar que o aprendizado teve um incremento, visto que, ao ser reativado para gestão da crise 2014-2016, o grupo, que se desmobilizou após a crise que o originou, manteve reuniões e o acompanhamento da situação da bacia mesmo no período pós-crise.

A participação em espaços de discussão pode contribuir para alterar a dinâmica de poder entre os tomadores de decisão e aqueles afetados por suas escolhas (Macpherson, 2024). Por exemplo, na bacia do rio Paraíba do Sul, no âmbito do GTAOH, a decisão sobre reduções sequenciais da vazão de transposição durante a crise hídrica considerou os impactos sobre os usuários (Citação 44:8, Figura 41). Estratégias adaptativas como o protocolo de emergência (ação de enfrentamento) (Citação 30:27, Figura 41) e a adaptação de estruturas de captação (medida adaptativa incremental) (Citações 41:10; 30:27; 27:9, Figura 41) foram essenciais para viabilizar a intensificação das reduções das vazões ocorresse (Citação 30:20, Figura 41). Desse modo, os afetados pelas decisões, em um fórum participativo, influenciaram os resultados.

Esse conjunto de ações foi construído a partir da geração de novas informações como as condições das captações (Citação 45:5, Figura 41), relacionando a dimensão aprendizado à participação e colaboração.

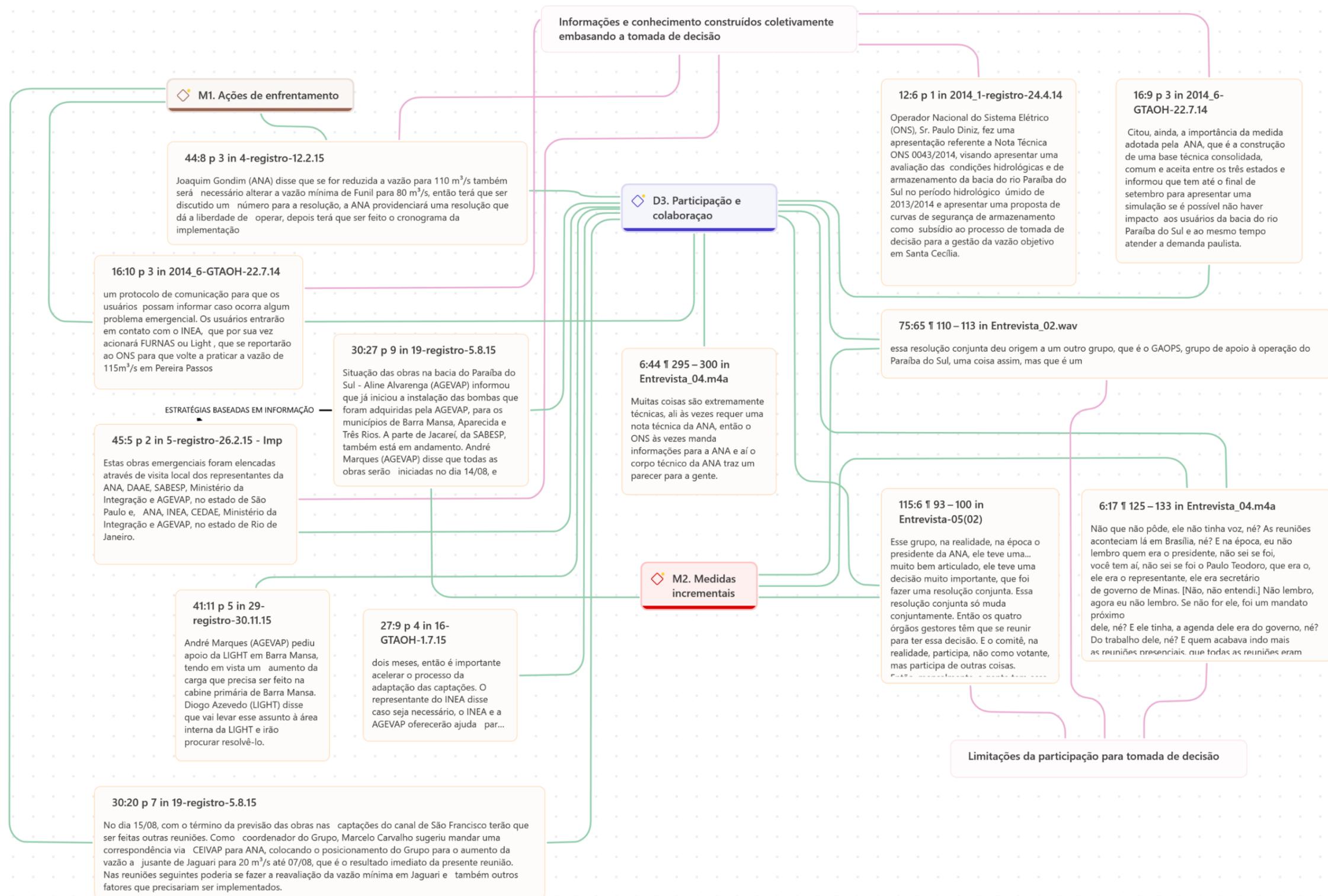
Quando as estratégias foram colocadas em prática levaram a um acúmulo de evidências associadas a outras informações (Citações 12:6; 16:9, Figura 41), o que permitiu construir conhecimentos (dimensão aprendizado), impulsionando as discussões em outra instância – o GAOPS. Esse grupo reúne tomadores de decisão e representantes dos próprios órgãos gestores das águas, com espaço para escuta de outros atores, como o ONS, que tem forte influência nas decisões, justamente pelo

domínio da técnica e acúmulo de informações, além da responsabilidade pela operação do Sistema Hidráulico. A AGEVAP, como agência de água dos comitês de bacia, está fortemente presente e atuante, assim como o CEIVAP e outros convidados rotineiros que contribuem com informações que podem ser incorporadas ao processo decisório ou não, a depender da concordância dos órgãos gestores (Citações 6:17, 115:6, Figura 41).

A implementação da principal ação de enfrentamento da crise hídrica (2014-2016) – reduzir as vazões defluentes para conservar água nos reservatórios de cabeceira da bacia – dependia da criação de novas estratégias de adaptação capazes de preparar os usuários para captar água em níveis mais baixos dos rios Paraíba do Sul e Guandu em decorrência da redução da vazão. Isso só foi possível mediante a colaboração e participação para construção do conhecimento, mobilizando adicionalmente a dimensão aprendizado. Os conhecimentos gerados a partir da implementação das ações e da observação do comportamento do sistema socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul possibilitaram a criação de medidas adaptativas incrementais pensando no pós-crise, como foi o caso da mudança das regras operativas do Sistema Hidráulico.

Enquanto durante a crise a gestão foi amplamente participativa, no pós-crise o processo decisório se restringiu a um conjunto específico de atores. Anteriormente, a decisão das regras operativas era de responsabilidade da ANA em articulação com o ONS, ouvidos os órgãos gestores estaduais. Com as novas regras, esses órgãos passaram a atuar juntamente com a ANA (Figura 41).

Figura 41 - Participação e colaboração relacionam-se ao aprendizado para construção de estratégias adaptativas e processos decisórios



Fonte: A autora, 2025. Elaborado no ambiente do Atlas.ti.

A participação e a colaboração ocorrem nos múltiplos níveis de governança da bacia de forma hierarquizada. Uma vez que a participação é controlada e limitada, ela depende do grupo de trabalho onde a discussão ocorre – GTAOH ou GAOPS –, ressalvadas as distinções de objetivos e atribuições. O GTAOH foi, durante a crise hídrica, um espaço de construção de consensos, no qual a participação ia além da simples permissão para expor argumentos. Além disso, havia uma preocupação com o nivelamento de conhecimento entre todos os atores participantes, especialistas ou não, o que facilitava a participação (citação: 6:44, Figura 41) (Lemos et al., 2020). Mesmo que as recomendações do GTAOH precisassem ser aprovadas na plenária do CEIVAP, durante a crise todas foram acatadas pela ANA (Costa et al., 2015). Em contrapartida, no GAOPS as discussões são restritas aos órgãos gestores, colocando representantes de CBH como espectadores dos processos decisórios (Citação 6:17, Figura 41). Isso limita a participação ampla de atores na tomada de decisão de gestão da bacia hidrográfica, apesar de ser assegurada a presença de atores externos ao núcleo de gestão (órgãos de governo) nos espaços de discussão.

#### 4.5.4 Liderança e Poder (D4): comprometimento com a construção da capacidade adaptativa do sistema socioecológico

O poder manifesta-se pela capacidade de atores fazerem valer seus interesses, sejam eles tomadores de decisão propriamente ditos ou influenciadores dos resultados das decisões na gestão dos recursos hídricos, ainda que outros atores possam resistir (Macpherson et al. 2024). Apesar de constantemente citado como uma variável importante, identificar e analisar as relações de poder e liderança não é simples, pois, mesmo em um sistema de governança e gestão pautado na participação e na criação de espaços para discussão, o processo de tomada de decisão envolve conversas e articulações nos bastidores. Além do mais, em sistemas de governança policêntricos, há múltiplas formas de exercer este poder (Morrisson et al, 2019).

Na tese, buscamos evidências da existência de lideranças com capacidade de comunicação entre diferentes níveis e comprometidas com os valores adaptativos. Além disso, tentamos entender o processo de construção das estratégias adaptativas adotadas no sistema socioecológico da bacia do Paraíba do Sul, especialmente

aquelas que mais afetam as relações de poder ou demandam maior articulação e discussão por afetarem grupos e setores usuários mais influentes. Exemplos disso são a definição das regras operativas do Sistema Hidráulico, sejam elas temporárias ou permanentes.

O Sistema de Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos no Brasil (SINGREH) (Figura 20, p.117) vem buscando, ao longo das últimas décadas, implementar e aprimorar um conjunto de instrumentos previstos na PNRH – a outorga, a cobrança, o sistema de informações, o enquadramento e o plano de recursos hídricos –, além de criar outros, como os marcos regulatórios<sup>18</sup>. Estes são empregados em situações conflituosas e de escassez hídrica e, em certa medida, atendem a situações nas quais a outorga de recursos hídricos não foi suficiente para regular os usos de acordo com os fundamentos da PNRH (Ambrosio et al., 2018).

Em uma mesma bacia, onde coexistem águas de quatro domínios diferentes, especialmente em contextos de seca e escassez hídrica, as regras e práticas de alocação de águas encontram resistências e disputas que nem sempre são solucionadas rapidamente pela via do consenso. Nesses casos, o estabelecimento de regras em lei é necessário. A ANA é responsável pela regulação da vazão de entrega de rios estaduais na confluência com rios da União, de acordo com o, Decreto Presidencial nº 3.692, de 19 de dezembro de 2000, em seu artigo 17º:

Art. 17. Observado o disposto no art. 4º da Lei nº 9.433, de 1997, a ANA exercerá ação reguladora em corpos de água de domínio da União, inclusive mediante a definição de requisitos de vazão mínima e de concentração máxima de poluentes na transição de corpos de água de domínio Estadual para os de domínio Federal.

Adicionalmente, a interface do setor de recursos hídricos com o setor elétrico, em decorrência dos reservatórios para geração de energia elétrica, impõe a articulação muito próxima entre os dois setores. De acordo com a lei de criação da ANA (Lei Federal nº 9.984/2000), a Agência tem a responsabilidade de estabelecer as regras de operação dos reservatórios com aproveitamentos hidroelétricos, em articulação com o ONS. Este alinhamento se justifica pela natureza integrada do

---

<sup>18</sup> “Os marcos regulatórios são responsáveis pela criação de um ambiente que concilie as necessidades dos usos e usuários de recursos hídricos. Trata-se de um conjunto de especificidades e direcionamentos gerais, definidos e implantados após discussões com usuários, comitês e órgãos ambientais de uma determinada bacia, para regularizar e aplicar instrumentos de gestão previstos na Política de Águas.” <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/alocacao-de-agua-e-marcos-regulatorios/marcos-regulatorios> consultado em 29/11/2024.

Sistema Interligado Nacional (SIN), no qual a transferência de energia entre subsistemas permite explorar regimes hidrológicos entre as bacias hidrográficas do país e redistribuir a energia produzida por quase todo o país (ONS, 2024)<sup>19</sup>. Em suma, as regras de operação dos reservatórios buscam conciliar a otimização energética com os objetivos do SINGREH, ou seja, o atendimento aos usos múltiplos, inclusive em situações de seca, e também o controle de cheias. Para tanto, o ONS coordena e controla modelos complexos e simulações que baseiam a operação do SIN (ANA, 2025)<sup>20</sup>. É nesse contexto que a energia gerada na bacia do Paraíba do Sul (Figura 42) é parte de um conjunto de 17 bacias hidrográficas no Brasil.

Figura 42 - Usinas e reservatórios na Bacia do Rio Paraíba do Sul integrantes do SIN



Fonte: (ANA, 2025) [https://www.ana.gov.br/sar/sin/b\\_paraiba-do-sul/#](https://www.ana.gov.br/sar/sin/b_paraiba-do-sul/#)

O ordenamento da gestão das águas se confunde, em certa medida, com o estabelecimento do regramento do setor elétrico no Brasil. Inicialmente, o contexto que criou a necessidade de regular o uso das águas foi a opção nacional pela hidroenergia como forma de suprir a necessidade de eletricidade para a industrialização e a urbanização do país. O Código das Águas de 1934 (Decreto 24.643) não foi totalmente implementado, deixando de lado seus aspectos relacionados ao uso múltiplo e à conservação da água (ANA, 2002), mas obteve êxito no estabelecimento dos marcos para a propriedade das águas e para a organização

<sup>19</sup> <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-que-e-o-sin>, consultado em 21/08/2024.

<sup>20</sup> <https://www.ana.gov.br/sar/sin>, consultado em 01/02/2025.

e regulação do setor elétrico (Zuffo e Zuffo, 2016, p. 240), o que já evidencia o peso maior do setor na utilização dos recursos hídricos no país. Nas décadas seguintes, o que se observou foi a forte influência do setor elétrico nos resultados das decisões da gestão de recursos hídricos (ANA, 2002).

O passo inicial importante para estruturar o SINGREH como conhecemos hoje foi dado pela constituição de 1988, que teve como marcos seguintes a criação da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), pela lei nº 9.433/1997, e, posteriormente, pela criação da ANA em 2000. Evidentemente, esse processo é mais complexo, construído com muita discussão e embates entre os diversos setores usuários dos recursos hídricos. A consolidação do setor elétrico promoveu transposições de águas entre bacias hidrográficas de grandes volumes (CAMPOS, 2009), construção de reservatórios e barramentos, para os quais se empregou volumosos recursos financeiros, mas também técnico-científicos. Um exemplo disso foi o Complexo Hidrelétrico de Lajes, nas Bacias dos Rios Paraíba do Sul e Guandu, construído em etapas a partir da década de 1920 e fortemente ampliado a partir dos anos 1950.

Tudo isso concentrou, no setor elétrico, o acúmulo de informações e conhecimentos sobre os recursos hídricos (Zuffo e Zuffo, 2009), o que juntamente com a dependência do país da fonte hidrelétrica, o colocava em um papel privilegiado na influência sobre a gestão dos recursos hídricos. Ainda sobre isso, podemos citar um exemplo recente que ilustra a necessidade de colaboração e, de certo modo, dependência de informações advindas do setor elétrico para a gestão das águas: o acordo de cooperação técnica n 06/2022, assinado pela ANA e pelo ONS, com duração de cinco anos, que entre outras ações em conjunto, garante o acesso dos servidores da ANA aos sistemas de informações do ONS. A matriz de energia elétrica brasileira dependia em 91% da fonte hidráulica nos anos 2000 (ANA, 2022), mas essa dependência diminuiu de forma significativa nas décadas seguintes, caindo para menos de 60% em 2023 (EPE, 2023)<sup>21</sup>.

Além do acúmulo de informações sobre recursos hídricos sob o controle do setor elétrico, os investimentos elevados nas infraestruturas de geração, planejadas para operar por muitas décadas – como o Sistema Hidráulico Paraíba do Sul – Guandu

---

<sup>21</sup> <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica> , consultado em 01/12/2024.

–, implantado sobretudo a partir dos anos 1950, têm repercussões sobre as decisões atuais de governança e gestão das águas na bacia. Isso cria dificuldades para mudanças transformativas que sejam capazes de tornar o sistema socioecológico da bacia mais resiliente e adaptativo às secas e escassez hídrica, aumentando o risco para os usuários da bacia, incluindo os ecossistemas. Torna-se, assim, inevitável a colaboração entre os dois setores: elétrico e de recursos hídricos, sobretudo nas bacias com aproveitamentos hidroenergéticos já instalados e integrantes do SIN.

Na bacia do Paraíba do Sul, após a crise hídrica, numa tentativa de entender o que antecedeu ao intensivo deplecionamento dos reservatórios diante de um período chuvoso atipicamente seco, Teixeira (2018) indica que o setor elétrico, obedecendo as regras operativas vigentes (Resolução ANA nº 211/2003), utilizou grande quantidade de água para geração de energia, o que fez com que os reservatórios chegassem à espera do período chuvoso em níveis mais baixos do que o habitual (Costa et al., 2015). Em que pese as regras de operação dos reservatórios de 2003 terem sido estabelecidas após a crise hídrica 2001-2003 na bacia, elas permitiam um deplecionamento acentuado dos reservatórios antes da chegada do período chuvoso. Isso ocorria porque não estabeleciam gatilhos de redução da vazão defluente por reservatório que assegurassem a manutenção de volumes seguros de água para os usos múltiplos, sob a alegação legítima da necessidade de controle de cheias.

Ao longo da crise hídrica 2014-2016, as discussões buscaram assegurar água suficiente para os usos múltiplos para todos os usuários do sistema socioecológico da Bacia do Paraíba do Sul, que naquele momento ainda não incluía o reforço ao Sistema Cantareira (interligação Atibainha-Jaguari), mas já era um tema em discussão, dado que a Região Metropolitana de São Paulo enfrentava uma crise hídrica fortíssima. Dessas discussões, construiu-se o entendimento de que as regras operativas deveriam ser mais restritivas e proporcionar maior reservação de águas para os usos múltiplos, incluindo a interligação para a Bacia do Piracicaba e a Metrópole de São Paulo, ainda que isso implicasse em uma menor capacidade de geração de energia hidroelétrica na Bacia Paraíba do Sul.

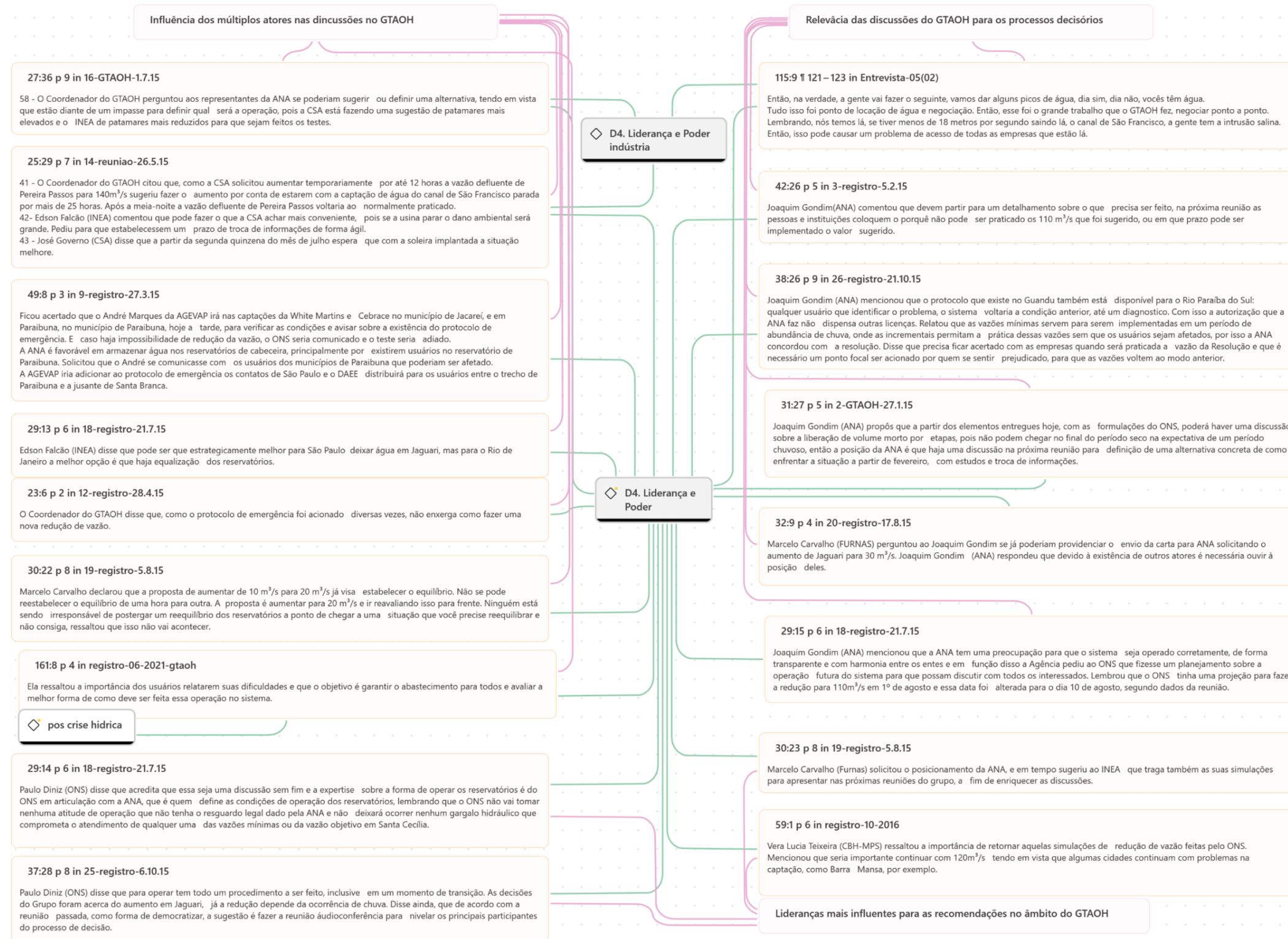
Vale lembrar que, enquanto não há substituto para a água para segurança hídrica, a segurança energética, sobretudo a elétrica, pode contar hoje com uma diversidade de fontes naturais, incluindo a solar e a eólica, que se consolidaram entre as opções renováveis mais expressivas.

A dependência da trajetória (*Path dependence*) refere-se à influência das decisões passadas em processos e resultados sociais no presente, dificultando mudanças e a criação de soluções alternativas (Ernest e Preston, 2017). Bremond et al. (2014) destacam que soluções técnicas, que exigem grandes investimentos em engenharia intensificam essa dependência, tornando mais custosas mudanças bruscas de trajetória. Já Rosenbloom et al. (2019) apontam quatro fatores que dificultam a reversão de decisões tomadas no passado: (i) os custos irrecuperáveis associados ao sistema atual, (ii) a acumulação de experiência em torno de tecnologias e instituições estabelecidas, (iii) expectativas autorrealizáveis sobre a persistência desses arranjos e (iv) benefícios crescentes de avançar na direção estabelecida. Além disso, padrões de auto-reforço também atuam no sentido de bloquear a mudança, pois quanto mais tempo instituições e arranjos tecnológicos permanecem em funcionamento, mais eles tendem a ser percebidos como naturais.

No Brasil, de um modo geral, o setor de recursos hídricos se estruturou após o setor de hidroenergia, e por isso, o setor elétrico tem forte influência nas políticas e gestão dos recursos hídricos. Isso é especialmente acentuado nas bacias já exploradas para produção de energia elétrica, nas quais grandes e importantes reservatórios foram construídos, e que atendem atualmente aos usos múltiplos da água, e não somente às necessidades de geração de energia. De certo modo, no sistema socioecológico da bacia do rio paraíba do Sul, a dependência da trajetória, se dá justamente na escolha feita no passado pela construção de usinas hidroelétricas com projetos de engenharia complexos e custosos. Essa escolha propiciou ao setor elétrico primazia na construção da infraestrutura e no acúmulo de conhecimento hidrológico, influenciando diretamente a formulação das estratégias adaptativas durante a crise hídrica. As decisões sobre reduções de vazão não se baseavam somente nos impactos sobre os usuários a jusante, mas também nas informações e modelagens apresentadas pelo ONS nas reuniões do GTA OH (Citações: 29:14; 37:28; 59:1 - Figura 43; Citação 20:2).

Com o agravamento da crise, outras instituições passaram a colaborar mais ativamente na construção de modelagens para prever respostas do Sistema Hidráulico, notadamente o INEA, uma vez que o estado do Rio de Janeiro era o maior interessado na manutenção das vazões de transposição para a Bacia do Rio Guandu (Citação 30:23, Figura 43; Citação 30:37).

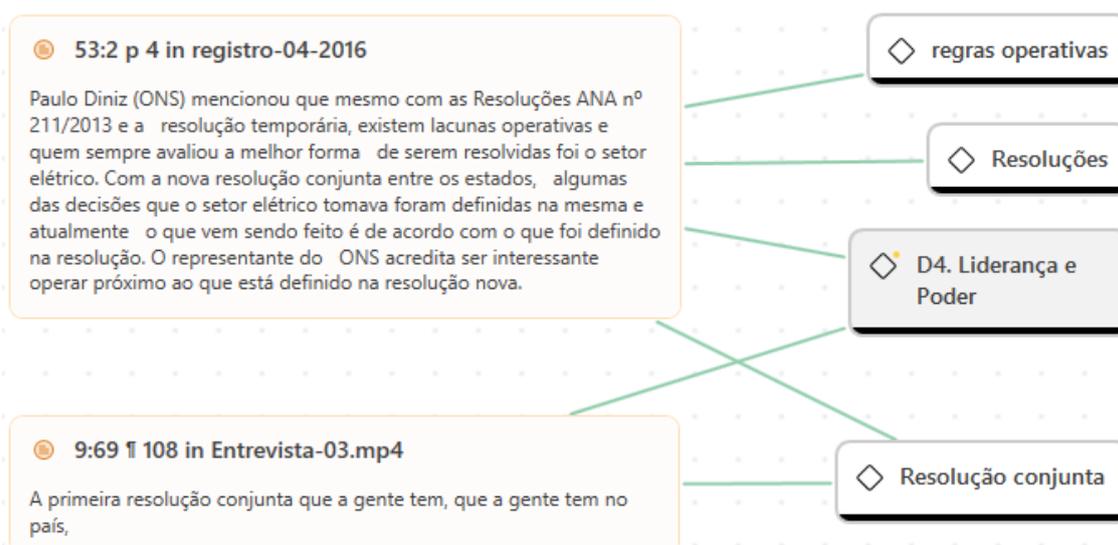
Figura 43 - Liderança e poder nas discussões no âmbito do GTAOH



Fonte: A autora, 2025. As citações extraídas das atas do GTAOH foram organizadas em três grupos: (i) aquelas que os usuários ou outros atores em disputa colocam suas expectativas e preferências; (ii) aquelas que expressam como as declarações de usuários influenciam o processo decisório e; (iii) aquelas que mostram a influência do ONS e da ANA.

O fortalecimento institucional dos órgãos de gestão foi essencial para o avanço das discussões que levaram ao acordo para construir os requisitos da Resolução Conjunta 1.382/2015, que definiu as novas regras operativas para o Sistema Hidráulico e a criação do GAOPS (Citação 48:17; 23:20, Figura 45) (Costa, 2015). Legalmente, a determinação das regras de operação de reservatórios de bacias federais não depende da participação ou concordância de órgãos gestores estaduais para sua construção ou efetivação, como pode ser verificado no normativo substituído; a Resolução ANA 211/2003 foi assinada pela ANA, em articulação com o ONS (Citações 9:69; 53:2, Figura 44) As novas regras operativas da Bacia do Rio Paraíba do Sul passaram a incluir os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, cedendo, portanto, espaço de liderança e poder aos estados. Essa mudança foi defendida pelo estado do Rio de Janeiro como forma de aumentar a sua influência em todas as discussões envolvendo o sistema Hidráulico, em função de sua extrema dependência das águas da Bacia e da operação de sua infraestrutura (entrevistado 10).

Figura 44 - Mudanças nos papéis do ONS e dos órgãos gestores estaduais na definição das regras operativas do Sistema Hidráulico (Citações 9:69 e 53:2)

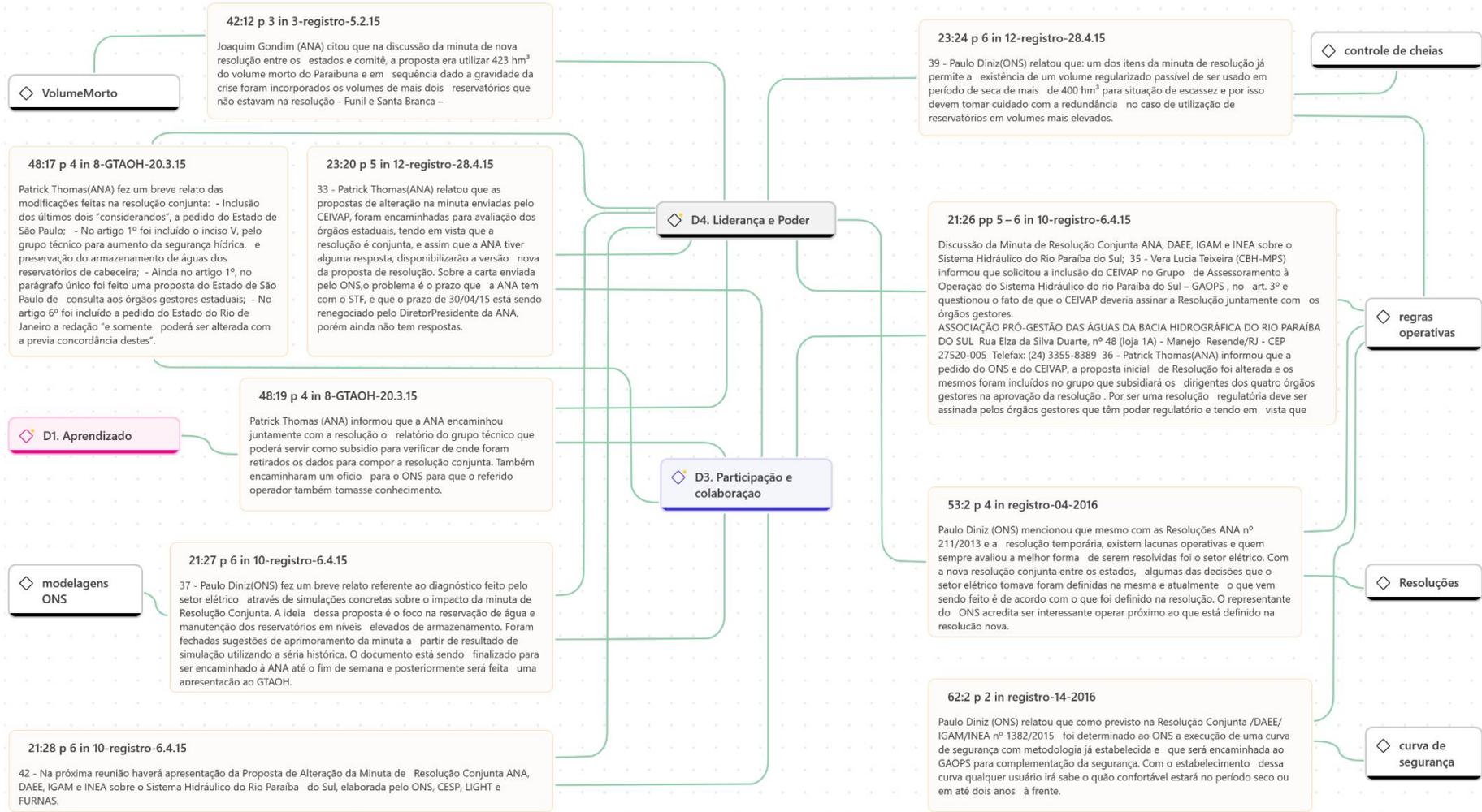


Fonte: A autora, 2025.

Essa mudança das relações de poder e liderança foi construída ao longo do enfrentamento da crise hídrica, no contexto conflituoso entre Rio de Janeiro e São Paulo, quando a robustez e flexibilidade necessárias à nova regra dependiam do aprendizado adquirido pelo enfrentamento da crise, bem como de informações de

projeção de demandas oriundas dos estados e de modelagens do ONS (Citações: 48:19; 21:27; Figura 45; 9:69, Figura 44). A participação dos órgãos estaduais neste processo foi determinante para o seu amadurecimento nas discussões e fortalecimento institucional, devido a necessidade de resposta que o momento exigia e das consequências que um fracasso nestas negociações traria, absoluta insegurança hídrica para a segunda maior metrópole do país.

Figura 45 - Liderança e poder durante a construção da Resolução Conjunta 1.382/2015



Fonte: A Autora, 2025.

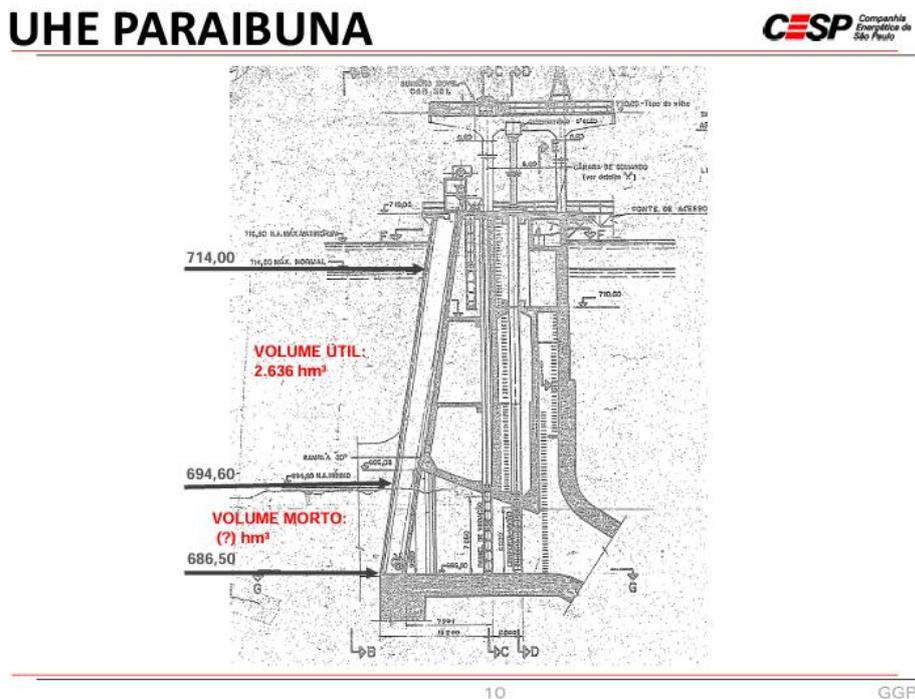
Um dos aprendizados mais relevantes da crise hídrica foi a descoberta de uma reserva de água, o volume morto<sup>22</sup> do maior reservatório do SHPSG, o Paraibuna, apelidado de volume “moribundo”, por permitir o uso sem a necessidade de bombeamento (Citação 42:12, Figura 45). Isto porque, em momentos de seca e escassez hídrica severas, poderia aumentar a flexibilidade do sistema, embora o volume morto de um reservatório não foi projetado para ser utilizado, além de aumentar a dificuldade de recuperação da água armazenada após a seca (Citação 20:7, Figura 47). Os gatilhos e as regras para utilização do volume morto do Paraibuna, restrito aos momentos de escassez hídrica severa, estão estabelecidos na Resolução Conjunta 1.382/2015. O uso do volume morto dos reservatórios do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul – Guandu (SHPSG) também foi motivo de disputa entre os estados do Rio de Janeiro e São Paulo.

O reservatório de Paraibuna, onde fica a UHE Paraibuna, operada pela Companhia Energética de São Paulo (CESP), atende aos usos múltiplos. O uso de parte do volume morto de Paraibuna e de Jaguari enfrentou forte resistência dos atores do trecho paulista da bacia (Citações 102:1; 106:14, Figura 47), que dificultaram, até certo ponto, o avanço dos estudos do ONS para quantificar o volume de água existente abaixo do nível operacional do Paraibuna (Citações 15:2; 102:11, Figura 47). Em 30/11/2014, a CESP fez uma apresentação, a pedido do GTA OH, na qual evidenciava o seu desconhecimento sobre isso (Figura 46). Do lado do Rio de Janeiro, a resistência era quanto ao uso da reserva de Funil, considerado estratégico, sendo o único dos quatro reservatórios em território fluminense (Citação 30:40, Figura 47).

---

<sup>22</sup> Volume Morto é aquele que se encontra abaixo dos níveis mínimos operacionais (ANA. <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/paraiba-do-sul/paraiba-do-sul-saiba-mais>).

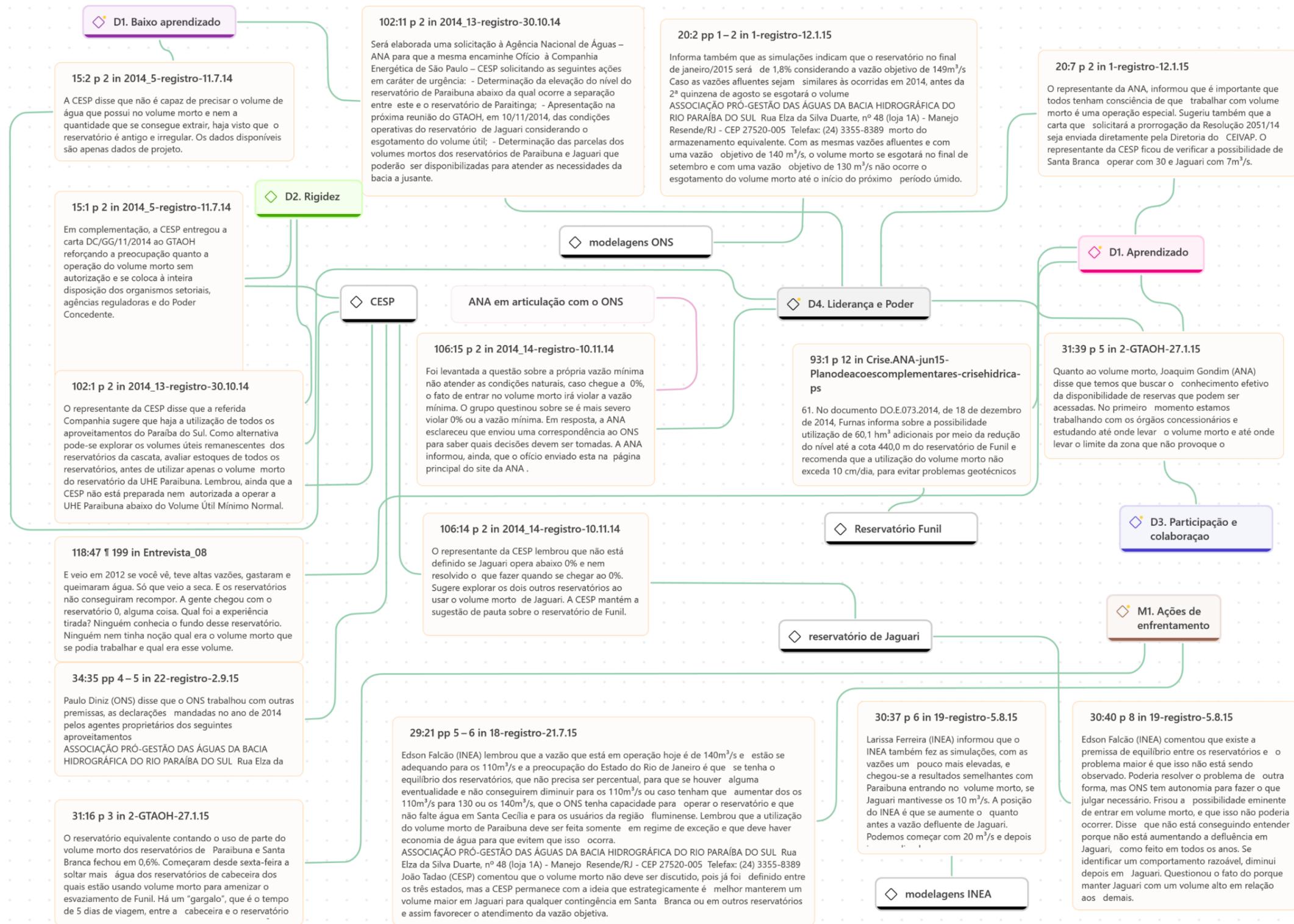
Figura 46 - Ilustração da estrutura do reservatório de Paraibuna, com o indicativo que o volume morto não era conhecido.



Fonte: Apresentação da CESP feita em reunião do GTAOH no dia 30/10/2014.

A crise hídrica chegou a um grau de severidade tal que foi necessário utilizar a água adicional armazenada abaixo do volume mínimo operacional para geração de energia, a fim de manter, mesmo reduzida, a vazão de transposição e evitar o desabastecimento da população da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Nesse momento, além de calcular o volume de água existente – tarefa antes dificultada pela falta de informações das plantas de engenharia do reservatório de Paraibuna e por informações inconsistentes sobre os demais reservatórios –, era necessário avaliar a qualidade dessa água e compreender como as estruturas físicas dos reservatórios se comportariam diante de seu deplecionamento (entrevistado 4)

Figura 47 - Liderança e poder nas discussões sobre o uso do volume morto em situações de escassez hídrica



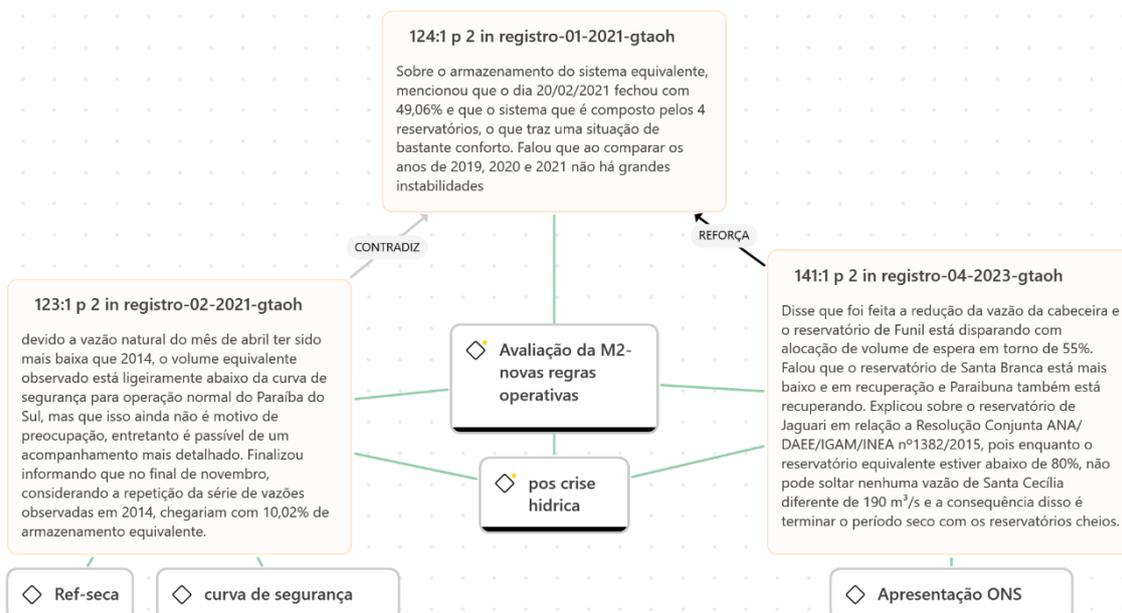
As discussões sobre o uso da água do volume morto eram atravessadas pelo contexto de disputa pelas águas da Bacia do Paraíba do Sul entre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro (Citação 29:21, Figura 47), quando ambos passavam por uma crise hídrica que impactava o setor industrial de cada um. São Paulo, particularmente, enfrentava impactos no abastecimento público da Macrometrópole, dependente do Sistema Cantareira, que considerava como uma das soluções de redundância de fontes hídricas a interligação Atibainha-Jaguari. Vale lembrar que a interligação ocorre no reservatório de Jaguari, um afluente do rio Paraíba do Sul, cujas águas são de domínio do estado de São Paulo. O Atibainha é parte integrante do Sistema Cantareira. É sempre bom lembrar também que a “água é uma só” – este, inclusive, é o *slogan* da ANA – e foi utilizado como argumento pelo ministro do Supremo Tribunal Federal, Luiz Fux. Ou seja, a população de nenhum dos dois estados ficaria sem água, independentemente de qual estado detém o domínio das águas em uma bacia compartilhada. Esse argumento foi utilizado para iniciar as discussões do acordo para solucionar o conflito.

Os gatilhos e regras estabelecidos na Resolução Conjunta 1.382/2015, construídos de modo a equilibrar a redução dos estoques dos reservatórios e permitir o acúmulo de águas, de certa maneira, reestruturam as relações de poder na bacia, colocando os usos múltiplos em evidência e impondo limitações à geração de hidroenergia na bacia (Lemos et al., 2020). O setor elétrico como um todo não necessariamente sofre prejuízos com isso, uma vez que, nos dias de hoje, a geração na bacia do Paraíba do Sul, em comparação a outros sistemas no país, é relativamente pequena. No entanto, é estratégica pela proximidade como mercado consumidor (Campos, 2009). Adicionalmente, é a operação da Light que garante a transposição para o Paraíba do Sul. Ou seja, mesmo com volumes menores de transposição praticados durante a crise hídrica, a empresa precisava manter a operação, assim como as demais que operam em reservatórios de usos múltiplos. Mais uma vez, fica evidente a necessidade de colaboração entre os setores elétrico e de recursos hídricos.

Com o passar dos anos e a operação do Sistema Hidráulico sob as regras operativas da Resolução Conjunta 1.382/2015, empregada desde o final de 2016, o volume do reservatório equivalente se recuperou e tem se mantido equilibrado ou sido reestabelecido mais facilmente após períodos secos mais severos que o normal

(Citações: 124:1; 123:1; 141:1, Figura 48). A ocorrência de períodos mais secos que o normal e o atraso das chuvas no período úmido da bacia foram evidenciados em estudos do CEMADEN e do INPE (Boletins de impacto do CEMADEN 2023; 2024), os quais apontam essa tendência nas últimas décadas como um possível efeito das mudanças climáticas globais (CEMADEN, 2024).

Figura 48 - Regras operativas (Res. Conj. 1.382/2015) e recuperação e manutenção dos volumes acumulados nos reservatórios pós-crise hídrica

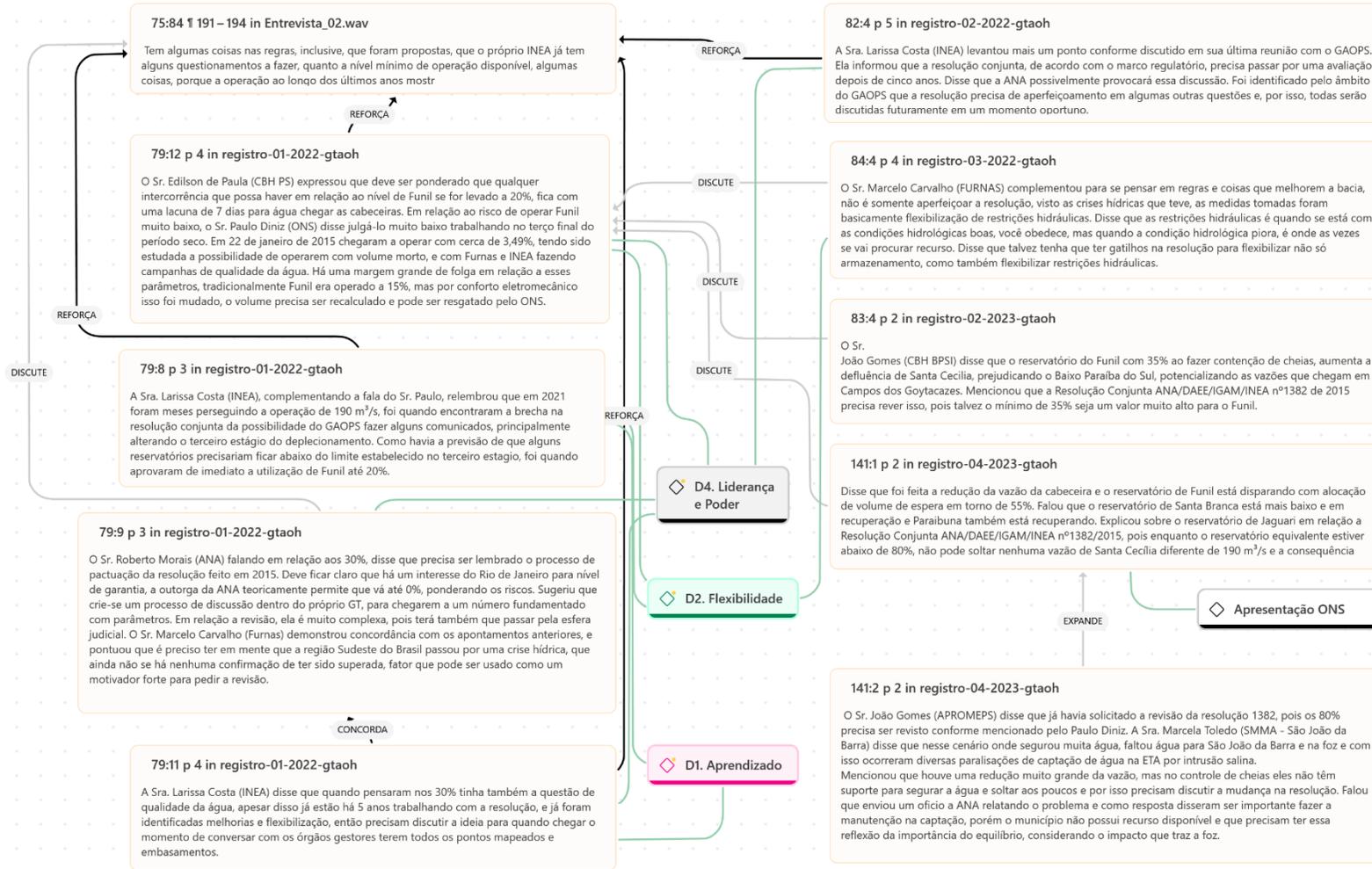


Fonte: A autora, 2025

Contudo, alguns setores se ressentem das regras mais restritivas para operação dos reservatórios e externalizam críticas e a necessidade de revisar alguns pontos, como pode ser observado nas falas extraídas de reuniões do GAOPS e do GTAOH (Figura 48). O ONS pleiteia uma faixa maior que os 2% a 5% das vazões para operações durante o período de cheias, quando é necessário trabalhar com um volume de espera nos reservatórios para amortecer o impacto das chuvas, reduzindo inundações; além disso, solicita a flexibilização do armazenamento equivalente em 80% para superar as defluências de 190m³/s em Santa Cecília (Citações 79:12; 83:4; 84:4; 141:1, Figura 49). Essa demanda conta com o apoio, especialmente, do CBH do trecho do Baixo Paraíba do Sul (Citação 141:2, Figura 49), que espera que a ampliação da margem das vazões operadas possibilite o recebimento de mais água em períodos secos, contando com a economia de água no período úmido. Entretanto, há discordâncias quanto às repercussões da operação dos reservatórios de cabeceira e da vazão remanescente em Santa Cecília sobre as vazões no Baixo Paraíba do Sul.

Especialmente porque a minimização dos impactos das cheias está mais condicionada às vazões incrementais de afluentes mineiros, que não possuem reservatórios com capacidade de suporte para controle de cheias.

Figura 49 - Avaliação e revisão das Regras Operativas (Res. Conj. 1.382/2015)



Fonte: A autora, 2025

Por um lado, o descontentamento enseja a avaliação da medida adaptativa incremental, o que é positivo se permitir uma análise dos seus ganhos e pontos de melhoramento para a segurança hídrica. Por outro lado, pode ser negativo se aumentar os riscos em um novo cenário de escassez hídrica para acomodar interesses de usuários com forte poder de influência, devido ao seu histórico de uso e relevância econômica.

Na disputa entre os estados, perdeu-se o comprometimento das lideranças com a construção da capacidade adaptativa, visto que as discussões resultaram em um acordo para a alocação das águas, mas não avançaram em termos de compromissos para recuperação e revitalização ambiental da bacia, tampouco para medidas de gestão da demanda, como o destaque do comentário sobre o acordo homologado no STF para a Resolução Conjunta: “Mas lembra, [sic] o acordo do STF, [sic] de recuperação da bacia, ninguém assinou. Os três estados não assinaram. Então, esse é um legado horrível que deixou o processo.” (Entrevista 5, citação 115:4).

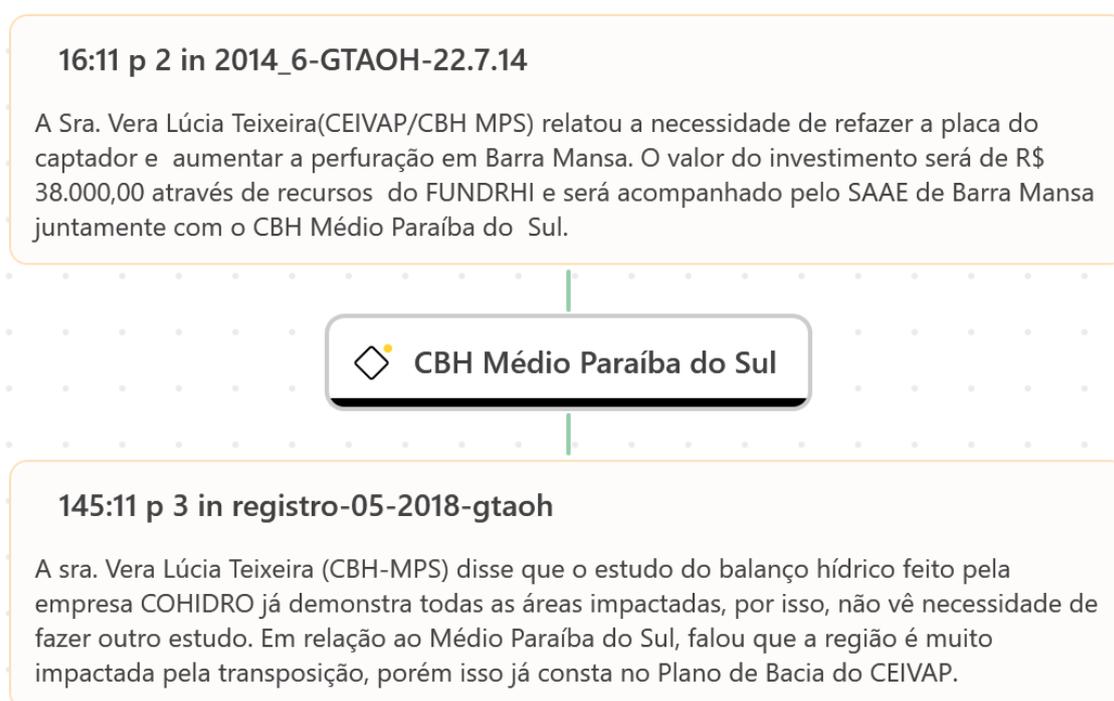
Desenha-se, assim, um cenário de acomodação dos gestores e determinados setores usuários, que diante dos resultados obtidos com a implementação das novas regras operativas, voltadas à maior preservação dos volumes de água dos reservatórios, não buscam estratégias adaptativas que tornem o sistema socioecológico mais resiliente. Assim, não se pode descartar a possibilidade de que, diante de uma seca tão grave ou pior que a de 2014/2016, uma nova crise hídrica se estabeleça. Nesse contexto, as novas regras operativas, atualmente ainda consideradas como o resultado final de um conjunto de medidas adaptativas incrementais do sistema socioecológico do Paraíba do Sul, passem a ser consideradas um caso de má adaptação. De acordo com Barnett (2010), um tipo de maladaptação é justamente aquela que reduz o incentivo a adaptação. Um exemplo trazido por ele é a implantação de um sistema de dessalinização em Melbourne, na Austrália: à primeira vista, essa medida parecia aumentar a flexibilidade do sistema ao criar mais uma fonte de água; contudo, revelou-se muito cara e, ao mesmo tempo, minou políticas mais simples e baratas que vinham dando certo, como a instalação de cisternas de captação de água da chuva e a educação pública sobre conservação de água.

O fortalecimento institucional alcançou também os organismos de bacia: o CEIVAP e os comitês estaduais. O CEIVAP, por meio da criação do GTAOH –

principal fórum de discussão para enfrentamento da crise hídrica, com ampla participação entre gestores, sociedade civil e usuários –, alcançou uma relevância inesperada durante a crise. Suas recomendações foram seguidas pelos órgãos gestores, especialmente pela ANA, que liderou o processo.

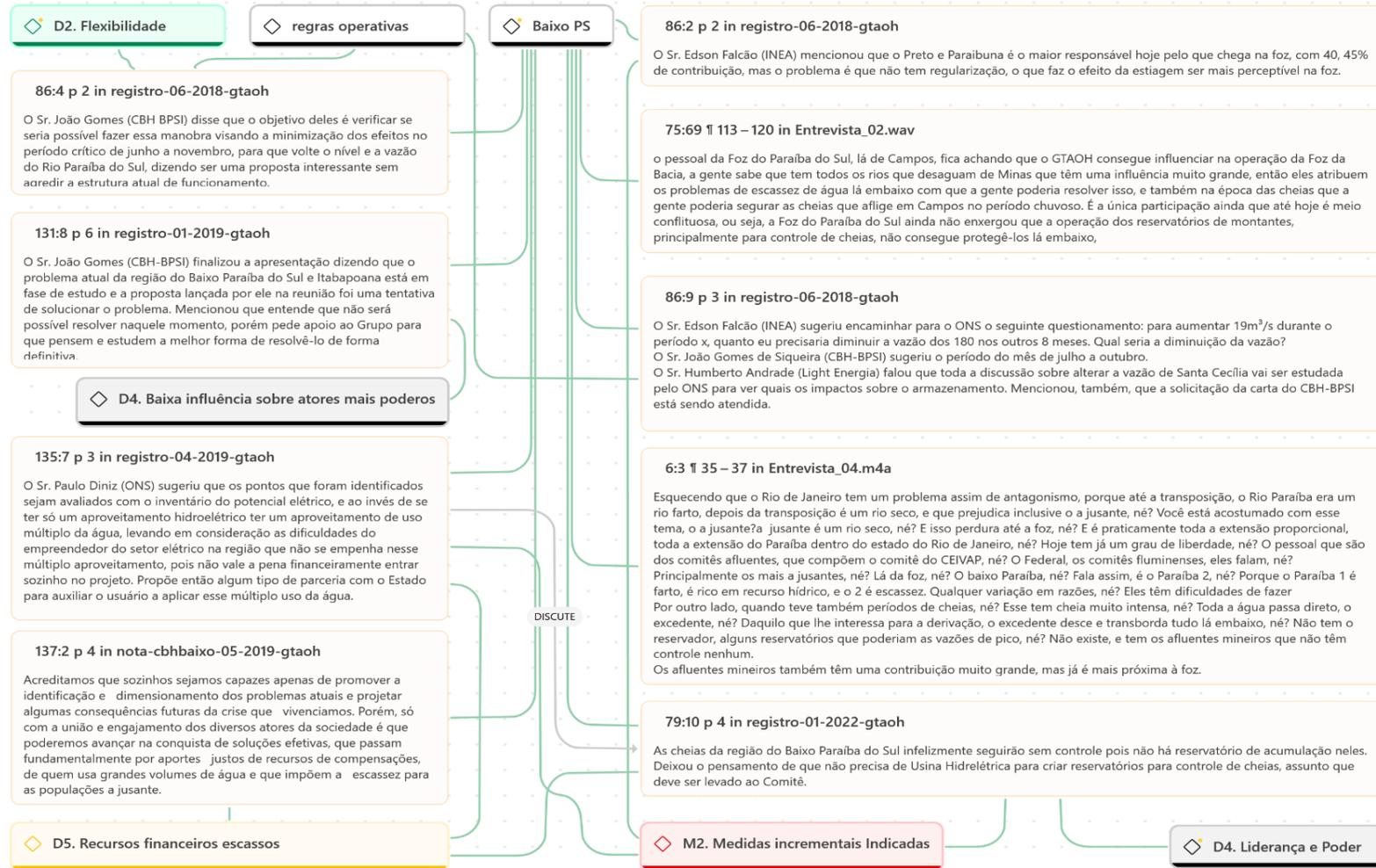
Quanto aos comitês estaduais, estes tiveram espaço no GTAOH para expor seus problemas e opinar sobre as soluções propostas efetivamente, os mais ativos foram o CBH Médio Paraíba do Sul (Citações: 16:11; 145:11, Figura 50) e o CBH Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana (Citações 86:4; 131:8; 135:7; 137:2, Figura 51).

Figura 50 - Participações do CBH Médio Paraíba do Sul em reuniões do GTAOH durante e pós crise hídrica 2014-2016



Fonte: A autora, 2025.

Figura 51 - Participações do CBH-Baixo Paraíba do Sul e Itabapoana nas reuniões do GTAOH pós-crise hídrica



Fonte: A autora, 2025. Legenda: As exposições dos representantes do CBH Baixo Paraíba do Sul estão à direita e à esquerda citações que respondem ou explicam a problemática da região.

A ampla participação ofereceu meios para o fortalecimento institucional de atores que dificilmente participam ativamente dos espaços onde as decisões são tomadas. Compreender o contexto ampliado dos processos decisórios, inclusive os aspectos técnicos que os envolvem, favoreceu o aprendizado de vários grupos, preparando-os para o desenvolvimento do comprometimento com a inclusão da capacidade adaptativa nos processos de gestão. Em resumo, a crise hídrica ofereceu a oportunidade de fortalecimento institucional, com repercussões importantes sobre a capacidade técnica desses atores, especialmente quanto aos organismos de bacia.

No nível municipal, o fortalecimento institucional dentro do SINGREH foi mais tímido, apesar de os municípios serem sempre convidados a participar e a colaborar com as discussões (Entrevista 3).

Por outro lado, em nível municipal, um dos principais obstáculos ao fortalecimento institucional é a troca frequente de diretores dos SAAEs, como ocorre em Barra Mansa/RJ, município situado na porção média da bacia, que enfrenta impactos da estiagem, inundações, ocupação irregular das margens do Paraíba do Sul e poluição das águas (Citações: 115:17; 57:3).

Eu diria para você que dos quatro [...] um não funcionando bem, que é Barra Mansa. Barra Mansa tem um problema, o diretor do SAAE está sempre trocando, então é até difícil conversar com alguém. É a fragilidade do município. (Entrevistado 5, 2024, Citação 115:17)

Vera Lúcia Teixeira (CBH-MPS) se comprometeu em verificar quem é o novo diretor do SAAE, explicar a situação e apresentar fotos para o mesmo e posteriormente passar o email de contato para o grupo. (Ata GTA0H 08-2016, Citação 57:3)

Apesar de numerosos, com 184 municípios, nem todos são ativamente participativos, dependendo do quanto foram afetados durante a crise hídrica. Seu papel na gestão de recursos hídricos é difuso: ora como usuário, ora como ente de governo, sem domínio sobre as águas, mas com atribuições integradas à gestão dos recursos hídricos, como o abastecimento público, a coleta e tratamento de efluentes e resíduos sólidos, além do ordenamento do uso do solo (incluindo a fiscalização da ocupação das APP de mananciais) (Nicollier, et al, 2023).

O SINGREH conta com um conjunto de atores com diferentes níveis de capacidades institucionais e de poder de influência sobre a gestão das águas do Paraíba do Sul. Entre os atores mais influentes encontra-se a ANA e o ONS, seguidos pelos órgãos estaduais de gestão das águas, com destaque para São Paulo e Rio de

Janeiro, que são os usuários mais intensivos do Sistema Hidráulico Paraíba do Sul e da Bacia como um todo. Minas Gerais não tem usuários importantes captando diretamente do rio Paraíba do Sul e apresenta uma situação confortável quanto à disponibilidade hídrica de afluentes do rio principal que drenam para o estado do Rio de Janeiro. Por essa razão, verifica-se a necessidade de integração entre Minas Gerais e Rio de Janeiro para discutir a alocação de água desses afluentes e, sobretudo, para discutir o avanço de medidas adaptativas incrementais visando mitigar e gerir extremos de seca e inundação que tanto afetam municípios fluminenses dos trechos médio e baixo do Paraíba do Sul.

A demora na concepção de medidas adaptativas para os trechos dos CBH Médio e Baixo do BPS evidencia a fraca influência desses comitês sobre lideranças estaduais e nacionais na obtenção de recursos que viabilizem a melhora da capacidade adaptativa. Adicionalmente, revela o baixo comprometimento na construção de medidas adaptativas incrementais e transformativas em nível de sub-bacias, o que, por sua vez, reflete o baixo comprometimento das lideranças com os valores da capacidade adaptativa para a gestão dos recursos hídricos. O mesmo ocorre com relação ao desperdício das águas por perdas na distribuição ou degradação da qualidade, problema recorrente em quase todo o SSE-BPS, mas especialmente crítico na bacia do Guandu. Desse modo, a falta de comprometimento com a construção da capacidade adaptativa não se restringe ao poder público, mas envolve também os principais usuários das águas do sistema socioecológico.

Por fim, a pressão atual para mudanças nas regras operativas estabelecidas na resolução conjunta 1.382/2015 desafia aos atores do SINGREH quanto o equilíbrio entre flexibilidade e segurança hídrica na operação dos reservatórios do Sistema Hidráulico, considerando múltiplos e divergentes interesses.

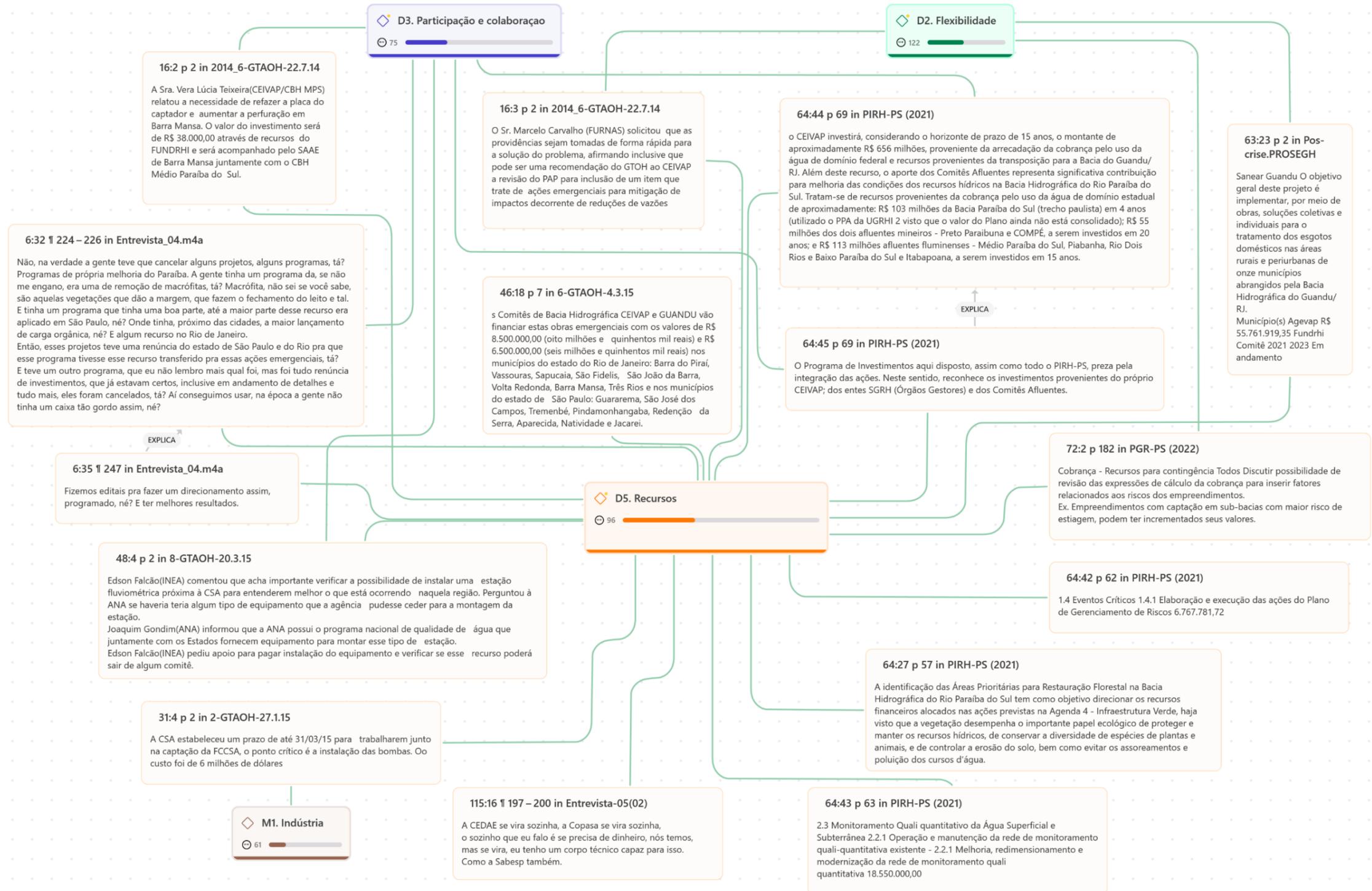
Soluções que tornem o sistema socioecológico da bacia do rio Paraíba do Sul mais resiliente passam, necessariamente, por: inclusão de redundâncias para os mananciais, redução das perdas nos sistemas de distribuição de abastecimento público, uso mais eficiente da água em processos produtivos industriais e métodos de produção agrícola que, em conjunto com a restauração dos cursos d'água, promovam um ciclo hidrológico mais equilibrado e a produção de água na propriedade. Essas são medidas que materializam a dimensão da flexibilidade e do aprendizado. Além disso, podem ser entendidas como medidas de baixo arrependimento, pois não

exigem investimentos vultuosos e de longo prazo, em oposição às medidas historicamente tomadas isoladamente em atenção a um único setor usuário (Ernest e Preston, 2017). No entanto, justamente por isso, demandam uma reestruturação das relações de poder na bacia.

#### 4.5.5 Recursos (D5): meios para promoção da capacidade adaptativa

A dimensão recursos engloba formas de apoio à promoção da capacidade adaptativa em suas demais dimensões e desenvolvimento de medidas adaptativas, especialmente recursos financeiros. Buscamos nos documentos trechos de textos que remetessem à: disponibilidade de recursos financeiros e técnicos para condução de estudos e aplicação em estratégias adaptativas; disponibilização de apoio técnico à usuários; incentivos à usuários para implementação de medidas adaptativas. Exemplos desses trechos de texto podem ser conferidos nas figuras 52 e 53.

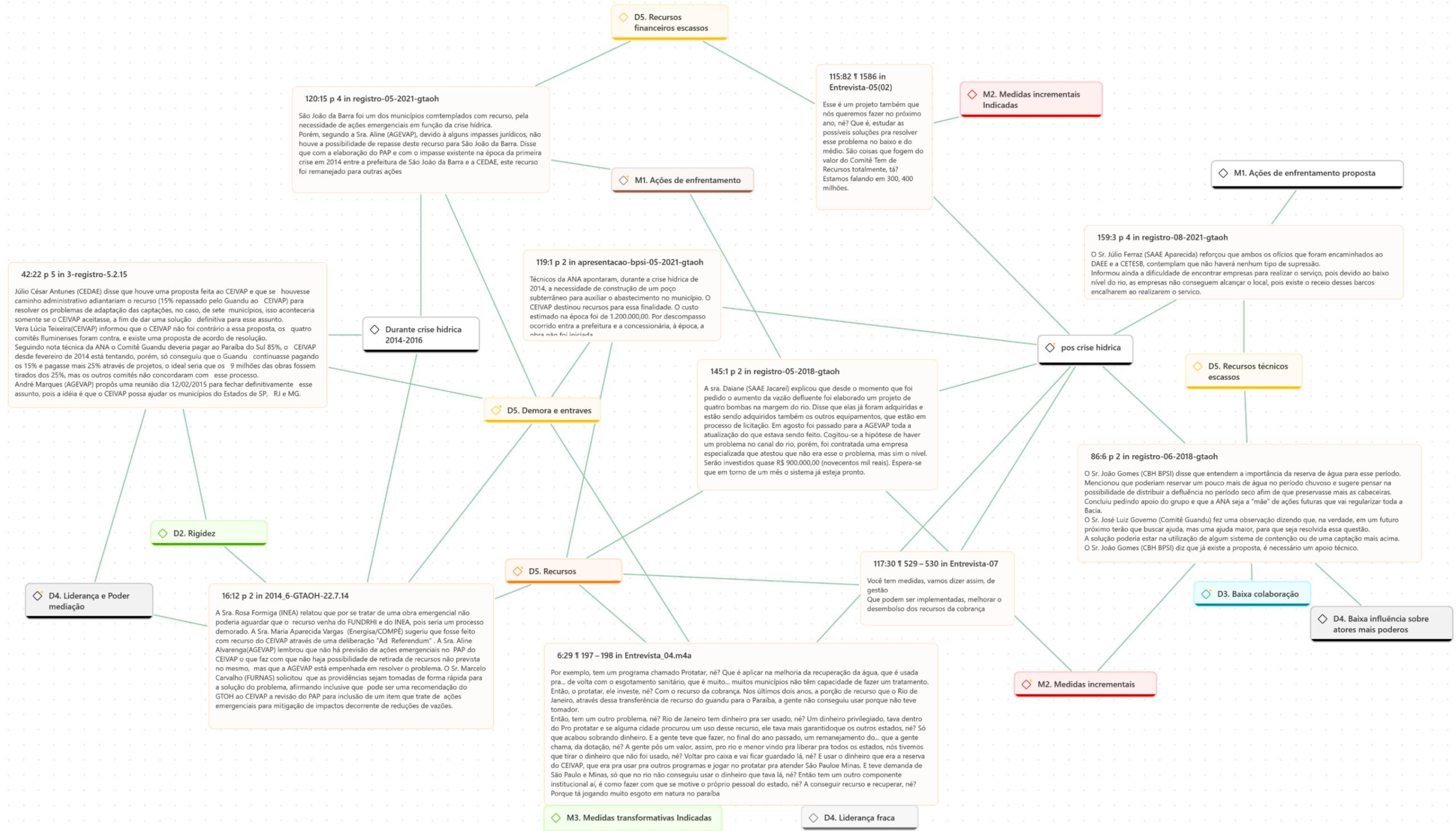
Figura 52 - Exemplos de trechos extraídos dos documentos sobre a dimensão recursos quanto suas origens e disponibilidade durante e pós- crise hídrica



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: à esquerda da dimensão central (Recursos) os trechos de texto fazem referência ao período de enfrentamento da crise hídrica e à direita ao pós-crise. As dimensões da parte superior da figura (participação e colaboração e flexibilidade) se relacionam a alguns trechos comuns à dimensão recursos.

Figura 53 - Exemplos de trechos extraídos dos documentos sobre a dimensão recursos quanto dificuldades e entraves para liberá-los/obtê-los



Fonte: A autora, 2025. Legenda: dimensão central (Recursos) em tons de laranja.

O objetivo neste item, não é apresentar uma planilha de empenhos e gastos financeiros em medidas adaptativas na bacia, mas entender como a disponibilidade ou não de recursos financeiros e técnicos influenciaram as decisões para o enfrentamento da crise. E, posteriormente, contribuíram para impulsionar em um extremo, e de outro estagnar a transformação do sistema socioecológico para mais adaptativo.

Ficou bastante evidente a forte interface das dimensões recursos e participação e colaboração entre os componentes sociais do sistema socioecológico, diante da necessidade de mobilizar recursos não previstos para ações de enfrentamento durante a crise hídrica 2014-2016 na Bacia do Paraíba do Sul. Principalmente recursos dos órgãos gestores, CEIVAP e demais comitês para viabilizar ajuda aos sistemas de abastecimento público com menor capacidade, entre outras ações de enfrentamento. Em geral grandes companhias de abastecimento públicas e privadas conseguiram arcar com custos de ajustes, caso necessários. Recursos extras precisaram ser mobilizados também para campanhas de monitoramento da qualidade das águas, que precisaram ser intensificadas (Figura 52).

Os recursos financeiros para execução das ações de enfrentamento durante a crise hídrica foram provenientes de realocação de outros programas em curso na bacia, que eram executados com recursos dos fundos de recursos hídricos; e recursos extras, provenientes dos governos e de órgãos gestores, como no caso do INEA-RJ, no qual houve articulação com a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN), que depositava em juízo pagamento referente a um Termo de Ajustamento de Conduta (TAC), para que o fizesse diretamente, e assim, poder direcionar tais recursos para o financiamento de ações de enfrentamento da crise hídrica (citado por dois relatos, 3 e 4). Esses aspectos demonstram o despreparo do SSE-BPS para lidar com a crise hídrica em termos de recursos alocados para ações de enfrentamento.

Definida a origem dos recursos provenientes do CEIVAP (6:32, Figura 52), o desembolso se deu por meio de programas e editais criados conforme a necessidade de enfrentamento da crise (Citação 6:35, Figura 52). Mesmo diante da urgência, o empenho de recursos da cobrança segue um conjunto de regras e processos, como destacado na citação 16:12 (Figura 53). Durante a crise, mesmo diante dos esforços dos atores na participação e colaboração para construção de alternativas para

acelerar a efetivação das ações, o empenho dos recursos representou algumas vezes atraso na execução (Citação 42:22, Figura 53).

A discussão de mecanismos de cobrança específicos para situações de secas e escassez hídrica, seja para aumento ou diminuição de taxas, ou para compensação entre setores mais/menos afetados, é muito difícil no momento da crise, mas é uma grande oportunidade no pós-crise, podendo configurar-se como medida adaptativa transformativa, garantindo recursos importantes. Não se observou, entretanto, avanços nessa discussão do Paraíba do Sul, mesmo sendo uma bacia pioneira na cobrança pelo uso da água (iniciada em 2003). A obtenção de recursos é muitas vezes precedida da inclusão das ações adaptativas nos instrumentos de planejamento, como o PIRH, o MOP, o PAR (plano de aplicações de recursos da AGEVAP) e o contrato de gestão ANA-AGEVAP. As ações adaptativas precisam constar nesse tipo de planejamento (seja ele mais genérico ou operacional) para que muitas vezes os recursos sejam buscados na ponta e a ação tenha visibilidade.

Assim, no período seguinte à crise hídrica, as medidas adaptativas incrementais para secas e escassez hídrica incluídas no PIRH-PS passaram a contar com recursos alocados e pactuados entre o CEIVAP e os comitês estaduais durante a construção do plano, reforçando a dimensão participação e colaboração entre os atores da bacia (Figura 52).

No entanto, para medidas adaptativas transformativas indicadas pelos próprios atores da bacia, a participação e colaboração cedem espaço para o conflito entre os usuários do Baixo Paraíba do Sul e a transposição para o Guandu, o que denota a baixa influência na busca de soluções para a escassez hídrica do CHB Baixo Paraíba do Sul (liderança e poder), diante da necessidade de investimentos mais elevados, acima da capacidade de financiamento dos comitês de bacia, por exemplo, para construção de infraestruturas de reservação (Figura 53).

Medidas com potencial transformativo, especialmente para tratamento de esgotos, que precisam que os interessados (municípios) apresentem projetos e atendam a um edital de forma a estruturar as ações e dar transparência ao uso do dinheiro público, enfrentam dificuldades para sair do papel por desconhecimento dos processos ou falta de treinamento dos funcionários de instituições locais para atender aos requisitos (BANCO MUNDIAL, 2018). E nestes casos um recurso alocado para um tipo de ação no PAP no fim de um período sem o gasto acaba sendo realocado

para outras ações - foi o que ocorreu com recursos do PROTRATAR em 2023, por exemplo (Citação 6:29, Figura 53). Relacionamos a dimensão de liderança e poder no sentido de que lideranças pouco comprometidas com o avanço da capacidade adaptativa podem não empenhar tempo e gastos na solução destas questões, simplesmente por achá-las menos importantes. Influenciando inclusive, na troca constante de técnicos e gestores, o que dificulta o aprendizado em múltiplos níveis.

#### 4.5.6 Como as dimensões da capacidade adaptativa se relacionam entre si e com os tipos de estratégias adaptativas: síntese e considerações

Como tratado ao longo do capítulo 3 e deste Capítulo 4, as dimensões da capacidade adaptativa estão inter-relacionadas e emergem na definição e implementação das estratégias adaptativas.

Evidenciamos as conexões entre as dimensões no quadro (Quadro 9), que apresenta uma matriz de correlação entre as dimensões e as estratégias adaptativas. A densidade dessa correlação é correspondente ao número de vezes em que essas dimensões aparecem associadas concomitantemente a uma mesma citação.

Cada dimensão foi caracterizada com base em sua presença ou negação (Quadro 8) conforme identificado na codificação e análises de todos os documentos incluídos na pesquisa.

Quadro 8 - Caracterização da dimensão quanto à presença ou negação na citação extraída dos documentos

<b>Dimensão- presença</b>		<b>Dimensão – negação/oposição</b>
<b>D1</b>	Aprendizado	Baixo aprendizado
<b>D2</b>	Flexibilidade	Rigidez
<b>D3</b>	Participação e colaboração	Baixas participação e colaboração
<b>D4</b>	Liderança e poder	Liderança fraca e Baixa influência sobre demais atores
<b>D5</b>	Recursos	Recursos escassos Demora e entraves

Fonte: A autora, 2025.

Quadro 9 - Quadro de ocorrência simultânea das dimensões entre si

	● D1. Aprendizado ⑤ 258	● D2. Flexibilidade ⑤ 127	● D3. Participação e colaboração ⑤ 171	● D4. Liderança e Poder ⑤ 229	● D5. Recursos ⑤ 99
● D1. Aprendizado ⑤ 258		21	48	18	15
● D1. Baixo aprendizado ⑤ 107		1	1	5	5
● D2. Flexibilidade ⑤ 127	21		10	3	8
● D2. Rigidez ⑤ 38	1		2	8	3
● D3. Baixas participação e colaboração ⑤ 61	2			10	2
● D3. Participação e colaboração ⑤ 171	48	10		30	26
● D4. Liderança e Poder ⑤ 229	18	3	30		3
● D4. Liderança fraca ⑤ 19					3
● D5. Demora e entraves ⑤ 50	1	1	1	3	5
● D5. Recursos escassos ⑤ 24		1	3	2	3

Fonte: A autora, 2025. Produzido no Atlas.ti.

Legenda: as células que apresentam as ocorrências mais numerosas estão em destaque com uma variação de cor azul mais forte, enquanto as de menor quantidade estão em amarelo mais claro. Os números, localizados ao lado ou abaixo de cada dimensão (nos títulos das linhas e colunas), referem-se ao total de citações às quais essas dimensões foram atribuídas.

Mostramos no quadro (Quadro 10) as correlações conceituais entre as estratégias adaptativas (ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e medidas adaptativas transformativas) e as dimensões mobilizadas para sua realização ou idealização, no caso das medidas indicadas, mas não necessariamente realizadas.

Detalhamos, inicialmente, as interações entre as estratégias adaptativas e as dimensões da capacidade adaptativa vinculadas à elas. Sequencialmente, avançamos para o detalhamento das correlações entre as dimensões. As estratégias adaptativas estão sempre associadas às dimensões, mas nem todas as dimensões estão vinculadas a uma estratégia específica, pois podem estar relacionadas somente aos processos de gestão e governança.

Por fim, apresentamos um quadro geral que demonstra ocorrências simultâneas entre dimensões e entre estas e as estratégias adaptativas (Quadro 11), no fim a seção.

Quadro 10 - Quadro Associação entre os tipos de estratégias adaptativas e as dimensões da capacidade adaptativa mobilizadas

		● M1. Ações de enfrentamento ④ 234	● M2. Medidas incrementais ④ 72	● M2. Medidas incrementais Indicadas ④ 32	● M3. Medidas transformativas ④ 1	● M3. Medidas transformativas Indicadas ④ 20
● D1. Aprendizado	④ 258	30	37	2	1	
● D1. Baixo aprendizado	④ 107	5		2		7
● D2. Flexibilidade	④ 127	61	8	2		
● D2. Rigidez	④ 38	2				
● D3. Baixas participação e colaboração	④ 61	1	2	3		2
● D3. Participação e colaboração	④ 171	26	16	3	1	3
● D4. Baixa influência sobre demais atores	④ 7			7		
● D4. Liderança e Poder	④ 229	7	7			
● D4. Liderança fraca	④ 19			1		8
● D5. Demora e entraves	④ 50	11	2	2		3
● D5. Recursos	④ 99	17	11	2		6
● D5. Recursos escassos	④ 24	1		6		

Fonte: A autora, 2025. Produzido no Atlas.ti.

### Correlação entre estratégias adaptativas e dimensões da capacidade adaptativa

As **ações de enfrentamento (M1)** (Figura 54), mais associadas ao período de ocorrência da crise hídrica 2014-2016, apresentam forte correlação com a dimensão da flexibilidade, o que se justifica pela necessidade de acompanhar a dinâmica e a agilidade dos acontecimentos, bem como o agravamento dos efeitos decorrentes da seca. Essas ações demandaram e geraram conhecimentos técnicos e informações oriundas de diferentes atores, mobilizando, assim, as dimensões aprendizado, e participação e colaboração. Os recursos para a realização das ações foram realocados de outras ações em realização pelos comitês, especialmente o CEIVAP e o Guandu, e foram complementadas por outras fontes advindas de órgãos gestores, o que, por vezes, gerou demora devido a entraves burocráticos e, em algumas situações, à falta de conhecimento técnico para lidar com eles.

Figura 54 - Diagrama de Sankey de associação entre ações de enfrentamento (M1) e dimensões da capacidade adaptativa



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: As citações extraídas referentes às ações de enfrentamento (M1) (à esquerda) foram associadas às dimensões da capacidade adaptativa (à direita). A largura da faixa indica a intensidade dessa correlação.

Cabe destacar que ações de enfrentamento foram tomadas no pós-crise, durante os anos em que o volume do reservatório equivalente (RE) estava se

recuperando, especialmente entre 2018-2022, principalmente para ajustes de sistemas de captação municipais.

As medidas adaptativas, consideradas incrementais (M2) neste trabalho, foram citadas 72 vezes, tanto aquelas implementadas durante a crise quanto no período pós-crise. Outras medidas adaptativas incrementais apontadas como necessárias, mas não implementadas, foram citadas 32 vezes em documentos e entrevistas.

As M2 implementadas apresentam forte correlação com a dimensão aprendizado, justificada pela necessidade de disponibilidade de mais informações para sua elaboração e planejamento. A construção de novas informações e sua aplicação em novas estratégias adaptativas contaram com a participação e colaboração de diferentes atores. Por serem ações que demandam mais tempo e algum grau de planejamento, é mais comum que os recursos destinados a elas já estejam previstos, ou que pelo menos suas fontes sejam definidas por novos aportes financeiros, além de os entraves para sua execução serem reduzidos (Figura 55).

Quanto às M2 não implementadas, em geral, não adquiriram maturidade suficiente entre as dimensões da capacidade adaptativa. Ainda faltam informações e conhecimentos, e elas necessitam de mais estudos. Além disso, as lideranças locais interessados em sua realização tem baixo poder de influência sobre os demais atores. As lideranças mais poderosas, por sua vez, estão pouco alinhadas aos valores adaptativos dos sistemas socioecológicos, o que dificulta a obtenção de recursos para sua realização, especialmente se forem intervenções mais caras, que superem a capacidade de financiamento dos comitês estaduais, em nível de sub-bacias. Como exemplo, podemos citar a construção de reservatórios de armazenamento e controle de cheias no Médio Paraíba do Sul e, principalmente, no Baixo Paraíba do Sul.

Figura 55 - Diagrama de Sankey de associação entre medidas adaptativas incrementais (M2) e dimensões da capacidade adaptativa



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: Foram 83 citações às medidas incrementais implementadas e 22 citações referentes às medidas adaptativas incrementais não-implementadas.

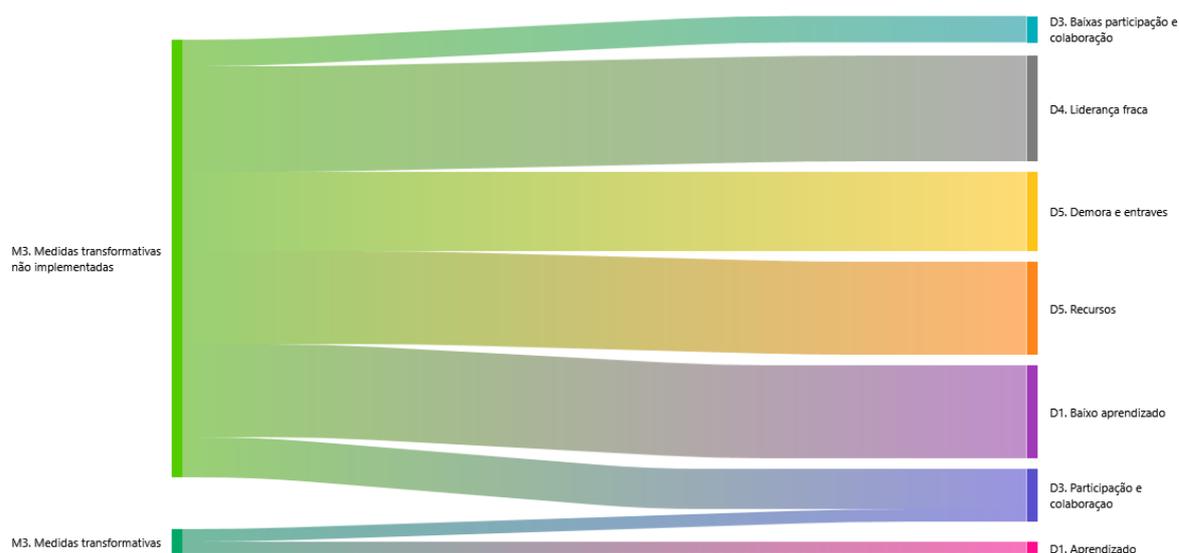
Medidas adaptativas transformativas (M3), no sentido adotado nesta tese, foram menos exploradas no Sistema Socioecológico da Bacia do Paraíba do Sul. As novas regras operativas são consideradas transformativas, do ponto de vista da profunda mudança que provocaram em dois aspectos: (i) acomodação dos usos múltiplos da água, mesmo impondo mais restrições ao setor elétrico, e (ii) participação e fortalecimento dos órgãos gestores estaduais.

Além disso, o fortalecimento dos fóruns técnicos, com promoção da participação e colaboração ampliadas e o respeito às suas recomendações durante e pós-crise, foi interpretado como uma M3 potencial. Isso significa uma mudança no fluxo dos processos decisórios, que pode contribuir para transformações mais profundas, levando o SSE-BPS para um estado mais adaptativo. Essas discussões giram em torno dos espaços participativos mais amplos (GTAOH) e mais restritos (GAOPS).

As M3 planejadas e não-implementadas foram citadas 20 vezes. Em geral, estas dependem de recursos e da mobilização de setores externos aos recursos hídricos, públicos e privados, como a universalização da coleta e tratamento de

esgotos e a revitalização e proteção de mananciais. Essas medidas carecem de comprometimento das lideranças com os valores adaptativos; possuem recursos insuficientes para execução, ainda que alguns estejam disponíveis; e apresentam baixo aprendizado, muito associado à resistência às mudanças climáticas e à dificuldade de aceitação e incorporação das incertezas aos processos de gestão e governança da bacia (Figura 56).

Figura 56 – Diagrama de Sankey de associação entre medidas adaptativas transformativas (M3) e dimensões da capacidade adaptativa



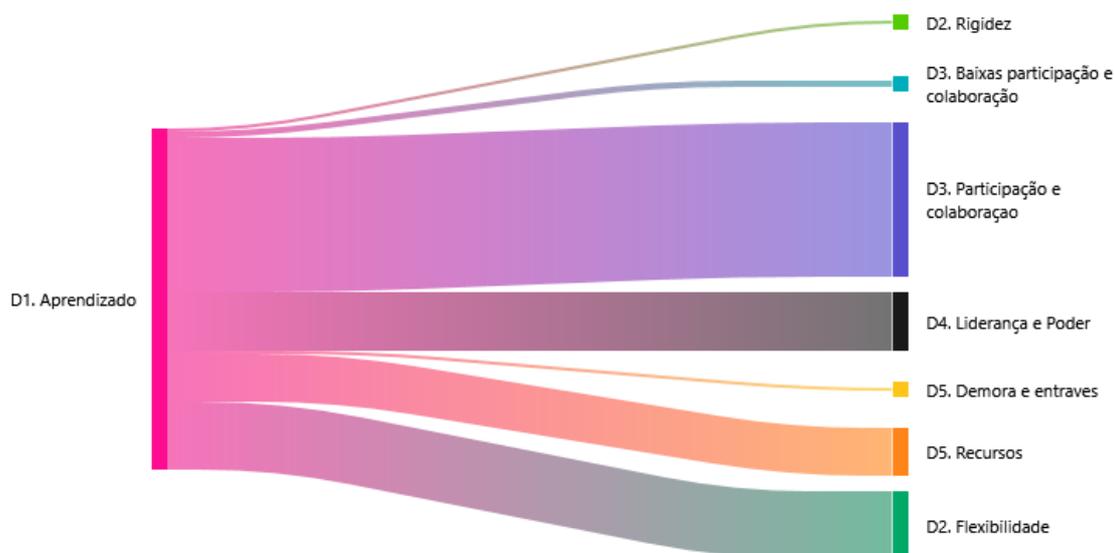
Fonte: A autora, 2025. Produzido no Atlas.ti

### *Interações entre as dimensões da capacidade adaptativa*

A dimensão **aprendizado** se beneficiou muito da ampla participação e colaboração de atores com diferentes *expertises* reunidos em um mesmo fórum, durante a crise hídrica no GTAOH, mas também no período pós crise tanto no GTAOH como no GAOPS.

No pós-crise, a alocação de recursos oriundos da cobrança pelo uso da água por meio do Plano de Aplicação Plurianual (PAP), empregados em estratégias adaptativas previstas no Plano da Bacia (PIRH-PS), favoreceram a correlação entre as dimensões aprendizado e recursos (Figura 57).

Figura 57 - Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa aprendido (D1) e as demais.



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: A dimensão aprendido foi relacionada 128 vezes às outras dimensões seja pela verificação da sua presença, seja pela ausência ou oposição.

A mais forte correlação da **flexibilidade** aparece com o aprendido, seguido pela participação e colaboração (Figura 58). Isto ocorre porque quanto mais se conhece o funcionamento e as interações entre componentes naturais e sociais do sistema socioecológico, mais próximo se está de criar estratégias adaptativas mais flexíveis com efeitos benéficos para o maior número de setores usuários. Adicionalmente, participação e colaboração favorecem interações entre diferentes atores, que passam a ter a possibilidade de expor seus problemas, bem como alternativas para solucioná-los. Diante da perspectiva de outros atores com seus próprios interesses, sinergias positivas e negativas podem ser antevistas, com a possibilidade de amplificação dos efeitos positivos e redução dos negativos, se a maior parte dos atores estiverem alinhados a construção da capacidade adaptativa (Figura 58)

Figura 58 - Diagrama de Sankey de associação da dimensão flexibilidade (D2) às demais da capacidade adaptativa.



Fonte: A autora, 2025. Produzido no Atlas.ti.

Legenda: A dimensão flexibilidade foi relacionada 43 vezes às outras dimensões seja pela verificação da presença, seja pela ausência ou oposição.

A dimensão liderança e poder, que aparece timidamente na correlação com a flexibilidade (Figura 58), se revela importante para uma dinâmica equilibrada entre atores mais e menos influentes e poderosos. Já na correlação com participação e colaboração, a dimensão liderança e poder é a segunda mais forte, pois são nos espaços participativos que estas interações se tornam mais perceptíveis. Essas impressões colaboração para a interpretação das relações de poder presentes nos acordos traduzidos em resoluções e alocação das águas da bacia (Figura 59). Essa justificativa é corroborada ao observarmos a intensa associação entre 'liderança e poder' e 'participação e colaboração' (Figura 60).

Figura 59 - Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa participação e colaboração (D3) e as demais.

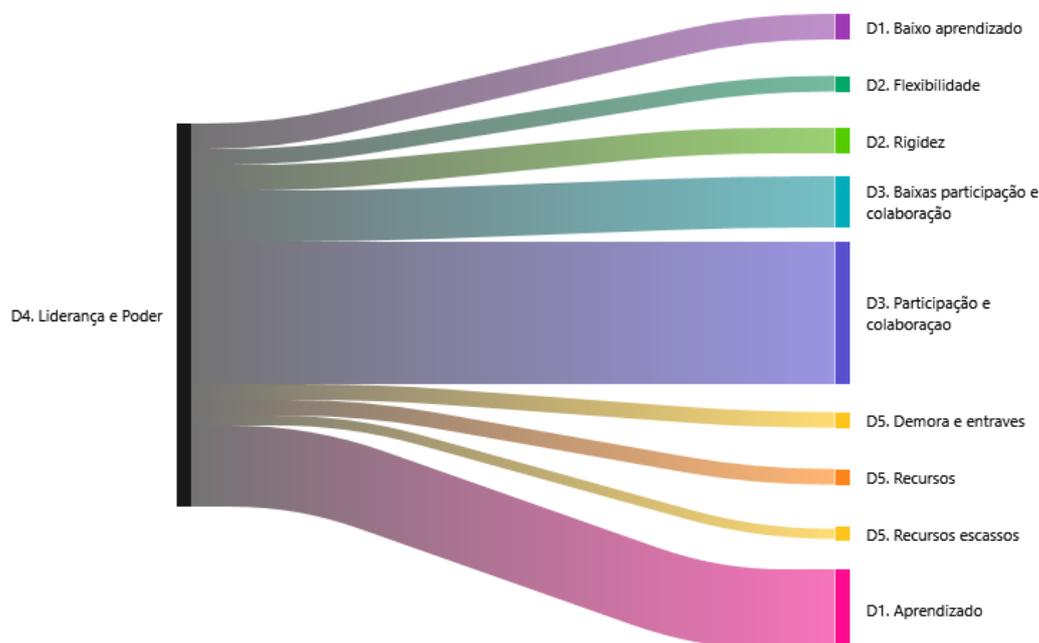


Fonte: A autora, 2025.

Legenda: A dimensão participação e colaboração foi relacionada 115 vezes às outras dimensões seja pela verificação da presença, seja pela ausência ou oposição.

Por outro lado, baixa participação e colaboração também se relaciona a liderança e poder, que caracteriza, justamente situações onde os processos decisórios se restringem a atores mais influentes em detrimento de uma participação e colaboração mais amplas (Figura 60).

Figura 60 - Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa liderança e poder (D4) e as demais.

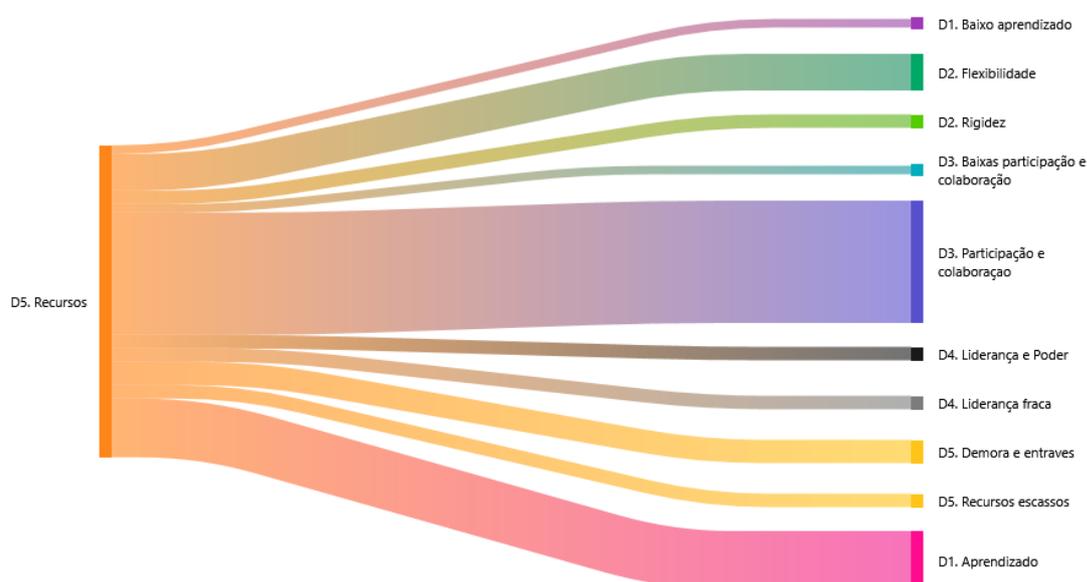


Fonte: A autora, 2025.

A dimensão **liderança e poder** concentra processos decisórios que podem levar em consideração uma gama de conhecimentos obtidos por diferentes métodos, como experiência com a prática local, inspiradas em outros sistemas, dados e informações do sistema socioecológico, o que esclarece a interação com a dimensão aprendizado (Figura 60).

A dimensão **recursos** exprime ampla afinidade com participação e colaboração (Figura 61), pois durante a crise hídrica 2014-2016, o setor usuário que se mostrou mais vulnerável em virtude da precariedade de suas estruturas foram os sistemas municipais de captação de água para abastecimento público, eram também aqueles que dependiam de aporte de recursos financeiros e de apoio técnico para se ajustar as novas condições de captação condicionadas pelo efeito das secas em conjunto com reduções de vazões defluentes dos reservatórios (ação de enfrentamento).

Figura 61 – Diagrama de Sankey de associação entre a dimensão da capacidade adaptativa recursos (D5) e as demais.



Fonte: A autora, 2025.

Legenda: A dimensão Recursos foi relacionada 69 vezes às outras dimensões seja pela verificação da presença, seja pela ausência ou oposição.

Essa situação de dependência, exposta no ambiente do GTA OH demandou a participação e colaboração dos demais atores do SINGREH tanto para diagnóstico do que era necessário fazer, quanto para aporte de recursos para financiamento das ações. Importante ressaltar que esse movimento colaborativo para oferta de apoio

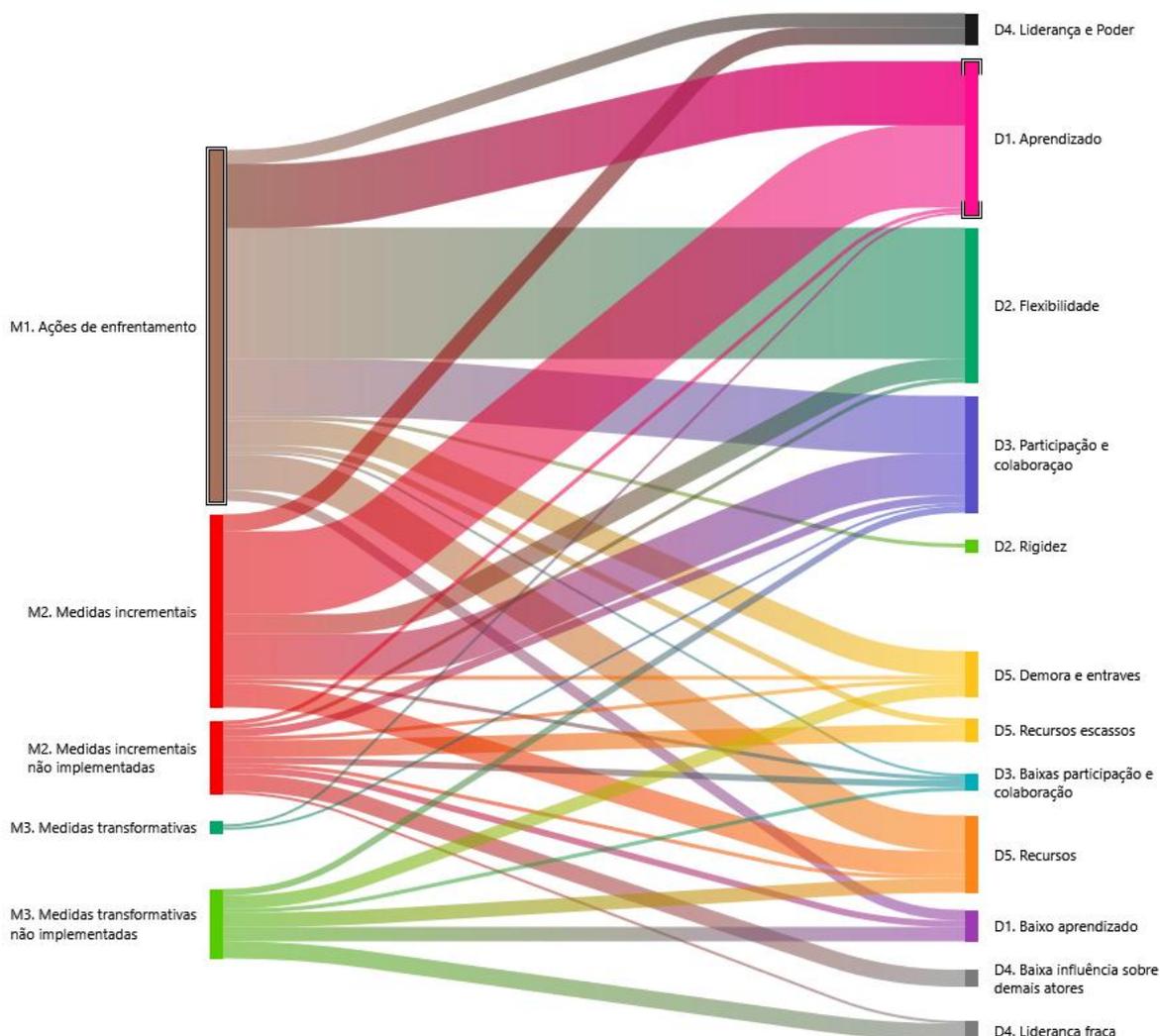
especializado e financeiro teve repercussões no amadurecimento dos entes de bacia e órgãos gestores estaduais quanto a partição e aplicação dos recursos, abrindo caminho para a ampla pactuação envolvendo principalmente, CEIVAP e subcomitês, em torno dos investimentos necessários para a execução das proposições do PIRH-PS. Interpretamos, neste contexto, que o aprendizado foi maximizado pela participação e colaboração para melhor aplicação de recursos em prol de toda a Bacia do Paraíba do Sul (BPS).

A interpretação em conjunto das correlações entre estratégias adaptativas e dimensões mobilizadas destacam o maior número de citações às medidas de enfrentamento em relação às incrementais e transformativas, que se deve ao fato de durante a crise hídrica terem acontecido mais reuniões no âmbito do GTAOH totalizando 62 atas em 2 anos, muito provavelmente por isso essas ações são as mais discutidas. Além disso, Medidas adaptativas incrementais e transformativas, sendo menos urgentes e mais associadas ao pós-crise estão dispersas em relatórios técnicos, nas atas do GTAOH entre 2017 e 2023, totalizando 48 atas, e nas 37 reuniões do GAOPS entre 2018-2024 mais restritas ao acompanhamento mensal da operação do Sistema Hidráulico.

Entre as dimensões, em ordem de densidade de correlação com as estratégias adaptativas, ficam para aprendizado, flexibilidade, participação e colaboração, recursos e por último liderança e poder (Figura 62). O que implica em a crise hídrica ter pelo menos, oportunizado maior conhecimento do Sistema Socioecológico da Bacia do Rio Paraíba do Sul e ampliação da participação e colaboração juntamente a maior inclusão dos atores do SINGREH no processo decisório.

A baixa expressão da dimensão liderança e poder entre as estratégias adaptativas, se deve em parte, aquela dificuldade mencionada na seção 4.5.4, quanto a dificuldade de observá-la, apesar das diversas formas, pelas quais ela se expressa.

Figura 62 - Diagrama de Sankey de associação entre estratégias adaptativas e dimensões da capacidade adaptativa



Fonte: A autora, 2025. Produzido no Atlas.ti.

Os componentes sociais do Sistema socioecológico da Bacia do Paraíba do Sul (SSE-BPS) são fortemente dependentes das unidades de sistema e de recursos, isto é, a própria BPS e do serviço ecossistêmico de disponibilidade hídrica. Desse modo, a compreensão de que beneficiários internos e externos (transposição para o Guandu e para o Atibainha e respectivas regiões metropolitanas atendidas) precisam contribuir para o melhor estado ambiental deste núcleo é fundamental para o amadurecimento dos entes do SINGREH no sentido de promover uma justa repartição da aplicação dos recursos da cobrança pelo uso da água. Em que pese a necessidade de melhorias na governança e qualificação profissional, especialmente de atores de setores externos ao SINGREH que são responsáveis pela submissão de projetos para

aplicação de recursos oriundos da cobrança em captação e tratamento de esgoto, como os municípios integrantes da bacia.

Finalmente, apresento o quadro geral de correlações já exploradas no texto para uma visão conjunta (Quadro 11).

Quadro 11 - Quadro geral de coocorrências entre os códigos, que incluem dimensões da capacidade adaptativa e estratégias adaptativas, empregados para avaliação da capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica aplicadas ao SSE-BPS

	● D1. Aprendizado Gr=258	● D1. Baixo aprendizado Gr=107	● D2. Flexibilidade Gr=127	● D2. Rigidez Gr=38	● D3. Participação e colaboração Gr=171	● D3. Baixas participação e colaboração Gr=61	● D4. Liderança e Poder Gr=229	● D4. Liderança fraca Gr=19	● D4. Baixa influência sobre demais atores Gr=7	● D5. Recursos Gr=99	● D5. Demora e entraves Gr=50	● D5. Recursos escassos Gr=24
● D1. Aprendizado Gr=258	0	0	21	1	48	2	18	0	0	15	1	0
● D1. Baixo aprendizado Gr=107	0	0	1	1	1	6	5	8	0	5	7	2
● D2. Flexibilidade Gr=127	21	1	0	0	10	0	3	0	0	8	1	1
● D2. Rigidez Gr=38	1	1	0	0	2	1	8	0	0	3	7	0
● D3. Baixas participação e colaboração Gr=61	2	6	0	1	0	0	10	3	2	2	3	1
● D3. Participação e colaboração Gr=171	48	1	10	2	0	0	30	0	0	26	1	3
● D4. Baixa influência sobre demais atores Gr=7	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	4
● D4. Liderança e Poder Gr=229	18	5	3	8	30	10	0	0	0	3	3	2
● D4. Liderança fraca Gr=19	0	8	0	0	0	3	0	0	1	3	4	1
● D5. Demora e entraves Gr=50	1	7	1	7	1	3	3	4	0	5	0	2
● D5. Recursos Gr=99	15	5	8	3	26	2	3	3	0	0	5	3
● D5. Recursos escassos Gr=24	0	2	1	0	3	1	2	1	4	3	2	0
● M1. Ações de enfrentamento Gr=234	30	5	61	2	26	1	7	0	0	17	11	1
● M2. Medidas incrementais Gr=72	37	0	8	0	16	2	7	0	0	11	2	0
● M2. Medidas incrementais Indicadas Gr=32	2	2	2	0	3	3	0	1	7	2	2	6
● M3. Medidas transformativas Gr=1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
● M3. Medidas transformativas Indicadas Gr=20	0	7	0	0	3	2	0	8	0	6	3	0
○ Má adaptação Gr=9	0	5	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: O Autor, 2025.

Legenda: Nas colunas estão listadas as dimensões da capacidade adaptativa (D1 – D5) quanto a presença e negação. Nas linhas estão às mesmas dimensões acrescidas das estratégias adaptativas (M1-M3). A é preenchida com valor 0 quando corresponde ao cruzamento entre a mesma dimensão, quando a correlação não foi identificada durante a etapa de categorização realizado no software Atlas.ti. A sigla Gr indica o número de vezes que o código foi associado a uma citação, isto é, trecho dos documentos analisados.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Esta tese teve como objetivo principal desenvolver um quadro analítico para avaliação qualitativa da capacidade adaptativa de sistemas socioecológicos (SSE) diante de secas e escassez hídrica, aplicando-o ao caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul após a crise hídrica de 2014-2016. Acreditamos que as análises e resultados apresentados indicam que esse objetivo foi alcançado.

Destacamos, portanto, duas contribuições principais desta pesquisa: uma metodológica, por meio da proposição de um enquadramento analítico original, baseado na integração multinível e na análise gradual da capacidade adaptativa; e outra empírica, especificamente voltada ao caso da Bacia do Rio Paraíba do Sul, região estratégica do país onde não havia sido realizada, até então, uma avaliação semelhante. Ambas as contribuições são originais na literatura científica e técnica consultada.

### **Sobre o Quadro Analítico**

Nesta tese, a capacidade adaptativa é entendida como um potencial dos sistemas socioecológicos, resultante da interação entre componentes sociais e naturais, tornando-os mais aptos a fornecer serviços ecossistêmicos essenciais. Com base nisso, propomos um quadro analítico para avaliar a capacidade adaptativa às secas e à escassez hídrica em dois níveis: institucional (gestores organizados em múltiplos níveis) e local (usuários de água bruta com influência local e/ou em diferentes níveis). Essa abordagem multinível visa superar a lacuna observada em outros estudos que frequentemente restringem a avaliação a um desses níveis ou a um único setor usuário.

No quadro analítico apresentado no capítulo 3, a interação entre componentes sociais e naturais ocorre por meio das estratégias adaptativas, ou seja, um conjunto de ações e medidas para o enfrentamento de secas e a construção da capacidade adaptativa a longo prazo. Essas estratégias foram classificadas em três categorias: ações de enfrentamento, medidas adaptativas incrementais e medidas adaptativas transformativas, considerando principalmente sua abrangência espacial, continuidade temporal e capacidade de promover mudanças. Essa abordagem ampliou a análise,

permitindo avaliar a capacidade adaptativa em diferentes momentos do sistema socioecológico e compreender como o evento inicial de crise influencia o momento atual e a trajetória do SSE na construção da capacidade adaptativa, seja rumo a um estado menos preparado, com melhorias incrementais, ou a um sistema mais adaptativo.

As estratégias adaptativas podem ser analisadas quanto à presença ou ausência das cinco dimensões da capacidade adaptativa: (i) aprendizado, (ii) flexibilidade, (iii) participação e colaboração, (iv) liderança e poder, e (v) recursos. Essas dimensões configuram-se como um conjunto de fatores centrais capazes de habilitar o sistema socioecológico a lidar com secas e escassez hídrica de forma mais resiliente.

Portando, o quadro analítico desenvolvido nesta tese oferece uma abordagem multidimensional e multinível para avaliar a capacidade adaptativa às secas e escassez hídrica em sistemas socioecológicos, considerando a dinâmica entre as dimensões da capacidade adaptativa e as estratégias adaptativas implementadas em diferentes momentos. A intenção é fornecer uma ferramenta para compreender como a experiência de crises hídricas pode ou não levar à construção de uma capacidade adaptativa transformativa a longo prazo

Ao longo do estudo, evidências robustas demonstraram que o quadro analítico permitiu identificar as dimensões da capacidade adaptativa mobilizadas pelos atores da bacia, permitindo compreender com clareza como a crise influenciou a construção dessa capacidade ao longo do tempo.

### **Sobre a Bacia do rio Paraíba do Sul**

Ao ser aplicado ao Sistema Socioecológico da Bacia do Paraíba do Sul (SSE-BPS), no capítulo 4, o quadro analítico revelou que embora a BPS tenha avançado em sua capacidade adaptativa após a crise hídrica de 2014-2016, ela permanece em um estágio predominantemente incremental. A maior parte das estratégias adotadas foram ações de enfrentamento (M1) e medidas adaptativas incrementais (M2), com limitação de ações transformativas (M3).

As ações de enfrentamento (M1) implementadas foram eficazes para lidar com a crise hídrica, como ajustes nos sistemas de captação, crescentes reduções da

vazão defluente dos reservatórios e protocolos de comunicação de emergências. Durante a crise, houve avanços em aprendizado, participação e colaboração, com a mobilização de recursos técnicos e financeiros. A experiência da crise gerou conhecimento e maior interação entre os atores, especialmente no âmbito do GTAOH/CEIVAP.

As medidas adaptativas incrementais (M2) na BPS pós-crise foram impulsionadas principalmente pelo aprendizado e pela colaboração, mas enfrentaram desafios significativos na implementação de ações mais complexas devido às limitações em recursos, poder de influência de lideranças e, em alguns casos, na sustentabilidade das ações implementadas durante a emergência. Exemplos de M2 implementadas incluem ajustes nos sistemas de captação de água para abastecimento público e industrial e a realocação dos pontos de captação das indústrias do baixo Guandu. No entanto, a falta de acompanhamento e avaliação contínuos mostrou-se um fator limitante para garantir a efetividade das M2 a longo prazo.

Gestores organizados em múltiplos níveis souberam aproveitar parcialmente a janela de oportunidade criada pela crise para pactuar mudanças significativas na lógica da operação do Reservatório Equivalente, com participação ativa de órgãos gestores estaduais, caracterizando as novas regras operativas como uma medida transformativa (M3). A efetivação da operação dos reservatórios sob as novas regras operativas se deu quando os volumes dos reservatórios começavam a ser recuperados, marcando o término da crise hídrica. As novas regras operativas pós-crise, embora transformativas, dependem de implementação de longo prazo para que seus limites quanto à manutenção do armazenamento em níveis seguros sejam compreendidos. Além disso, essas mudanças não foram acompanhadas por outras medidas transformativas voltadas à recuperação e conservação ambiental da Bacia do Rio Paraíba do Sul e demais componentes naturais (sistema e unidade de recursos). Dessa forma, isoladamente, essas novas regras operativas são insuficientes para direcionar o SSE-BPS para uma trajetória mais adaptativa.

Desse modo, a integração limitada das dimensões da capacidade adaptativa, especialmente liderança e poder, dificultou a promoção de mudanças transformativas, particularmente no aspecto de recuperação ambiental dos mananciais. Após a crise, observou-se uma acomodação dos atores, com pouca mobilização para medidas de

longo prazo. Além disso, observa-se que não houve incorporação da incerteza para projeções de secas e escassez hídrica futuras na bacia, uma vez que o evento extremo não necessariamente ganhou importância e preocupação dos gestores e usuários das águas da bacia. Assim, pode-se afirmar que o aprendizado social não foi suficiente para contribuir com o entendimento de que as incertezas dos efeitos das mudanças climáticas não podem limitar a formulação de estratégias de adaptação futura. Isso é particularmente preocupante, considerando que estudos disponíveis sobre os impactos das mudanças climáticas na BPS indicam uma intensificação da severidade e da duração das secas, além de uma redução na disponibilidade hídrica ao longo do tempo (por exemplo, ANA, 2024; Almeida et al., 2024).

Confirmando a forte resistência a mudanças no pós-crise, observamos que medidas de aumento da oferta, como a ampliação da ETA Guandu, estão sendo colocadas em prática, sem que ações prioritárias de gestão da demanda, como a redução de expressivas perdas dos sistemas de distribuição, sejam priorizadas. Estas poderiam ser induzidas de forma sistemática por meio de condicionantes em processos de renovação e concessão de novas outorgas. Ainda sob essa lógica tradicional de ampliação da oferta, podemos citar a interligação Jaguari-Atibainha, implementada para reforçar o abastecimento da região metropolitana de São Paulo, aumentando, porém, a pressão sobre a Bacia do Paraíba do Sul.

A dependência excessiva de soluções baseadas em infraestrutura cinza, como reservatórios e transferências de água, pode inclusive aumentar a vulnerabilidade do sistema a futuras crises. A não incorporação das incertezas climáticas no planejamento também limita a capacidade de longo prazo, tornando o sistema menos preparado para enfrentar eventos extremos no futuro.

O SSE-BPS está exposto ao aumento da demanda e à degradação ambiental, fatores que são agravados pelas mudanças climáticas. Ondas de calor e baixas taxas de umidade atmosférica têm contribuído para aumento de queimadas e destruição da vegetação natural, além de aumentar o consumo residencial e comercial per capita. Em 2024, por exemplo, foram alcançadas temperaturas recordes, com médias 1,5 °C acima do normal. As incertezas também criam dificuldades para mensurar as disponibilidades hídricas ao longo do tempo e no espaço, complexificando ainda mais a gestão das águas. Neste contexto, a capacidade adaptativa pode orientar a

governança e gestão dos recursos hídricos, fortalecendo mecanismos de controle, mas também agregando flexibilidade, tornando-as mais adaptativas.

Diante desse cenário, o conjunto de estratégias adaptativas implementadas e planejadas na bacia mostrou-se insuficiente para tornar o SSE mais adaptativo. É necessário incluir ações de enfrentamento nos planejamentos, aprimorar e priorizar medidas incrementais estratégicas e implementar mudanças transformativas que incluam os componentes ambientais do SSE. Para tal, torna-se necessário a mobilização conjunta das diferentes dimensões da capacidade adaptativa, especialmente liderança e poder, que são determinantes para promover mudanças profundas e estruturais. Isso exige, essencialmente, a compreensão da dependência entre os componentes dos sistemas socioecológicos: os sistemas e unidades de recursos (componentes naturais e modificados); e a governança, gestão e usuários (componentes sociais), com o comprometimento das lideranças e sistemas de gestão em avançar no sentido de impulsionar a capacidade adaptativa do sistema integralmente.

A inovação é bem-vinda para impulsionar ações prioritárias como proteger os mananciais e dar mais ênfase à gestão da demanda, tendo em vista a necessidade de aumentar a oferta de água (IPCC, 2022). Mananciais preservados, em boas condições ambientais (com menor poluição, menor aporte de sedimentos e maior capacidade de infiltração) fornecem serviços ecossistêmicos de melhor qualidade; quando combinados com medidas de gestão da demanda, contribuem significativamente para a segurança hídrica (Sayers et al., 2017).

As estratégias de gestão da demanda incluem, principalmente, soluções baseadas na natureza, redução das perdas nos sistemas de distribuição, adoção de tecnologias eficientes no setor produtivo e controle da poluição ambiental. Essas ações podem e devem ser combinadas com medidas estruturais voltadas ao aumento da oferta, especialmente nos trechos médio e baixo da bacia, que sofrem com flutuações abruptas entre secas e inundações.

### **Limitações e perspectivas para pesquisas futuras**

O quadro analítico proposto para a avaliação multinível da capacidade adaptativa na Bacia do Rio Paraíba do Sul é original e apresenta potencial para

aplicação em outros sistemas socioecológicos. No entanto, sua aplicação revelou algumas limitações que devem ser observadas em pesquisas futuras, especialmente relacionadas à apreensão de aspectos complexos como liderança e poder, à operacionalização de conceitos teóricos – como os ciclos de aprendizado – e à dependência da qualidade e disponibilidade dos dados.

Apesar das diversas formas pelas quais liderança e poder se manifestam, essa dimensão apresentou uma baixa expressão entre as estratégias adaptativas identificadas. Isso sugere que o quadro analítico – ou sua metodologia de aplicação – pode ter limitações para evidenciar de forma mais abrangente as influências e os processos decisórios de atores (e suas lideranças) com maior poder no desenvolvimento e implementação das estratégias.

Embora o aprendizado seja uma dimensão central do quadro analítico, a classificação dos ciclos de aprendizado (único, duplo e triplo) se mostrou de difícil compartimentalização na prática. Na realidade empírica, a distinção entre esses ciclos pode ser fluida e nem sempre claramente observável nos dados, dificultando a aplicação rigorosa dessa categorização. Ainda assim, consideramos que foi possível apreender a incorporação do aprendizado nos processos decisórios e criação de novas estratégias adaptativas.

A aplicação do quadro analítico também depende diretamente da disponibilidade e da qualidade dos dados coletados em documentos e entrevistas. Lacunas de informação ou vieses nas fontes utilizadas e nas percepções dos entrevistados podem influenciar a análise e limitar a capacidade do quadro analítico de fornecer uma avaliação completa e precisa da capacidade adaptativa. Além disso, avaliar estratégias que não foram implementadas apresenta um desafio inerente ao quadro analítico, pois a comprovação de sua eficácia ou das reais limitações para sua implementação não pode ser totalmente verificada.

A identificação dessas limitações pode orientar aprimoramentos no quadro analítico. Embora tenha sido criado tendo por referência a Bacia do Paraíba do Sul, espera-se que ele possa ser aplicado a outros sistemas socioecológicos de bacias hidrográficas, especialmente pela amplitude de complexidades que ele abarca, sendo multidimensional e multinível, incluindo interações entre gestores e usuários.

Nesse sentido, futuras aplicações do quadro analítico poderiam aprofundar a análise com entrevistas específicas com os atores que propuseram ou defenderam

estratégias não implementadas, buscando entender melhor os fatores que impediram sua implementação. Além disso, poderiam buscar qualificar a presença das dimensões, utilizando uma escala ou níveis para indicar a intensidade ou a qualidade com que cada dimensão se manifesta.

No entanto, é fundamental reconhecer que a complexidade dos sistemas socioecológicos e dos processos de governança sempre apresentarão desafios para qualquer quadro analítico, exigindo adaptações metodológicas contínuas e uma abordagem flexível para lidar com as particularidades de cada sistema.

## REFERÊNCIAS

- ABEDIN, M. A.; HABIBA, U.; SHAW, R. Community perception and adaptation to safe drinking water scarcity: salinity, arsenic, and drought risks in coastal Bangladesh. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 5, n. 2, p. 110–124, 2014.
- ACSELRAD, M. V.; CONSTANTINO, L.; OKAMURA, G. H. **Revisitando o planejamento das águas no estado do Rio de Janeiro: operacionalidade e pragmatismo**. XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (ISSN 2318-0358). **Anais...2021**.
- ADAMSON, D.; LOCH, A.; SCHWABE, K. Adaptation responses to increasing drought frequency. **Australian Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 61, n. 3, p. 385–403, 2017.
- ADGER, W. N.; ARNELL, N. W.; TOMPKINS, E. L. Adapting to climate change: Perspectives across scales. *Global Environmental Change*, v. 15, n. 2, p. 75–76, 2005.
- ADGER, W. N. et al. Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*, v. 93, n. 3–4, p. 335–354, 2009.
- ADHIKARI, S. Drought impact and adaptation strategies in the mid-hill farming system of western Nepal. **Environments - MDPI**, v. 5, n. 9, p. 1–12, 2018.
- ALMEIDA, L. P.; FORMIGA-JOHNSON, R.M.; PORTO, V.C.; FERREIRA, I.D.; ESTACIO, A.B. S.; SOUZA FILHO, F.A.; OHNUMA JUNIOR, A.A.; PAULA, I.X. (2023). Secas em cenários de mudanças do clima: uma avaliação preliminar para a Bacia do rio Paraíba do Sul. In: ABRHidro: Anais do XXV SBRH, 2023, Aracaju.
- ASSOCIAÇÃO PRÓ-GESTÃO DAS ÁGUAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL – AGEVAP. Complementação e Finalização do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul – PIRH-PS e Elaboração dos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas Afluentes. Rio de Janeiro: Profill Engenharia e Ambiente S.A. 2021. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/instrumentos-de-gestao/plano-de-recursos-hidricos>.
- \_\_\_\_\_. Plano de Gerenciamento de Risco (PGR) para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. São Paulo: Consórcio NIPPON/REGEA. 2022.

\_\_\_\_\_. Estudo de disponibilidades hídricas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Rio de Janeiro: Profill Engenharia e Ambiente S.A. 2024.

AGEVAP. Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Guandu, da Guarda e Guandu Mirim (PLANO GUANDU). Rio de Janeiro: Comitê das Bacias Hidrográficas dos rios Guandu, da Guarda e Guandu-Mirim (Comitê Guandu-RJ) e Profill Engenharia e Ambiente, 2018. Disponível em: <https://www.comiteguandu.org.br/plano-de-bacia.php>.

AJULO, O.; VON-MEDING, J.; TANG, P. Upending the status quo through transformative adaptation: A systematic literature review. *Progress in Disaster Science*, v. 6, p. 100103, 2020.

AL ADAILEH, H. et al. A drought adaptation management system for groundwater resources based on combined drought index and vulnerability analysis. **Earth Systems and Environment**, v. 3, n. 3, p. 445–461, 2019.

AL-AMIN, A. K. M. A. et al. An intra-household analysis of farmers' perceptions of and adaptation to climate change impacts: empirical evidence from drought prone zones of Bangladesh. **Climatic Change**, v. 156, n. 4, p. 545–565, 2019.

ALARY, V. et al. Bedouin adaptation to the last 15-years of drought (1995-2010) in the north coastal zone of Egypt: Continuity or rupture? **World Development**, v. 62, p. 125–137, 2014.

ALARY, V. et al. Livelihood strategies and the role of livestock in the processes of adaptation to drought in the Coastal Zone of Western Desert (Egypt). **Agricultural Systems**, v. 128, p. 44–54, 2014.

ALAUDDIN, M.; SARKER, M. A. R. Climate change and farm-level adaptation decisions and strategies in drought-prone and groundwater-depleted areas of Bangladesh: An empirical investigation. **Ecological Economics**, v. 106, p. 204–213, 2014.

ALDUNCE, P. et al. Evaluating adaptation to drought in a changing climate: experience at the local scale in the Aconcagua Valley. **Climate and Development**, v. 14, n. 2, p. 121–132, 2022.

ALDUNCE, P. et al. Unpacking resilience for adaptation: Incorporating practitioners' experiences through a transdisciplinary approach to the case of drought in Chile. **Sustainability (Switzerland)**, v. 8, n. 9, 2016.

ALMEIDA, L.P.; FORMIGA-JOHNSON, R.M.; SOUZA FILHO F.A.; ESTÁCIO A. B.S.; PORTO V.C.; NAUDITT A.; RIBBE L. Development of DRIP - drought representation index for CMIP climate model performance, application to Southeast Brazil. **Science of The Total Environment**. v. 954, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176443>

ALSTON, M.; CLARKE, J.; WHITTENBURY, K. Limits to adaptation: Reducing irrigation water in the Murray-Darling Basin dairy communities. *Journal of Rural Studies*, v. 58, n. December 2017, p. 93–102, 2018.

ÁLVAREZ, Y. A. A. et al. Linking science and public policy: The national waters law under the perspectives of systems thinking and ecosystem services. [s.l: s.n.]. v. 30

AMBROSIO, L. L., FORMIGA-JOHNSON, R. M. Alocação de água nas bacias dos rios Paraíba do Sul e Guandu. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**. V. 12, n. 2. 2018.

AMBROSIO, L. L., FORMIGA-JOHNSON, R. M., Ribeiro, N. B., Puga, B. P., NAUDITT, A. Capacidade adaptativa às secas visando segurança hídrica: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.17, n.06. 2024.

ANA. **A evolução da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2002.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 211/2003. Brasília, 05 de jun. de 2003.

\_\_\_\_\_. **Encarte especial sobre a crise hídrica: conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília: ANA, 2015a.

\_\_\_\_\_. **Plano de Ações Complementares para a Gestão da Crise Hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul**. Versão 2.0. Brasília: ANA, 2015b

\_\_\_\_\_. Resolução Conjunta ANA/DAEE/IGAM/INEA nº 1.382/2015. Brasília, 07 de dez. de 2015c.

\_\_\_\_\_. **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação** / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, GGES, 2016.

\_\_\_\_\_. Ofício Circular nº 48/2016/AA-ANA. **Comunicado sobre a entrada em vigor da Resolução Conjunta N° 1.382, de 7 de dezembro de 2015.** Brasília, 30 de nov. de 2016.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017:** relatório pleno. Brasília: ANA, 2017.

\_\_\_\_\_. Portaria nº 400. Brasília, 12 de dez. de 2017.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 1.931/2017. Brasília, 30 de out. de 2017.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Agência Nacional de Águas, p. 1–112, 2019a.

\_\_\_\_\_. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil.** Brasília: ANA, 2019a.

\_\_\_\_\_. Nota Técnica nº 75/2020/SPR. **Atualização da Base de Disponibilidade Hídrica Superficial da ANA.** Brasília, 28 de out. de 2020.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021:** relatório pleno. Brasília: ANA, 2021a.

\_\_\_\_\_. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano.** Brasília: ANA, 2021b.

\_\_\_\_\_. **Evaporação líquida de reservatórios artificiais no Brasil.** Brasília: ANA, 2021c.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2023:** informe anual. Brasília: ANA, 2023.

\_\_\_\_\_. **Cadastro Nacional de Usuários – CNARH, Declaração Anual de Uso – DAURH e Base Nacional de Usos – BD-Usos: complementariedades e contribuições para o aprimoramento das bases de dados.** Nota Técnica nº 34/2023/SFI/ANA. Brasília: ANA, 2023b.

\_\_\_\_\_. **Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos no Brasil /** Agencia Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2024a.

\_\_\_\_\_. **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil – 2a ed.** Brasília: ANA, 2024b.

\_\_\_\_\_. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR),** Brasília-DF, 2019. Disponível em <[https://www.ana.gov.br/sar/sin/b\\_paraiba-do-sul](https://www.ana.gov.br/sar/sin/b_paraiba-do-sul)>. Acessado em 01 fev. 2025.

ANDERIES, J. M., M. A. JANSSEN, and E. OSTROM. 2004. A framework to analyze the robustness of social-ecological systems from an institutional perspective. **Ecology and Society** (1): 18.

ANIK, A. R. et al. Farmers' adaptation strategies to combat climate change in drought prone areas in Bangladesh. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 65, n. September, p. 102562, 2021.

AUSTIN, E. K. et al. Drought, wellbeing and adaptive capacity: Why do some people stay well? **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 19, p. 1–17, 2020.

BAILEY, K. M.; MCCLEERY, R. A.; BARNES, G. The role of capital in drought adaptation among rural communities in Eswatini. **Ecology and Society**, v. 24, n. 3, 2019.

BALCH, J. K., IGLESIAS, V., BRASWELL, A. E., ROSSI, M. W., JOSEPH, M. B., MAHOOD, A. L., et al. Social-environmental extremes: Rethinking extraordinary events as outcomes of interacting biophysical and social systems. **Earth's Future**, v. 8, 2020

BALVANERA, P. et al. Resiliencia, vulnerabilidad y sustentabilidad de sistemas socioecológicos en México. **Revista Mexicana de Biodiversidad**, v. 88, p. 141–149, 2017.

BANCO MUNDIAL. Diálogos para o Aperfeiçoamento da Política e do Sistema de Recursos Hídricos no Brasil. Volume I: Relatório Consolidado. Brasília: Banco Mundial, 2018.

BARNETT, J.; O'NEILL, S. Maladaptation. **Global Environmental Change**, maio 2010.

BASEL, B. et al. Bee mietii rak rkabni nis (The people know how to seed water): A Zapotec experience in adapting to water scarcity and drought. **Climate and Development**, v. 13, n. 9, p. 792–806, 2021.

BECK, H. E. et al. Data Descriptor: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1 -km resolution. **Nature Publishing Group**, 2018.

BERRANG-FORD, L.; PEARCE, T.; FORD, J. D. Systematic review approaches for climate change adaptation research. **Regional Environmental Change**, v. 15, p. 755–769, 2015.

BERRANG-FORD, L. et al. A systematic global stocktake of evidence on human adaptation to climate change. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 11, p. 989–1000, 2021.

BERKES, F.; COLDING, J.; FOLKE, C. Introduction. In: **Navigating Social-Ecological Systems**. Cambridge University Press, 2003. p. 1–30.

BETTINI, Y.; BROWN, R.; DE HAAN, F. J. Exploring institutional adaptive capacity in practice: examining water governance adaptation in Australia. **Ecology and Society** 20(1): 47. 2015. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-07291-200147>

BETTINI, Y.; BROWN, R.; DE HAAN, F. J. Water scarcity and institutional change: Lessons in adaptive governance from the drought experience of Perth, Western Australia. **Water Science and Technology**, v. 67, n. 10, p. 2160–2168, 2013.

BIESBROEK, G. R. et al. On the nature of barriers to climate change adaptation. **Regional Environmental Change**, v. 13, p. 1119–1129, 2013.

BIRHANU, Z. et al. Understanding resilience dimensions and adaptive strategies to the impact of recurrent droughts in Borana Zone, Oromia Region, Ethiopia: A grounded theory approach. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 14, n. 2, p. 1–18, 2017.

BINDER, C. R. et al. Comparison of frameworks for analyzing social-ecological systems. **Ecology and Society**, v. 18, n. 4, 2013.

BISARO, A.; HINKEL, J.; KRANZ, N. Multilevel water, biodiversity and climate adaptation governance: Evaluating adaptive management in Lesotho. **Environmental Science and Policy**, v. 13, n. 7, p. 637–647, 2010.

BORMA, L. S.; TINIOLO, M. A.; JACOBI, P. J. Recursos hídricos na bacia do rio Paraíba do Sul: integrando aspectos naturais e antrópicos. In: TEODORICO, A. S. (org.). **Regulação e gestão de recursos hídricos no Brasil**. Campo Grande: Oeste, 2023. p. (198-228).

BRAGA, B. P. F. et al. Pacto federativo e gestão de águas. **Estudos Avançados**, v. 63, n. 22, p. 17–42, 2008.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil, de 5 de outubro de 1988.

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos - Lei n. 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Bremond, A., Preston, B. L., & Rice, J. Improving the usability of integrated assessment for adaptation practice: Insights from the U.S. Southeast energy sector. **Environmental Science & Policy**, 42, 45–55. 2014. doi:10.1016/j.envsci.2014.05.004

BROOKS, N.; ADGER, W. N.; KELLY, P. M. The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. **Global Environmental Change**, v. 15, p. 151–163, 2005.

BRUGNACH, M. et al. Toward a relational concept of uncertainty: About knowing too little, knowing too differently, and accepting not to know. **Ecology and Society**, v. 13, n. 2, 2008.

BURCHFIELD, E. K.; GILLIGAN, J. Agricultural adaptation to drought in the Sri Lankan dry zone. **Applied Geography**, v. 77, p. 92–100, 2016.

CAMPOS, J. D. **Desafios do gerenciamento dos recursos hídricos nas transferências naturais e artificiais envolvendo mudança de domínio hídrico**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CANIL, K.; LAMPIS, A.; SANTOS, K. L. DOS. Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. **Cadernos Metrópole**, v. 22, n. 48, p. 397–416, 2020.

CARLTON, J. S. et al. The effects of extreme drought on climate change beliefs, risk perceptions, and adaptation attitudes. **Climatic Change**, v. 135, n. 2, p. 211–226, 2016.

CASTRO, C. N. Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica. Rio de Janeiro: IPEA, 2022.

CASTRO, H.; ZUSMAN, P. Naturaleza y Cultura: ¿dualismo o hibridación? Una exploración por los estudios sobre riesgo y paisaje desde la Geografía. **Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM**, n. 70, p. 135–153, 2009.

CEMADEN – CENTRO NACIONAL DE MONITORAMENTO E ALERTAS DE DESASTRES NATURAIS. **Boletim de impactos de origem hidro-geo-climática para o Brasil**. Dez 2024. n. 74. São José dos Campos: CEMADEN, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cemaden/pt-br/assuntos/monitoramento/boletim-de-impactos>. Acesso em: 10 jan. 2025.

\_\_\_\_\_. Nota Técnica nº 679/2024/SEI-CEMADEN. **Análise das Secas no Brasil: Diagnóstico e Projeções Futuras**. São José dos Campos: CEMADEN, 2024.

CHAPIN, F. S.; FOLKE, C.; KOFINAS, G.P. A framework for understanding change. *In*: CHAPIN, F. S.; KOFINAS, G.P; FOLKE, C. **Principles of ecosystem stewardship**. New York: Springer, 2009. cap. 1, p. 3-28.

CLARVIS, M. H.; ALLAN, A. Adaptive capacity in a Chilean context: A questionable model for Latin America. **ENVIRONMENTAL SCIENCE & POLICY**, v. 43, n. SI, p. 78–90, nov. 2014.

CLARVIS, M. H.; ENGLE, N. L. Adaptive capacity of water governance arrangements: a comparative study of barriers and opportunities in Swiss and US states. **Regional Environmental Change**, p. 517–527, 2015.

COSTA, L. F.; FARIAS JUNIOR, J. E. F.; FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; SILVA, L. D. D.; ACSERALD, M. V. Crise hídrica na Bacia do Rio Paraíba do Sul: enfrentando a pior estiagem dos últimos 85 anos. **REVISTA INEANA (REVISTA TÉCNICA DO INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, RJ)**, v. 3, p. 26-47, 2015.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P. & VAN DEN BELT, M. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, 387: 253-260.

CRESWELL, J. D. **Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches**. 3. ed. London: Sage Publications, 2007. 246 p.

CRUZ, G. et al. Thirty years of multilevel processes for adaptation of livestock production to droughts in Uruguay. **Weather, Climate, and Society**, v. 10, n. 1, p. 59–74, 2018.

Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). **Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista**. São Paulo: DAEE, 2013.

DE NYS, E.; ENGLE, N.L. e MAGALHÃES, A.R. (Orgs). **Secas no Brasil: política e gestão proativas**. Brasília: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE); Banco Mundial. Brasília – DF, 2016.

DEUSDARÁ-LEAL, K. R. et al. Implications of the New Operational Rules for Cantareira Water System: Re-Reading the 2014-2016 Water Crisis. **journal of water and protection**, v. 12, p. 261–274, 2020.

DI GIULIO, G. M.; MARTINS, A. M. B. E; LEMOS, M. C. Adaptação climática: Fronteiras do conhecimento para pensar o contexto brasileiro. **Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 25–41, 2016.

DILLING, L. et al. Drought in urban water systems: Learning lessons for climate adaptive capacity. **Climate Risk Management**, v. 23, n. August 2018, p. 32–42, 2019.

DILLING, L. et al. The role of adaptive capacity in incremental and transformative adaptation in three large U.S. Urban water systems. **Global Environmental Change**, v. 79, 1 mar. 2023.

DU, T. L. T. et al. Towards adaptive governance for urban drought resilience: the case of Da Nang, Vietnam. **International Journal of Water Resources Development**, v. 34, n. 4, p. 597–615, 2018.

EMAMI-SKARDI, M. J.; MOMENZADEH, N.; KERACHIAN, R. Social learning diffusion and influential stakeholders identification in socio-hydrological environments. **Journal of Hydrology**, v. 599, 1 ago. 2021.

ENDTER-WADA, J.; SELFA, T.; WELSH, L. W. Hydrologic interdependencies and human cooperation: The process of adapting to droughts. **Weather, Climate, and Society**, v. 1, n. 1, p. 54–70, 2009.

ENGLE, N. L.; LEMOS, M. C. Unpacking governance: Building adaptive capacity to climate change of river basins in Brazil. **Global Environmental Change**, v. 20, n. 1, p. 4–13, 2010.

ENGLE, N. L. Adaptation Bridges and Barriers in Water Planning and Management: Insight from Recent Extreme Droughts in Arizona and Georgia. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 48, n. 6, p. 1139–1150, 2012.

ENGLE, N. L. Adaptive Capacity and Its Assessment. **Global Environmental Change**, v. 21, p. 647–656, 2011.

ENGLE, N. L. The role of drought preparedness in building and mobilizing adaptive capacity in states and their community water systems. **Climatic Change**, v. 118, n. 2, p. 291–306, 2013.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Caderno Mudanças Climáticas: Resiliência e Adaptação do Setor Elétrico Brasileiro**. Rio de Janeiro: EPE Abril/2024.

EPULE, T. E.; FORD, J. D.; LWASA, S. Projections of maize yield vulnerability to droughts and adaptation options in Uganda. **Land Use Policy**, v. 65, n. July 2016, p. 154–163, 2017.

ERIKSEN, S.; LIND, J. Adaptation as a political process: Adjusting to drought and conflict in Kenya's Drylands. **Environmental Management**, v. 43, n. 5, p. 817–835, 2009.

ERNST, K. M., & PRESTON, B. L. Adaptation opportunities and constraints in coupled systems: Evidence from the U.S. energy-water nexus. **Environmental Science & Policy**, 70, 38–45. 2017 doi:10.1016/j.envsci.2017.01.001

ETEMADI, M.; KARAMI, E. Organic fig growers' adaptation and vulnerability to drought. **Journal of Arid Environments**, v. 124, p. 142–149, 2016.

FANADZO, M. et al. Smallholder farmer coping and adaptation strategies during the 2015-18 drought in the Western Cape, South Africa. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 124, n. P1, p. 102986, 2021.

FEDELE, G. et al. Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. **Environmental Science and Policy**, v. 101, n. July, p. 116–125, 2019.

FERREIRA, I. D.; ALMEIDA, L. P.; FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; LAIGNEAU, P. A. Avaliação do primeiro ano de implementação do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PIRH-PS). In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH). Sergipe. *Anais...*, 2023. ISSN 2318-0358. Disponível em: <http://www.abrhidro.org.br/xxvsbrh>. Acesso em: 01 jan. 2025

FERENČUHOVÁ, S. Inconspicuous adaptations to climate change in everyday life: Sustainable household responses to drought and heat in Czech cities. **Journal of Consumer Culture**, p. 1–18, 2021.

FINAN, T. J.; NELSON, D. R. Making rain, making roads, making do: Public and private adaptations to drought in Ceará, Northeast Brazil. **Climate Research**, v. 19, n. 2, p. 97–108, 2001.

FLÖRKE, M.; SCHNEIDER, C.; MCDONALD, R. I. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. **Nature Sustainability**, v. 1, n. 1, p. 51–58, 2018.

FOLKE, C. et al. Adaptive Governance of Social-Ecological Systems. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 30, n. 1, p. 441–473, 2005.

FOLKE, C. et al. Resilience thinking: Integrating resilience, adaptability and transformability. **Ecology and Society**, v. 15, n. 4, 2010.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M. Alocação de água e participação em situações de escassez: um relato da experiência de gestão compartilhada dos reservatórios da Bacia do Rio Paraíba do Sul. In: II Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste, 2008, Rio de Janeiro. Anais do II Simpósio de Recursos Hídricos Sul-Sudeste. Rio de Janeiro: ABRH, 2008.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; FARIAS JUNIOR, J. E. F.; COSTA, L. F.; ACSERALD, M. V. Segurança hídrica do Estado do Rio de Janeiro face à transposição paulista de águas da Bacia Paraíba do Sul: relato de um acordo federativo. **REVISTA INEANA (REVISTA TÉCNICA DO INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, RJ)**, v. 3, p. 48-69, 2015.

FORMIGA-JOHNSSON, R. M.; KUMLER, L.; CARMEN, M. The politics of bulk water pricing in Brazil: lessons from the Paraíba do Sul basin. p. 1–32, 2006.

FORMIGA-JOHNSSON, R.M. & KEMPER, K.E. Institutional and Policy Analysis of River Basin Management in the Alto-Tiete River Basin, São Paulo, Brazil. Policy Research Working Paper No. 3650. World Bank, Washington, DC. 2005.

FRIEDMAN, M. B. et al. Broadening resilience: An evaluation of policy and planning for drinking water resilience in 100 US cities. **Global Environmental Change**, v. 84, 1 jan. 2024.

GAIN, A. K.; ROUILLARD, J. J.; BENSON, D. Can Integrated Water Resources Management Increase Adaptive Capacity to Climate Change Adaptation? A Critical Review. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 05, n. 04, p. 11–20, 2013.

GHIMIRE, Y. N.; SHIVAKOTI, G. P.; PERRET, S. R. Household-level vulnerability to drought in hill agriculture of Nepal: Implications for adaptation planning. **International Journal of Sustainable Development and World Ecology**, v. 17, n. 3, p. 225–230, 2010.

GIL-GUIRADO, S.; ESPÍN-SÁNCHEZ, J. A.; DEL ROSARIO PRIETO, M. Can we learn from the past? Four hundred years of changes in adaptation to floods and droughts. Measuring the vulnerability in two Hispanic cities. **Climatic Change**, v. 139, n. 2, p. 183–200, 2016.

GLOBAL WATER PARTNERSHIP (GWP). **Towards Water Security: A Framework for Action** Foreword by Ismail Serageldin. Stockholm, Sweden 2000. ISBN: 9163092026.

GOLDMAN, M. J.; RIOSMENA, F. Adaptive capacity in Tanzanian Maasailand: Changing strategies to cope with drought in fragmented landscapes. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 3, p. 588–597, 2013.

GOMES, F. B. R.; VARGAS, I. S.; PROCÓPIO, A. S.; CASTRO, S. R.; RIBEIRO, C. B. M. Estudo da variabilidade espaço-temporal e tendências de precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 28, p. 365–390, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14571>. Acesso em: 10 jan. 2025.

GÓMEZ, A. U.; CADENAS, H. Sistemas socio-ecológicos: elementos teóricos y conceptuales para la discusión en torno a vulnerabilidad hídrica. **L'Ordinaire des Amériques**. n. 218, 2015.

GRAINGER, S.; MURPHY, C.; VICENTE-SERRANO, S. M. Barriers and opportunities for actionable knowledge production in drought risk management: embracing the frontiers of co-production. **Frontiers in Environmental Science**, v. 9, n. April, p. 1–8, 2021.

GRECKSCH, K. Adaptive capacity and water governance in the Keiskamma River Catchment, Eastern Cape Province, South Africa. **Water SA**, v. 41, n. 3, Apr. 2015.

GUNDERSON, L. et al. Regime shifts and panarchies in regional scale social-ecological water systems. **Ecology and Society**, v. 22, n. 1, 2017.

GUPTA, J. et al. The adaptive capacity wheel: a method to assess the inherent characteristics of institutions to enable the adaptive capacity of society. **Environmental Science and Policy**, v. 13, n. 6, p. 459–471, 2010.

GWP. **A Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins**. Stockholm (Sweden), 2009.

\_\_\_\_\_. Apresenta informacoes sobre: **GWP history at a glance**. Disponível em: <<https://www.gwp.org/en/About/who/History/>>. Acesso em: 3 dez. 2024.

HABIBA, U.; SHAW, R.; TAKEUCHI, Y. Farmers' adaptive practices for drought risk reduction in the northwest region of Bangladesh. **Natural Hazards**, v. 72, n. 2, p. 337–359, 2014.

HAEFFNER, M.; BAGGIO, J. A.; GALVIN, K. Investigating environmental migration and other rural drought adaptation strategies in Baja California Sur, Mexico. **Regional Environmental Change**, v. 18, n. 5, p. 1495–1507, 2018.

HAILE, G. G., TANG, Q., LI, W., LIU, X., & ZHANG, X. Drought: Progress in broadening its understanding. **WIREs Water**. 2019. doi:10.1002/wat2.1407

HEAD, B. W. Managing urban water crises: Adaptive policy responses to drought and flood in Southeast Queensland, Australia. **Ecology and Society**, v. 19, n. 2, 2014.

- HERWEHE, L.; SCOTT, C. A. Drought adaptation and development: small-scale irrigated agriculture in northeast Brazil. **Climate and Development**, v. 10, n. 4, p. 337–346, 2018.
- HILL, H. et al. The Invitational Drought Tournament: What is it and why is it a useful tool for drought preparedness and adaptation? **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 107–116, 2014.
- HILL, M. **Climate change and water governance**: adaptive capacity in Chile and Switzerland. Springer, Heidelberg, 2013.
- HILL, T.; POLSKY, C. Adaptation to the effects of suburbanization and drought in Central Massachusetts. **Geographical Bulletin - Gamma Theta Upsilon**, v. 47, n. 2, p. 85–100, 2005.
- HINKEL, J.; BOTS, P. W. G.; SCHLÜTER, M. Enhancing the Ostrom social-ecological system framework through formalization. **Ecology and Society**, v. 19, n. 3, 2014.
- HOLLING, C. S. **Adaptive environmental assessment and management**. Wiley, Chichester, UK, 1978.
- HOLLING, C. S. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. **Ecosystems**, v. 4, n. 5, p. 390–405, 2001.
- HOLMAN, I. P. et al. A Multi-Level Framework for Adaptation to Drought Within Temperate Agriculture. **Frontiers in Environmental Science**, v. 8, n. January, p. 1–14, 2021.
- HOU, L.; HUANG, J.; WANG, J. Early warning information, farmers' perceptions of, and adaptations to drought in China. **Climatic Change**, v. 141, n. 2, p. 197–212, 2017.
- HUNTJENS, P. et al. Adaptive water management and policy learning in a changing climate: A formal comparative analysis of eight water management regimes in Europe, Africa and Asia. **Environmental Policy and Governance**, v. 21, n. 3, p. 145–163, 2011.
- HURLBERT, M. A.; GUPTA, J. An institutional analysis method for identifying policy instruments facilitating the adaptive governance of drought. **Environmental Science and Policy**, v. 93, n. July 2018, p. 221–231, 2019.

HURLBERT, M. A.; MONTANA, E. Dimensions of adaptive water governance and drought in Argentina and Canada. **Journal of Sustainable Development**, v. 8, n. 1, p. 120–137, 2015.

HURLBERT, M.; GUPTA, J. Adaptive Governance, Uncertainty, and Risk: Policy Framing and Responses to Climate Change, Drought, and Flood. **Risk Analysis**, v. 36, n. 2, p. 339–356, 2016.

HURLBERT, M.; GUPTA, J. The adaptive capacity of institutions in Canada, Argentina, and Chile to droughts and floods. **Regional Environmental Change**, v. 17, n. 3, p. 865–877, 2017.

IDMP. Drought and Water Scarcity. WMO n. 1284. Global Water Partnership, Stockholm, Sweden and World Meteorological Organization Geneva, Switzerland, 2022.

IGAM. Estratégias para segurança hídrica em minas gerais. Relatório Final. Porto Alegre, 2016.

INEA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Rio de Janeiro**. Documento elaborado pela Fundação Coordenação de Projetos, Pesquisas e Estudos Tecnológicos - COPPETEC. Laboratório de Hidrologia e Estudos Ambientais (LabHid). Rio de Janeiro: LabHid, 2014.

INEA. **PROSEGH: Programa Estadual de Segurança Hídrica**: documento base. Rio de Janeiro: SEAS: INEA, 2021. 26 p. Disponível em: [https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/DOCUMENTO-BASE-DO-PROSEGH\\_FINAL-out-2021.pdf](https://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2021/10/DOCUMENTO-BASE-DO-PROSEGH_FINAL-out-2021.pdf).

INEA. **Apresenta informações sobre: Segurança Hídrica**. Seção de Notícias. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/seguranca-hidrica/>>. Acesso em: 05 dez. 2024.

IPCC. Adger, W.N., S. Agrawala, M.M.Q. Mirza, C. Conde, K. O'Brien, J. Pulhin, R. Pulwarty, B. Smit and K. Takahashi, 2007: Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. **Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P.

Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 717-743, 2007.

IPCC. Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. In: Field, C.B., Barros, V., Stocker, T.F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M.D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M., Midgley, P.M. (Eds.), A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK/New York, NY, USA, 582 pp, 2012.

IPCC. Caretta, M.A., A. Mukherji, M. Arfanuzzaman, R.A. Betts, A. Gelfan, Y. Hirabayashi, T.K. Lissner, J. Liu, E. Lopez Gunn, R. Morgan, S. Mwanga, and S. Supratid, 2022: Water. In: 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 University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 551–712, doi:10.1017/9781009325844.006. 2022

ISLAM, M. S.; HOSSAIN, M. Z.; SIKDER, M. B. Drought adaptation measures and their effectiveness at Barind Tract in northwest Bangladesh: a perception study. **Natural Hazards**, v. 97, n. 3, p. 1253–1276, 2019.

JIN, J.; WANG, W.; WANG, X. Adapting agriculture to the drought hazard in rural China: household strategies and determinants. **Natural Hazards**, v. 82, n. 3, p. 1609–1619, 2016.

JONES, L. et al. Revisiting the Local Adaptive Capacity framework: learning from the implementation of a research and programming framework in Africa. *Climate and Development*, v. 11, n. 1, p. 3–13, 2 jan. 2019.

KATES, R. W.; TRAVIS, W. R.; WILBANKS, T. J. Transformational adaptation when incremental adaptations to climate change are insufficient. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 19, p. 7156–7161, 2012.

KIEM, A. S.; AUSTIN, E. K. Drought and the future of rural communities: Opportunities and challenges for climate change adaptation in regional Victoria, Australia. **Global Environmental Change**, v. 23, n. 5, p. 1307–1316, 2013.

KINGDON, J. W. *Agendas, alternatives, and public policies*. Harper Collins, New York, New York, USA, 1995

KIRCHHOFF, C. J., LARA-VALENCIA, F., BRUGGER, J., MUSSETTA, P., & PINEDA-PABLOS, N. Towards joint consideration of adaptive capacity and water security: lessons from the arid Americas. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, 21, 22–28, 2016.

KUHN, Thomas S. *A Estrutura das Revoluções Científicas*. Tradução de Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. São Paulo: Perspectiva, 2006.

LA JEUNESSE, I.; LARRUE, C. **Facing hydrometeorological extreme events : a governance issue**. 1. ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons Ltd, 2019.

LEI, Y. et al. How smallholder farmers adapt to agricultural drought in a changing climate: A case study in southern China. **Land Use Policy**, v. 55, n. 2, p. 300–308, 2016.

LEMOS, M. C. et al. Linking development to climate adaptation: Leveraging generic and specific capacities to reduce vulnerability to drought in NE Brazil. **Global Environmental Change**, v. 39, n. July, p. 170–179, 2016.

LISONBEE, J.; NIELSEN-GAMMON, J.; TREWIN, B.; FOLLINGSTAD, G.; PARKER, B. Drought Assessment in a Changing Climate: A Review of Climate Normals for Drought Indices. **Journal of Applied and Service Climatology**. v. 24, n. 1, p. 1–17, 2024.

LIU, X. et al. Assessing vulnerability to drought based on exposure, sensitivity and adaptive capacity: A case study in middle Inner Mongolia of China. **Chinese Geographical Science**, v. 23, n. 1, p. 13–25, 2013.

LONSDALE, K.; PRINGLE, P. & TURNER, B. *Transformative adaptation: what it is, why it matters & what is needed*. UK Climate Impacts Programme, University of Oxford, Oxford, UK. 2015

MACPHERSON, E. et al. Setting a pluralist agenda for water governance: Why power and scale matter. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, 1 set. 2024.

MADRIGAL-BALLESTERO, R.; NARANJO, M. A. Adaptive capacity, drought and the performance of community-based drinking water organizations in Costa Rica. **Journal of Water and Climate Change**, v. 6, n. 4, p. 831–847, 2015.

MAINALI, J.; PRICOPE, N. G. Mapping the need for adaptation: assessing drought vulnerability using the livelihood vulnerability index approach in a mid-hill region of Nepal. **Climate and Development**, v. 11, n. 7, p. 607–622, 2019.

MALTOU, R.; BAHTA, Y. T. Factors influencing the resilience of smallholder livestock farmers to agricultural drought in South Africa: Implication for adaptive capabilities. **Jamba: Journal of Disaster Risk Studies**, v. 11, n. 1, p. 1–7, 2019.

MANALO IV, J. A.; VAN DE FLIERT, E.; FIELDING, K. Non-climatic stressors constraining adaptation to drought in rice-farming communities in the Philippines. **Climate and Development**, v. 0, n. 0, p. 1–11, 2021.

MANCAL, A. et al. À espera da seca que vem: Capacidade adaptativa em comunidades rurais do semiárido. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 33, n. 2, p. 257–281, 2016.

MARCHILDON, G. P. et al. Drought and institutional adaptation in the Great Plains of Alberta and Saskatchewan, 1914-1939. **Natural Hazards**, v. 45, n. 3, p. 391–411, 2008. MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. 2015.

MARQUES, A. R. et al. Governança da água no vale do Paraíba Paulista: rede de atores e sistemas socioecológicos. **Ambiente & Sociedade**, v. 23, 2020.

MATEWOS, T. The state of local adaptive capacity to climate change in drought-prone districts of rural Sidama, southern Ethiopia. **Climate Risk Management**, v. 27, n. September 2019.

MARTINS, A. M. Estudo de caso: uma estratégia de pesquisa. São Paulo: Atlas. 2008

MCGINNIS, M. D.; OSTROM, E. Social-ecological system framework: Initial changes and continuing challenges. **Ecology and Society**, v. 19, n. 2, 2014.

MCNEELEY, S. M.; BEETON, T. A.; OJIMA, D. S. Drought risk and adaptation in the interior United States: Understanding the importance of local context for resource management in times of drought. **Weather, Climate, and Society**, v. 8, n. 2, p. 147–161, 2016.

MESQUITA, P. DOS S. et al. The importance of programs for family farmers in drought periods and in face of the need to adapt to climate change in the Brazilian semiarid region. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, p. 599–618, 2020.

MILLY, Paul CD et al. Stationarity is dead: Whither water management? **Science**, v. 319, n. 5863, p. 573–574, 2008.

MINAYO, M. C. D. S.; ASSIS, S. G. DE; SOUZA, E. R. DE. **Avaliação por triangulação de métodos: abordagem de programas sociais**. Rio de Janeiro: 2005.

MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. A review of drought concepts. **Journal of Hydrology**, v. 391, n. 1–2, p. 202–216, 2010.

MINUCCI, G. Assessing adaptive capacity of water management organizations. The case study of the municipality of Tomave (Bolivia). **JOURNAL OF RISK RESEARCH**, v. 19, n. 7, SI, p. 847–872, 2016.

MOORE, M. L. et al. Studying the complexity of change: Toward an analytical framework for understanding deliberate social-ecological transformations. **Ecology and Society**, v. 19, n. 4, 2014.

MOHMMED, A. et al. Assessing drought vulnerability and adaptation among farmers in Gadaref region, Eastern Sudan. **Land Use Policy**, v. 70, n. May 2017, p. 402–413, 2018.

MORRISON, Tiffany H. et al. The black box of power in polycentric environmental governance. **Global Environmental Change**, v. 57, p. 101934, 2019.

MORTIMORE, M. Adapting to drought in the Sahel: Lessons for climate change. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 1, n. 1, p. 134–143, 2010.

MUYLAERT, S. (2018) Planos de Bacia na prática: uma análise do planejamento dos recursos hídricos no Estado do Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado). Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências. Rio de Janeiro, 127 p.

MWANGI, M. Diverse drought spatiotemporal trends, diverse etic-emic perceptions and knowledge: Implications for adaptive capacity and resource management for indigenous Maasai-pastoralism in the rangelands of Kenya. *Climate*, v. 4, n. 2, 2016.

MWANGI, M. In pursuit of livelihood sustainability and drought resilience: The human dimension of drought-adaptation in the Maasai pastoralists coupled socio-ecological systems across Kajiado County, Kenya. **Environmental and Socio-Economic Studies**, v. 7, n. 1, p. 1–11, 2019.

NANFUKA, S.; MFITUMUKIZA, D.; EGERU, A. Characterization of ecosystem-based adaptations to drought in the central cattle corridor of Uganda. **African Journal of Range and Forage Science**, v. 37, n. 4, p. 257–267, 2020.

NICOLLIER, V.; KIPERSTOK, A.; BERNARDES, M. E. C. A governança das águas no Brasil: qual o papel dos municípios? **Estudos Avancados**, v. 37, n. 109, p. 279–301, 2023.

NOVALIA, W.; MALEKPOUR, S. Theorising the role of crisis for transformative adaptation. **Environmental Science and Policy**, v. 112, n. July, p. 361–370, 2020.

NOBRE, C. A. et al. Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015. **Journal of Water Resource and Protection**, v. 8, p. 252–262, 2016.

OECD. Water Resources Governance in Brazil. Paris: OECD Publishing, 2015.

OMM. Apresenta informações sobre seca. <https://wmo.int/about-us/world-meteorological-day/wmd-2020/drought>. Acessado em 10, mar. 2025.

OPIYO, F. et al. Drought Adaptation and Coping Strategies Among the Turkana Pastoralists of Northern Kenya. **International Journal of Disaster Risk Science**, v. 6, n. 3, p. 295–309, 2015.

OSTROM, E. A diagnostic approach for going beyond panaceas. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 39, p. 15181–15187, 2007.

OSTROM, Elinor. A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. **Science**, v. 325, n. 5939, p. 419-422, 24 jul. 2009.

OTTONI. A necessidade do saneamento sustentável e integrado para o estado do Rio de Janeiro. **Revista do Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro**. v. 3 n. 2 2022.

PAHL-WOSTL, C. Transitions towards adaptive management of water facing climate and global change. **Water Resource Management**, v. 21, p. 49–62, 2007.

PAHL-WOSTL, C. 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.

PAHL-WOSTL, C. et al. Analyzing complex water governance regimes: The Management and Transition Framework. **Environmental Science and Policy**, v. 13, n. 7, p. 571–581, 2010.

PAHL-WOSTL, C., KRANZ, N. “Water Governance in Times of Change.” **Environmental Science & Policy** 13 (7): 567–70, 2010.

PAHL-WOSTL, C. et al. From applying panaceas to mastering complexity: Toward adaptive water governance in river basins. **Environmental Science and Policy**, v. 23, p. 24–34, 2012.

PAHL-WOSTL, C. Water governance: concepts, methods, and practice. Suíça: Springer, 2015.

PAHL-WOSTL, C.; PATTERSON, J. Commentary: Transformative Change in Governance Systems. A conceptual framework for analysing adaptive capacity and multi-level learning processes in resource governance regimes. **Global Environmental Change**, v. 71, 2021.

PAK-UTHAI, S.; FAYSSE, N. The risk of second-best adaptive measures: Farmers facing drought in Thailand. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 28, n. February, p. 711–719, 2018.

PANDA, A. Exploring climate change perceptions, rainfall trends and perceived barriers to adaptation in a drought affected region in India. **Natural Hazards**, v. 84, n. 2, p. 777–796, 2016.

PESSÔA, V.L.S., e RAMIRES, J.C.L. Amostragem em pesquisa qualitativa: subsídios para a pesquisa geográfica. *In: Pesquisa qualitativa em geografia: reflexões teórico-conceituais e aplicadas* [online]. Rio de Janeiro: EDUERJ, 2013, 540 p. ISBN 978-85-7511-443-8. <https://doi.org/10.7476/9788575114438>.

PEDRO-MONZONÍS, M. et al. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. **Journal of Hydrology**, v. 527, p. 482–493, 2015.

PHUONG, L. T. H.; BIESBROEK, G. R.; WALSH, A. E. J. The interplay between social learning and adaptive capacity in climate change adaptation: A systematic review. **NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences**, v. 82, n. May, p. 1–9, 2017.

PORTO M. F. A.; PORTO, R. L. Gestão de Bacias Hidrográficas. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008.

PRABHAKAR, S. V. R. K.; SHAW, R. Climate change adaptation implications for drought risk mitigation: A perspective for India. **Climatic Change**, v. 88, n. 2, p. 113–130, 2008.

PUGA, B. P. **Governança dos recursos hídricos e eventos climáticos extremos: a crise hídrica de São Paulo**. 2018. 210. Tese (Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Econômico) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

QUINTSLR, S.; PEREGRINA PUGA, B.; OCTAVIANTI, T. Mobilization of bias: learning from drought and flood crises in São Paulo, Rio de Janeiro and Jakarta. **Water International**, v. 46, n. 6, p. 861–882, 2021.

RIO, G. P. DO. **Bacia do Paraíba do Sul: a tomada de uma crise de abastecimento de água**. XVII ENANPUR. Anais...2017.

ROSENBLOOM, D.; MEADOWCROFT, J.; CASHORE, B. Stability and climate policy? Harnessing insights on path dependence, policy feedback, and transition pathways. **Energy Research and Social Science**, v. 50, p. 168–178, 1 abr. 2019.

SALAM, R. et al. Nexus between vulnerability and adaptive capacity of drought-prone rural households in northern Bangladesh. **Natural Hazards**, v. 106, n. 1, p. 509–527, 2021.

SALMORAL, G.; ABABIO, B.; HOLMAN, I. P. Drought impacts, coping responses and adaptation increase drought resilience. **Land**, v. 9, p. 23–67, 2020.

SAM, A. S. et al. Climate change, drought and rural communities: Understanding people's perceptions and adaptations in rural eastern India. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 44, n. July 2020.

SAM, A. S. et al. Linking Food Security with Household's Adaptive Capacity and Drought Risk: Implications for Sustainable Rural Development. **Social Indicators Research**, v. 142, n. 1, p. 363–385, 2019.

SANTOS, Flávio Augusto Monteiro dos. Programa Piloto de Pagamento por Serviços Ambientais com foco em recursos hídricos do Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul: impacto, dimensões e perspectivas. 2020. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

SAPOUNTZAKI, K.; DASKALAKIS, I. Expansionary Adaptive Transformations of Socio-Hydrological Systems (SHSs): The Case of Drought in Messara Plain, Crete, Greece. **Environmental Management**, v. 61, n. 5, p. 819–833, 2018.

SAVARI, M.; SHOKATI AMGHANI, M. Factors influencing farmers' adaptation strategies in confronting the drought in Iran. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, n. 4, p. 4949–4972, 2021.

SAYERS, P. B. et al. Strategic drought risk management: eight 'golden rules' to guide a sound approach. **Intl. J. River Basin Management**, v. 15, n. 2, p. 239–255, 2017.

SCHREIER, Margrit. **Qualitative content analysis in practice**. London: SAGE Publications, 2012.

SCOTT, C. A. et al. Americas Water Security and Adaptive Management in the Arid Americas. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 103, n. 2, p. 280–289, 2013.

SEGNESTAM, L. Gendered experiences of adaptation to drought: Patterns of change in El Sauce, Nicaragua. **Latin American Research Review**, v. 52, n. 5, p. 807–823, 2017.

SHABANALI FAMI, H.; AZIZI, S.; ALAMBEIGI, A. Clarifying the role of drought adaptation strategies on changing farming mode by livestock farmers: Evidence from Komijan Township, Iran. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 22, n. 2, p. 333–346, 2020.

SHARIATZADEH, M. et al. An adaptation capacity model in the face of climate change: A qualitative content analysis. **Journal of Arid Environments**, v. 185, 1 fev. 2021.

SHERREN, K.; FISCHER, J.; FAZEY, I. Managing the grazing landscape: Insights for agricultural adaptation from a mid-drought photo-elicitation study in the Australian sheep-wheat belt. **Agricultural Systems**, v. 106, n. 1, p. 72–83, 2012.

SIDERS, A. R. Adaptive capacity to climate change: A synthesis of concepts, methods, and findings in a fragmented field. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change**, v. 10, n. 3, p. 1–18, 2019.

SILVA, M. B. M.; RIBEIRO, M. M. R. Análise da governança da água por meio do arcabouço de robustez: o caso do Reservatório Epitácio Pessoa, PB. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, e20220023, 2023.

SIVAPALAN, M. et al. Socio-hydrology: Use-inspired water sustainability science for the Anthropocene. **Earth's Future**, v. 2, n. 4, p. 225–230, abr. 2014.

SIVAKUMAR, B. **Crise de l'eau: Du conflit à la coopération-un tour d'horizon. Hydrological Sciences Journal**, jun. 2011.

SMIT, B.; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, p. 282–292, 2006.

SORRENSEN, C. L. Adapting to drought and floods in the semi-arid landscape of Santa Cruz County, Arizona. **Geographical Bulletin - Gamma Theta Upsilon**, v. 47, n. 2, p. 101–118, 2005.

SOUZA FILHO, F.A.; ABICALIL, M.T.; OLIVEIRA, P.P. de F.; BRAGA, C.F.C. Gestão e abastecimento hídrico: planos de preparação para a seca, in: DE NYS, E.; ENGLE, N.L. e MAGALHÃES, A.R. (Orgs). Secas no Brasil: política e gestão proativas. Brasília: CGEE; BIRD. 2016.

SOUZA, F. A. A. et al. Droughts in São Paulo: challenges and lessons for a water-adaptive society. **Urban Water Journal**, v. 20, n. 10, p. 1682–1694, 2022.

SPINOLA, A. L. G. **Coalizões e preferências políticas na crise hídrica da Região Metropolitana de São Paulo: o paradigma da gestão da oferta**. 2018. Tese (Programa de Pós-graduação em Ciência Ambiental) - Instituto de Energia e Ambiente, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

STRINGER, L. C. et al. Adaptations to climate change, drought and desertification: local insights to enhance policy in southern Africa. **Environmental Science and Policy**, v. 12, n. 7, p. 748–765, 2009.

SUN, Y. et al. Adapting to droughts in Yuanyang Terrace of SW China: Insight from disaster risk reduction. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 18, n. 6, p. 759–771, 2013.

TAYLOR, P. L.; SONNENFELD, D. A. Water Crises and Institutions: Inventing and Reinventing Governance in an Era of Uncertainty. **Society and Natural Resources**. abr. 2017.

TEIXEIRA, R. L. P.; PESSOA, Z. S.; DI GIULIO, G. M. **Mudanças Climáticas E Capacidade Adaptativa No Contexto Da Cidade Do Natal/Rn, Brasil**. GEOTemas. **Anais...**2020. Disponível em: <<http://periodicos.uern.br/index.php/geotemas>>

TRAN, D. D. et al. Livelihood vulnerability and adaptability of coastal communities to extreme drought and salinity intrusion in the Vietnamese Mekong Delta. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 57, n. July 2020, p. 102-183, 2021.

TRIMBLE, M. et al. How do basin committees deal with water crises? Reflections for adaptive water governance from South America. **ECOLOGY AND SOCIETY**, v. 27, n. 2, jun. 2022.

UN-WATER. **Water Security & the Global Water Agenda**: An UN-Water Analytical Brief. Canada: United Nations University, 2013.

VASCONCELOS, N.; JOHNSON, R.; RIBEIRO, N. Impactos da crise hídrica 2014-2016 sobre os usuários dos rios Paraíba do Sul e Guandu. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 16, n. 1, p. 14–14, 2019.

VAN DUINEN, R. et al. Coping with drought risk: empirical analysis of farmers' drought adaptation in the south-west Netherlands. **Regional Environmental Change**, v. 15, n. 6, p. 1081–1093, 2015.

VAN LOON, A. F. Hydrological drought explained. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 2, n. 4, p. 359–392, 2015.

VAN LOON, A. F. et al. Drought in the Anthropocene. **Nature Publishing Group**, v. 9, n. 2, p. 89–91, 2016.

VEYRET, Y.; RICHEMOND, N. M. Definições e vulnerabilidades do risco. *In*: VEYRET, Yvette (Org.). **Os riscos: o homem como agressor e vítima do meio ambiente**. Tradução: Dilson Ferreira. São Paulo: Contexto, 2007. 23-80.

VILLAMAYOR-TOMAS, S.; INIESTA-ARANDIA, I.; ROGGERO, M. Are generic and specific adaptation institutions always relevant? An archetype analysis of drought adaptation in Spanish irrigation systems. **Ecology and Society**, v. 25, n. 1, 2020.

WALKER, B. et al. Resilience, Adaptability and Transformability in Social – ecological Systems. **Ecology and Society**, v. 9, n. 2, 2004.

WANG, Z. et al. Empirical study on agricultural drought adaptation of typical rainfed areas in Shidian County, China. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 28, n. March, p. 394–403, 2018.

WARNER, B. P. et al. Smallholder Adaptation to Drought in Costa Rica's Crony Capitalist Rice Economy. **Development and Change**, v. 49, n. 6, p. 1392–1421, 2018.

WEF. The Global Risks Report 2020. Forum, T. W. E., Geneva, Switzerland.2020

WELSH, L. W. et al. Developing adaptive capacity to droughts: The rationality of locality. **Ecology and Society**, v. 18, n. 2, 2013.

WENS, M. et al. Simulating Small-Scale Agricultural Adaptation Decisions in Response to Drought Risk: An Empirical Agent-Based Model for Semi-Arid Kenya. **Frontiers in Water**, v. 2, n. July, p. 1–21, 2020.

WILHITE, D.A. The Enigma of Drought. *In*: Wilhite, D.A. (eds). **Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies**. Natural Resource Management and Policy, vol 2. Boston: Springer, 1993.

WILHITE, D. A.; SVOBODA, M. D.; HAYES, M. J. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. **Water Resources Management**, v. 21, n. 5, p. 763–774, 2007.

WILLIGES, K. et al. Towards an assessment of adaptive capacity of the European agricultural sector to droughts. **Climate Services**, v. 7, p. 47–63, 2017.

WITTRICK, V.; KULSHRESHTHA, S. N.; WHEATON, E. Canadian prairie rural communities: Their vulnerabilities and adaptive capacities to drought. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 16, n. 3, p. 267–290, 2011.

WORKU, H. Integrating climate change adaptation strategies in urban planning and landscape design of Addis Ababa City, Ethiopia: Using urban planning and landscape design to mitigate flooding, drought, and urban heat island effects. **Environmental Quality Management**, v. 27, n. 1, p. 5–21, 2017.

WREFORD, A.; NEIL ADGER, W. Adaptation in agriculture: Historic effects of heat waves and droughts on UK agriculture. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 278–289, 2010.

YANG, J. et al. Drought adaptation in the Ningxia Hui Autonomous Region, China: Actions, planning, pathways and barriers. **Sustainability (Switzerland)**, v. 7, n. 11, p. 15029–15056, 2015.

YILA, J. O.; RESURRECCION, B. P. Gender perspectives on agricultural adaptation to climate change in drought-prone Nguru Local Government Area in the semiarid zone of northeastern Nigeria. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 6, n. 3, p. 250–271, 2014.

YIN, Robert K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2005. 212 p. ISBN: 8536304626.

YUNG, L. et al. Drought adaptation and climate change beliefs among working ranchers in Montana. **Weather, Climate, and Society**, v. 7, n. 4, p. 281–293, 2015.

ZHANG, C.; LI, W.; FAN, M. Adaptation of herders to droughts and privatization of rangeland-use rights in the arid Alxa Left Banner of Inner Mongolia. **Journal of Environmental Management**, v. 126, p. 182–190, 2013.

ZOBEIDI, T. et al. Factors affecting smallholder farmers' technical and non-technical adaptation responses to drought in Iran. **Journal of Environmental Management**, v. 298, n. August, 2021.

ZUFFO, Antonio Carlos; ZUFFO, Monica Soares Resio. **Gerenciamento de recursos hídricos**: conceituação e contextualização. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2016. 455 p. ISBN 9788535277036.

**APÊNDICE** – Lista de entrevistados

Tipo de Ator	Número de entrevistados
Órgãos gestores (federal e estaduais)	4
Órgão de bacia (Comitês e Agências)	3
Usuários	3