

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

 NA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS



Série
Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos

  
Gestão Educação Diversidade

Surgência de águas subterrâneas no Parque Estadual do Jalapão - TO. Aquífero Uruçuia.



República Federativa do Brasil

Jair Bolsonaro

Presidente da República

Ministério do Desenvolvimento Regional

Daniel Ferreira

Ministro

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

Diretoria Colegiada

Veronica Sánchez da Cruz Rios (Diretora-Presidente)

Vitor Saback

Maurício Abijaodi

Ana Carolina Argolo

Filipe de Mello Sampaio Cunha

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

**NA POLÍTICA NACIONAL
DE RECURSOS HÍDRICOS**

————— **Série** —————
**Capacitação em Gestão
de Recursos Hídricos**
————— **Volume 5** —————

Brasília - DF

ANA

2022

© 2022, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

Setor Policial, Área 5, Quadra 3, Edifício Sede, Bloco M
CEP: 70.610-200 – Brasília/DF
Telefone: (61) 2109-5400 / 5252
Endereço eletrônico: <https://www.gov.br/ana/pt-br>

Comitê de Editoração

Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho (coordenador)
Flávio Hadler Tröger
Humberto Cardoso Gonçalves
Rogério de Abreu Menescal (secretário-executivo)

Equipe editorial

Adriana Niemeyer Pires Ferreira
Fabrício Bueno da Fonseca Cardoso
Fernando Roberto de Oliveira
Henrique Pinheiro Veiga
Letícia Lemos Moraes
Márcia Teresa Pantoja Gaspar
Didier Gastmans
Dora Atman
Roberto Eduardo Kirchheim
Thiago Gil Barreto Barros
Vagney Aparecido Augusto

Organização

Pilar Carolina Villar

Autores

Pilar Carolina Villar
Ricardo Hirata
José Luiz Albuquerque
Ana Maciel de Carvalho

Projeto gráfico e editoração

Guilherme Resende

Supervisão editorial

Jorge Thierry Calasans
Renata Rozendo Maranhão
Vivyanne Graça de Melo

Disponível também

em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>

Agradecimentos

Agustin Justo Trigo
Flávia Simões Ferreira Rodrigues
Jorge Thierry Calasans
José Carlos de Queiróz
Luis Gustavo Mello
Osman Fernandes da Silva
Renata Rozendo Maranhão
Volney Zanardi Júnior
Wagner Villela

Todos os direitos reservados.

É permitida a reprodução de dados e informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Esta publicação tem a cooperação da UNESCO no âmbito do Projeto 586RLA2001 “Cooperação Sul-Sul para o fortalecimento da gestão integrada e do uso sustentável dos recursos hídricos no contexto dos países da América Latina e Caribe e da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP)”, o qual tem o objetivo de Contribuir com o fortalecimento da gestão integrada e do uso sustentável dos recursos hídricos nos países da América Latina e Caribe e da Comunidade dos Países de Língua Portuguesa (CPLP).

As indicações de nomes e a apresentação do material ao longo deste livro não implicam a manifestação de qualquer opinião por parte da UNESCO a respeito da condição jurídica de qualquer país, território, cidade, região ou de suas autoridades, tampouco da delimitação de suas fronteiras ou limites.

As ideias e opiniões expressas nesta publicação são as dos autores e não refletem obrigatoriamente as da UNESCO nem comprometem a Organização.

Catálogo na fonte: CEDOC/Biblioteca

A265a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil).

As Águas subterrâneas na política nacional de recursos hídricos / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico / Pilar Carolina Villar ; Ricardo Hirata ; José Luiz Albuquerque ; Ana Maciel de Carvalho. – Brasília : ANA, 2022.

220 p. : il. (Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos ; v. 5)

ISBN: 978-65-88101-26-1 (Digital)

ISBN: 978-65-88101-29-2 (Impresso)

1. Águas subterrâneas – gestão. 2. Águas subterrâneas - qualidade. 3. Aquíferos transfronteiriços. 4. Direito de uso. 5. Governança na gestão de aquíferos. I. Título.

CDU 556.388(81)

Elaborada por Marcelo Santana Costa – CRB-1/1849

FIGURA 1 - CICLO DA ÁGUA	25
FIGURA 2 - VOLUME DE ÁGUA E MÉDIA ANUAL DOS FLUXOS NO CICLO HIDROLÓGICO	26
FIGURA 3 - PRINCIPAIS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS PRESTADOS PELAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	31
FIGURA 4 - SISTEMAS AQUÍFEROS BRASILEIROS AFLORANTES	36
FIGURA 5 - PERFIL DOS USUÁRIOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL	39
FIGURA 6 - DISTRIBUIÇÃO DE MUNICÍPIOS BRASILEIROS (TOTAL E POR TAMANHO DE POPULAÇÃO), DE ACORDO COM O TIPO DE FONTE DE ABASTECIMENTO	40
FIGURA 7 - DISTRIBUIÇÃO DOS AQUÍFEROS FRATURADOS, SEDIMENTARES E CÁRSTICOS NO BRASIL	47
FIGURA 8 - FUNCIONAMENTO DE UM AQUÍFERO	48
FIGURA 9 - O ARCABOUÇO GEOLÓGICO COMO ELEMENTO-BASE DE DEFINIÇÃO DO TERRITÓRIO DA BACIA E DO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA	52
FIGURA 10 - (A) MODELO CONCEITUAL PARA RIOS EFLUENTES; (B) MODELO CONCEITUAL PARA RIOS INFLUENTES; (C) MODELO CONCEITUAL PARA RIOS INFLUENTES; (D) MODELO CONCEITUAL DE FLUXO DIRETO	55
FIGURA 11 - FUNDAMENTOS, OBJETIVOS, DIRETRIZES, INSTRUMENTOS DE GESTÃO E A ARQUITETURA INSTITUCIONAL DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS	80
FIGURA 12 - MATRIZ E FUNCIONAMENTO DO SINGREH	83
FIGURA 13 - AGENDA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DA ANA	90
FIGURA 14 - INSTRUMENTOS DIRETOS E INDIRETOS DE GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	96
FIGURA 15 - MAPA DAS CONCESSÕES DE LAVRA DE ÁGUAS MINERAIS E POTÁVEIS DE MESA DO TERRITÓRIO BRASILEIRO	102

FIGURA 16 – POLÍTICAS PÚBLICAS, TIPOS DE PLANOS, ÂMBITOS GEOGRÁFICOS E ENTIDADES COORDENADORAS NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL	114
FIGURA 17 – DIRETRIZES PARA ELABORAÇÃO DE PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	120
FIGURA 18 – AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NOS PLANOS DE BACIA, COM BASE NAS RESOLUÇÕES CNRH	121
FIGURA 19 – CONCEITO DE PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS	124
FIGURA 20 – ETAPAS DO PROCEDIMENTO DE ENQUADRAMENTO DOS CORPOS DE ÁGUA SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEOS, DEFINIDAS PELA RESOLUÇÃO Nº 91/2008	129
FIGURA 21 – ESTUDOS HIDROGEOLÓGICOS E OUTORGA DE DIREITO DE USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	133
FIGURA 22 – COBRANÇA PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL – COMITÊS HÍDRICOS ESTADUAIS	139
FIGURA 23 – OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL (ODS)	159
FIGURA 24 – SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO COM A SEQUÊNCIA DE SISTEMAS AQUÍFEROS	167
FIGURA 25 – AQUÍFEROS TRANSFRONTEIRIÇOS NO TERRITÓRIO BRASILEIRO	169
FIGURA 26 – O SISTEMA AQUÍFERO GUARANI E SUAS ZONAS DE GESTÃO	171

QUADRO 1 – PRINCIPAIS RESOLUÇÕES EDITADAS PELO CNRH RELACIONADAS DIRETAMENTE ÀS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	87
QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS MINERAIS, DE ACORDO COM SUAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS	103
QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO DAS FONTES MINERAIS QUANTO AOS GASES E TEMPERATURA	105
QUADRO 4 – CLASSES PARA ENQUADRAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, SEGUNDO USOS PREPONDERANTES	126
QUADRO 5 – PADRÕES PARA O ENQUADRAMENTO DE CLASSE DA ÁGUA SUBTERRÂNEA	127
QUADRO 6 – POR QUE TEMOS TANTOS POÇOS IRREGULARES E COMO MUDAR ESSA SITUAÇÃO?	137
QUADRO 7 – PRINCIPAIS DISTINÇÕES ENTRE AS ÁGUAS SUPERFICIAIS E SUBTERRÂNEAS	183

ABAS	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
ANA	AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO
ANM	AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO
ANVISA	AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA
APA	ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUIFEROS
BDNAC	BANCO DE DADOS NACIONAL SOBRE ÁREAS CONTAMINADAS
CAF	BANCO DE DESENVOLVIMENTO DA AMÉRICA LATINA
CBH	COMITÊ DE BACIAS HIDROGRÁFICAS
CEREGAS	CENTRO REGIONAL PARA A GESTÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
CERH	CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CNARH	CADASTRO NACIONAL DE USUÁRIOS DE RECURSOS HÍDRICOS
CNRH	CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
CONAMA	CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
CPRM	COMPANHIA PESQUISA RECURSOS MINERAIS
CS	COEFICIENTE DE SUSTENTABILIDADE
DNPM	DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL
FAO	<i>FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS</i>
GAC	GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS
GEF	FUNDO GLOBAL PARA O MEIO AMBIENTE
GIRH	GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS
GWP	<i>GLOBAL WATER PARTNERSHIP</i>

IBGE	INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
IWRM	INTEGRATED WATER RESOURCES MANAGEMENT
LC	LEI COMPLEMENTAR
LEBAC	LABORATÓRIO DE ESTUDOS DE BACIAS
LQP	LIMITE DE QUANTIFICAÇÃO PRATICÁVEL
MDR	MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL
MMA	MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
MME	MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA
ODM	OBJETIVOS DE DESENVOLVIMENTO DO MILÊNIO
ODS	OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
OEA	ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS
PAB	PROGRAMA ÁGUA BOA
PAD	PROGRAMA ÁGUA DOCE
PEC	PROJETO DE EMENDA À CONSTITUIÇÃO
PEI	PLANOS DE IRRIGAÇÃO
PERH	PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS
PNAS	PROGRAMA NACIONAL DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
PNRH	POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS
PPA	PLANO PLURIANUAL
PPP	PERÍMETRO DE PROTEÇÃO DE POÇOS
PRA	PROGRAMA ESTADUAL DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL
PSA	PAGAMENTOS POR SERVIÇOS AMBIENTAIS
PSAG	PROJETO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI
PUB	PREÇO UNITÁRIO BÁSICO
RHN	REDE HIDROMETEOROLÓGICA NACIONAL
RIMAS	REDE INTEGRADA DE MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
RM	REGIÕES METROPOLITANAS
RNQA	REDE NACIONAL DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DAS ÁGUAS
RPD	RECARGA POTENCIAL DIRETA
RPE	RESERVA POTENCIAL EXPLOTÁVEL
SAG	SISTEMA AQUÍFERO GUARANI
SE	SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS
SGB	SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL
SIAGAS	SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS
SINGREH	SISTEMA NACIONAL DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS
SINIMA	SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE MEIO AMBIENTE
SISNAMA	SISTEMA NACIONAL DE MEIO AMBIENTE
SNIRH	SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS
SNIS	SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES DE SANEAMENTO
SNSH	SECRETARIA NACIONAL DE SEGURANÇA HÍDRICA
SRHU	SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E AMBIENTE URBANO
STJ	SUPERIOR TRIBUNAL DE JUSTIÇA
UNESP	UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
VI	VALOR DE INVESTIGAÇÃO
VMP	VALOR MÁXIMO PERMITIDO
VO	VALOR ORIENTADOR
VP	VALOR DE PREVENÇÃO
VRQ	VALOR DE REFERÊNCIA DE QUALIDADE
ZA	ZONEAMENTO AGROECOLÓGICO
ZC	ZONA DE CONTRIBUIÇÃO
ZEE	ZONEAMENTO ECONÔMICO ECOLÓGICO

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	11
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	17
2 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CICLO HIDROSSOCIAL	21
2.1 O CICLO HIDROLÓGICO E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	24
2.2 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E SEUS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS	31
2.3 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO BRASIL E SUA IMPORTÂNCIA SOCIOAMBIENTAL	35
2.3.1 O PERFIL DOS USUÁRIOS E SEU PAPEL NA SEGURANÇA HÍDRICA	38
2.3.2 AS VANTAGENS DO USO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	42
2.4 O QUE SÃO E COMO FUNCIONAM OS AQUÍFEROS	43
2.5 AS AMEAÇAS AOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS BRASILEIROS	58
2.5.1 SUPEREXPLORAÇÃO DE AQUÍFEROS	58
2.5.2 REDUÇÃO DA RECARGA DOS AQUÍFEROS DEVIDO À ALTERAÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	62
2.5.3 CONTAMINAÇÃO DE SOLO E DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	63
3 A CONSTRUÇÃO DA GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	67
3.1 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA CONSTITUIÇÃO FEDERAL DE 1988	75
3.2 A POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS: NOVA FORMA DE GERIR AS ÁGUAS	79
3.3 O ARRANJO INSTITUCIONAL À PROTEÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: O SINGREH	82
3.3.1 O MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR)	85
3.3.2 O CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH)	86
3.3.3 A ATUAÇÃO DA ANA NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS	89
3.3.4 COMITÊS DE BACIA HIDROGRÁFICA E INCLUSÃO DOS AQUÍFEROS NA GESTÃO	92
3.4 OS ESTADOS E A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	95



3.5 MUNICÍPIOS E SEU PAPEL NA GESTÃO DOS AQUÍFEROS	97
3.6 OS USUÁRIOS DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA GESTÃO DESSAS ÁGUAS	97
3.7 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E ÁGUAS MINERAIS DO BRASIL	101
4 A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: DA TEORIA À PRÁTICA	111
4.1 PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS	113
4.1.1 PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (PNRH)	115
4.1.2 PLANOS ESTADUAIS DE RECURSOS HÍDRICOS (PERHS)	117
4.1.3 PLANOS DE RECURSOS HÍDRICOS DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	118
4.2 INSTRUMENTOS DE GESTÃO ESPECÍFICOS PARA AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	122
4.2.1 ÁREAS DE PROTEÇÃO DE AQUÍFEROS (APA)	122
4.2.2 ÁREAS DE RESTRIÇÃO E CONTROLE DE USO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	123
4.2.3 PERÍMETROS DE PROTEÇÃO DE POÇOS (PPP)	123
4.3 ENQUADRAMENTO DE CORPOS DE ÁGUA SUBTERRÂNEA, CONFORME USOS PREPONDERANTES	125
4.4 OUTORGA DE DIREITO DE USO DE RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	130
4.5 COBRANÇA PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS: MEIOS PARA PROMOÇÃO DA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	137
4.6 OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	140
4.6.1 SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS (SNIRH)	141
4.6.2 CADASTRO NACIONAL DE USUÁRIOS DE RECURSOS HÍDRICOS (CNARH)	141
4.6.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (SIAGAS)	142
4.7 OUTROS INSTRUMENTOS QUE CONTRIBUEM PARA A GOVERNANÇA DAS ÁGUAS	143

5 A GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E O FORTALECIMENTO DA GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS	147
5.1 ESTRATÉGIAS DE PROTEÇÃO DA QUANTIDADE E A SUPEREXPLOTAÇÃO DE AQUÍFEROS	149
5.1.1 RECARGA ARTIFICIAL E MANUTENÇÃO DOS AQUÍFEROS	151
5.2 ESTRATÉGIAS PARA A PROTEÇÃO DA QUALIDADE DOS AQUÍFEROS	152
5.2.1 GERENCIAMENTO DE ÁREAS CONTAMINADAS E AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	154
5.3 GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COMO MEIO DE GARANTIR O DESENVOLVIMENTO SOCIOECONÔMICO	158
5.3.1 A NECESSIDADE DE CONHECER O PAPEL SOCIOECONÔMICO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	161
5.4 INTEGRANDO A SOCIEDADE NA GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: A IMPORTÂNCIA DA PARTICIPAÇÃO SOCIAL	163
5.5 COOPERAÇÃO ENTRE OS DIVERSOS ENTES ADMINISTRATIVOS E O ENFOQUE NA GESTÃO LOCAL DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	165
5.5.1 AQUÍFEROS TRANSFRONTEIRIÇOS E INTERESTADUAIS: O CASO DO AQUÍFERO GUARANI	168
5.6 O MONITORAMENTO DOS RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS	175
6 APRENDIZAGENS E DESAFIOS	183
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	195
REFERÊNCIAS	197

APRESENTAÇÃO

A gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas é prevista pela Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecida pela Lei nº 9.433/1997, e é um elemento fundamental para garantir a segurança hídrica do Brasil. Apesar de sua invisibilidade natural e social, essas águas são indispensáveis para a manutenção do fluxo dos rios e de diversos ecossistemas, além de garantir o abastecimento de água de vários usos da água, como o abastecimento de populações vulneráveis sem acesso à rede de água encanada. Nesse contexto os integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) vêm atuando para superar os desafios no sentido da gestão integrada dos recursos hídricos.

Dada a importância do tema, a Organização das Nações Unidas (ONU) definiu o tema *Águas Subterrâneas – Tornar Visível o Invisível* para o Dia Mundial da Água de 2022. O propósito dessa escolha foi explicar o papel vital das águas subterrâneas nos sistemas de água e saneamento, agricultura, indústria, ecossistemas e adaptação às mudanças climáticas.

Ciente da relevância do tema das águas subterrâneas e em sintonia com os debates nacionais e internacionais sobre recursos hídricos, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) tem produzido estudos e projetos para difundir um melhor conhecimento e monitoramento de aquíferos brasileiros.

A ANA também tem atendido uma demanda crescente por capacitação sobre esse assunto e, para tanto, vem produzindo materiais didáticos, como: a publicação *Governança das Águas Subterrâneas: Desafios e Caminhos*, assim como este caderno de capacitação com o tema *As Águas Subterrâneas na Política Nacional de Recursos Hídricos* – publicação viabilizada pela parceira da ANA com a Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) e a Agência Brasileira de Cooperação (ABC).

O Caderno de Capacitação *As Águas Subterrâneas na Política Nacional de Recursos Hídricos* foi coordenado por uma das pioneiras no estudo da legislação sobre águas subterrâneas no Brasil, a professora Pilar Carolina Villar, da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp). Também contribuíram para a publicação o professor Ricardo Hirata, do Centro de Pesquisas de Água Subterrânea da Universidade de São Paulo (CEPAS/USP) e dois pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), José Luiz Albuquerque e Ana Maciel de Carvalho.

Em virtude da qualidade técnica deste caderno de capacitação e da atualidade do tema das águas subterrâneas, esta publicação terá, ainda, versões em inglês e espanhol para que as informações contidas na publicação alcancem um público cada vez mais amplo.

Boa leitura!

Diretoria Colegiada da ANA

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) tem como uma de suas atribuições contribuir com a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e apoiar as iniciativas voltadas à criação, à manutenção e ao fortalecimento do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh).

Esse fortalecimento busca contribuir com a descentralização e a participação social na gestão de recursos hídricos, permitindo assim um espaço público para a negociação sobre o uso da água, construção de pactos e o engajamento das partes interessadas na proteção, recuperação e gestão dos recursos hídricos.

Diante desse desafio, a ANA oferta uma agenda estruturada de ações de capacitação que contribuem com o fortalecimento dos diversos entes do Singreh, especialmente os Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos, os Órgãos Gestores Estaduais de Recursos Hídricos, os Comitês de Bacias Hidrográficas e a suas instituições de apoio, Entidades Delegatárias e Escritórios de Apoio.

Dando prosseguimento à sua desafiadora iniciativa de desenvolver processos continuados de educação e capacitação em recursos hídricos, a ANA apresenta a segunda edição da série “Cadernos de Capacitação” que abordará diversos aspectos relacionados aos temas relevantes da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Singreh.

Como novidade desta segunda edição, os cadernos trazem uma linha editorial e instrucional interativa, com links disponíveis para o aprofundamento dos conteúdos, favorecendo uma melhor gestão do conhecimento sobre os temas abordados. Além disso, o desenvolvimento dos cadernos teve como diretriz o uso dos princípios da linguagem simples, adaptada a todos os públicos.

Uma outra mudança foi o rearranjo temático dos Cadernos, buscando facilitar a organização da informação e do conhecimento. Os 8 cadernos¹ da primeira série foram reagrupados em 4 volumes. Apresentamos também um caderno novo sobre o tema das águas subterrâneas. A nova série compõe-se, portanto, por 5 volumes conforme a listagem a seguir:

¹ Comitê de bacia hidrográfica: o que é e o que faz? (volume 1); O Comitê de Bacia Hidrográfica: prática e procedimento (volume 2); Alternativas organizacionais para gestão de recursos hídricos (volume 3); Agência de Água – o que é, o que faz e como funciona (volume 4); Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água (volume 5); Outorga de direito de uso de recursos hídricos (volume 6); Cobrança pelo uso de recursos hídricos (volume 7); e Sistemas de informação na gestão de águas: conhecer para decidir (volume 8).

Caderno 1: Comitês de Bacias Hidrográficas: o que é e o que faz

Caderno 2: Arranjos Institucionais Complementares para a Gestão de Recursos Hídricos

Caderno 3: Agência de Água: o que é, o que faz e como funciona

Caderno 4: Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos

Caderno 5: As Águas Subterrâneas na Política Nacional de Recursos Hídricos

O Caderno 1 discorre sobre um dos entes do Singreh: o Comitê de Bacia Hidrográfica, tratando do contexto histórico da sua instituição, as atribuições e o seu funcionamento. São apresentados também a estrutura organizacional dos Comitês, o papel de cada um dos elementos componentes (Plenário, Diretoria, Secretaria, Câmaras Técnicas, Grupos de Trabalho etc.).

O segundo Caderno aborda os Arranjos Institucionais Complementares para a gestão de recursos hídricos. São apresentados exemplos exitosos de gestão de águas em escalas locais, passando por instâncias de gestão de reservatórios no Semiárido, de águas subterrâneas e de arranjos institucionais de gerenciamento de águas de bacias fronteiriças e transfronteiriças.

O terceiro Caderno se concentra em outro ente do Singreh: a Agência de Água ou Agência de Bacia. São apresentadas as competências, os pré-requisitos para a criação, os possíveis arranjos institucionais para a constituição, o contrato de gestão na política de recursos hídricos e demais temas afins. Nesse volume serão tratadas as Entidades Delegatárias.

O quarto Caderno aborda os Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos incluindo:

- i. o plano de recursos hídricos, instrumento essencial na implementação das políticas de águas. Será destacada a importância não apenas da elaboração dos planos, mas a de seu acompanhamento pelo Comitê de Bacia Hidrográfica. Além disso, caberá abordar os desafios da sua implementação, em que o exercício da governança entre os diversos atores envolvidos nesse processo é fundamental para o alcance da efetividade das metas previstas;

- ii. o enquadramento dos corpos d'água em classes segundo os usos preponderantes, aprofundando-se o conceito, sua aplicação e sobretudo os desafios da implementação desse instrumento;
- iii. a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Apresenta um breve histórico do instrumento, seus aspectos legais, a outorga para as diversas finalidades de uso, dentre outros. Além da outorga, apresenta também alguns aspectos da fiscalização e do cadastro de usuários de recursos hídricos;
- iv. a cobrança pelo uso de recursos hídricos – a importância do instrumento, passos para sua implementação, mecanismos e valores, além de experiências brasileiras na implementação da cobrança;
- v. o sistema de informações sobre recursos hídricos, instrumento relevante para o avanço da gestão da água, com destaque para o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

O quinto Caderno aborda o tema das águas subterrâneas correspondendo a mais um esforço de fomentar a reflexão sobre a gestão dos aquíferos, sintetizando o material produzido no livro Governança das águas subterrâneas: caminhos e desafios, com uma abordagem mais simples e direta. Seu principal objetivo é apresentar as águas subterrâneas à sociedade, identificando a sua importância e demonstrando a forma de promover a sua governança e sua gestão integrada.

Cabe destacar, que essa nova série “Cadernos de Capacitação” não se encerra nos 5 volumes supracitados. A série pretende incorporar outros temas considerados relevantes para a gestão de recursos hídricos a exemplo, do saneamento, segurança de barragens, fiscalização, dentre outros.

Esperamos com essas publicações estimular a pesquisa e a capacitação dos interessados na gestão de recursos hídricos, sobretudo aqueles integrantes do Singreh, fortalecendo assim todo o Sistema.

Boa leitura!

1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS



Foto: Ana Maciel/Banco de Imagens ANA
Zona de fraturas com presença de água em Couto de Magalhães de Minas-MG.

1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A gestão dos recursos hídricos estabelecida pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) tem como diretriz geral a gestão integrada das águas doces. Apesar dos desafios, gradualmente se percebe o esforço dos órgãos e entidades do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) em promover a gestão conjunta das águas superficiais e subterrâneas.

A inclusão das águas subterrâneas enfrenta múltiplos desafios, porém, é fundamental para garantir a segurança hídrica nacional. Apesar de sua invisibilidade natural e social, essas águas são indispensáveis para a manutenção do fluxo de base dos rios e de diversos ecossistemas, além de garantir o abastecimento de água de múltiplos tipos de usos, inclusive de populações vulneráveis, sem acesso à rede de água encanada.

A gestão integrada dos recursos hídricos exige um cenário de governança que permita a construção de um novo pacto, de forma a incluir atores públicos, privados e sociais. As águas subterrâneas ainda são pouco conhecidas por grande parte da população, seu uso é subestimado pelo Poder Público, a maioria dos usuários encontra-se em situação de irregularidade e os órgãos do Singreh priorizam a gestão das águas superficiais. Esse cenário prejudica a governança das águas subterrâneas e ameaça a disponibilidade hídrica nacional de um recurso que já é intensamente explorado e cuja demanda aumenta diante de sua qualidade natural e resiliência frente à recorrência de períodos prolongados de estiagem, os quais tendem a se intensificar com as mudanças climáticas.

Dessa forma, este Caderno de Capacitação corresponde a mais um esforço de fomentar a reflexão sobre a gestão dos aquíferos, sintetizando o material produzido no livro *Governança das águas subterrâneas: caminhos e desafios*, com uma abordagem mais simples e direta. Seu principal objetivo é apresentar as águas subterrâneas à sociedade, identificando a sua importância e demonstrando a forma de promover a sua governança e sua gestão integrada. Para isso, a estrutura deste Caderno se divide nos seguintes capítulos: i) **A água subterrânea no ciclo hidrossocial** – expõe a dinâmica das águas subterrâneas no ciclo hidrológico e o funcionamento dos aquíferos, bem como destaca a sua função ecossistêmica e as principais ameaças a esse recurso; ii) **A construção da governança e gestão das águas subterrâneas** – define os conceitos de governança, governabilidade e gestão, bem como apresenta os principais atores responsáveis pela inclusão das águas subterrâneas na política hídrica nacional; iii) **A gestão das águas subterrâneas: da teoria à prática** – apresenta os principais instrumentos de gestão de águas e como eles têm sido aplicados às águas subterrâneas; iv) **Governança das águas subterrâneas e o fortalecimento da gestão integrada dos recursos hídricos** – visa a apresentar as estratégias e os desafios que precisam ser enfrentados na busca pela governança e gestão integrada das águas subterrâneas; v) **Aprendizagens e desafios** – elenca as principais ações e desafios para construir uma agenda de gestão das águas subterrâneas; vi) **Considerações finais**; e vii) **Referências**.

A expectativa é que este texto contribua para que os diversos atores sociais possam entender a importância das águas subterrâneas e a forma como os instrumentos de gestão hídrica podem ser utilizados para fomentar a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas.

2

AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CICLO HIDROSSOCIAL



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA

2 AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO CICLO HIDROSSOCIAL

As ações humanas alteram a dinâmica natural dos elementos que compõem o ciclo hidrológico, modificando os padrões de disponibilidade hídrica e a sua distribuição territorial e temporal. Os seres humanos são agentes ativos nos processos desse ciclo, interferindo de forma a aumentar ou diminuir esses fluxos naturais na bacia ou fora dela (LINTON; BUDDS, 2014).

A circulação da água é influenciada pelas instituições, infraestruturas e práticas sociais dos políticos, cidadãos, empresários, usuários e consumidores. Dentro dessa ideia tem fortalecido o conceito de *ciclo hidrossocial da água*, que politiza a concepção biofísica dos processos do ciclo hidrológico. A água não se move apenas por meio da chuva, poros das rochas e massas de ar, mas por uma complexa rede de adutoras, encanamentos, poços, plantas de tratamento, cisternas, pivôs de irrigação, mangueiras de jardim, vazamentos, direitos jurídicos, padrões de qualidade, redes de transporte, mercados e consumidores (BUDDS; LINTON; McDONNELL, 2014).

Dessa forma, a disponibilidade hídrica é um dado natural, mas também social que exige as seguintes análises: a) quem e como são utilizadas as águas?; b) quem tem acesso ou controle sobre o recurso hídrico?; c) como a utilização da água influencia as relações de poder no campo e na sociedade?; d) como a sua presença ou ausência determina a conformação de uma sociedade?; e) como os fluxos financeiros interferem no fluxo hídrico independente do ciclo

hidrológico?; f) como a sociedade interfere nos elementos que compõem o ciclo hidrológico?; g) quais e quem são os beneficiados pelas infraestruturas hidráulicas? (LINTON; BUDDS, 2014).

Em relação às águas subterrâneas, essas representam a dimensão oculta do ciclo hidrológico e subestimada no ciclo hidrossocial. Surge, portanto, o desafio de compreender como se dá o seu movimento natural no meio subterrâneo e como elas se relacionam com os outros corpos hídricos e, também, como as ações humanas interferem nessa dinâmica natural e vice-versa. Para isso, as próximas seções explicam a dinâmica dessas águas no ciclo hidrológico, detalhando o funcionamento dos aquíferos e a sua importância socioambiental para a prestação de diversos serviços ecossistêmicos, incluindo o fornecimento de água para diversos tipos de usos.

2.1 O ciclo hidrológico e as águas subterrâneas

A água está sempre em movimento, circulando pelas superfícies (geleiras, *icebergs*, rios, lagos, mares etc.), pela atmosfera (nuvens) ou pelo subsolo (aquíferos, aquíferos). Esse movimento cíclico, denominado *ciclo hidrológico* ou *ciclo da água*, está relacionado às trocas de energia entre a atmosfera, oceano e continentes, sustentando o clima e grande parte de sua variabilidade natural (OKI; ENTEKHABI; HARROLD, 2004; COCKELL *et al.*, 2011). A luz solar (radiação) e o calor do interior da Terra (emitido por reações nucleares radioativas) são as fontes de energia que promovem a transformação dos estados da água (líquido, sólido e gasoso) e, conseqüentemente, a sua contínua movimentação no planeta.

As variações da incidência da radiação solar; as mudanças na composição da atmosfera e da água dos oceanos; os ventos e correntes oceânicas; o vulcanismo; o tipo, padrão e densidade da cobertura vegetal; as variações na distribuição espacial e no número de seres vivos; e os tipos de solo e

subsolo influenciam o funcionamento desse ciclo (COCKELL *et al.*, 2011; GROTZINGER; JORDAN, 2013).

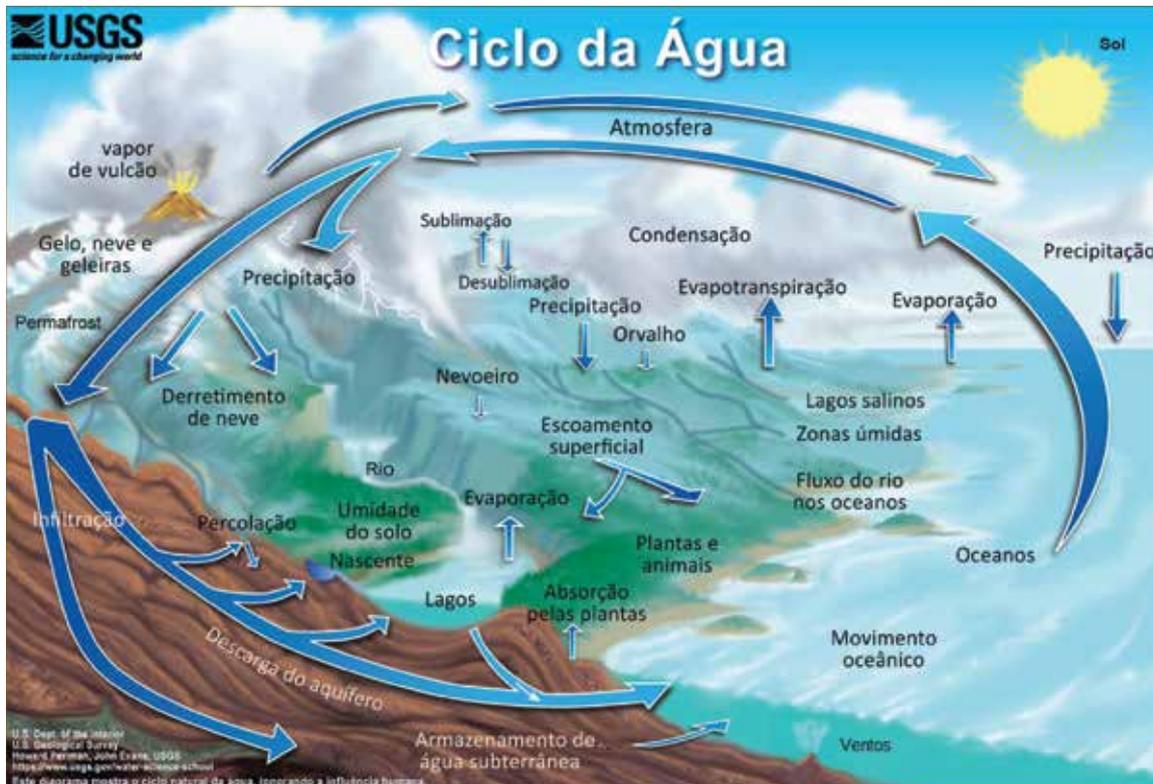
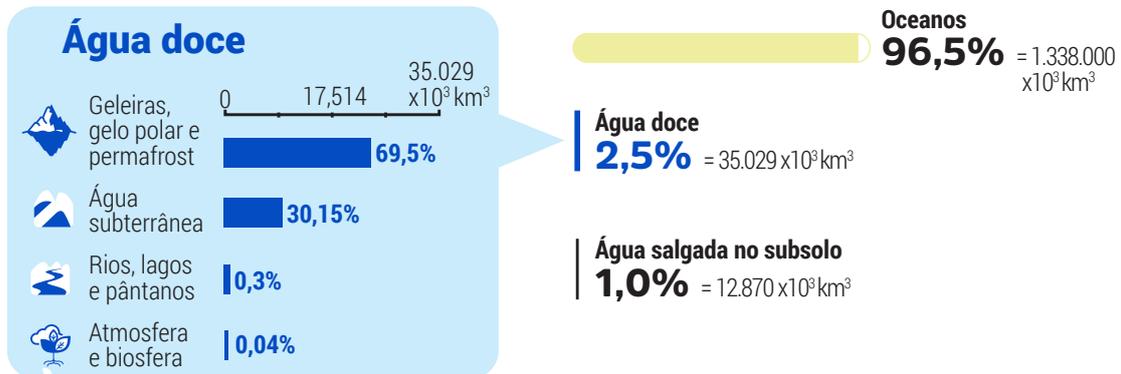


Figura 1 – Ciclo da água

Fonte: USGS (2019).

A quantidade de água no planeta é constante, entretanto, sua distribuição na natureza se dá de forma desigual e cíclica. Os maiores volumes se concentram nos oceanos, enquanto a água doce representa apenas 2,5% do total. A maioria dessa água doce (69,5%) se concentra nas geleiras, ou seja, não é disponível; ou no subsolo, na forma de água subterrânea (30%). Os corpos hídricos superficiais representam apenas 0,3% da água doce. A Figura 2 apresenta a distribuição desses volumes e a média anual dos fluxos no ciclo hidrológico global.



Média anual dos fluxos no ciclo hidrológico global, incertezas associadas, nos anos 2000 a 2010. Fonte: Rodell et al. (2015)

Figura 2 – Volume de água e média anual dos fluxos no ciclo hidrológico

Fonte: Shiklomanov e Rodda (2003); Rodell et al. (2015), adaptado por Dora Atman.

Estes dados demonstram que as águas subterrâneas são as principais fontes hídricas disponíveis à humanidade. Para compreender a dinâmica do ciclo hidrológico global é necessário entender a forma como se estruturam os principais processos que regulam a disponibilidade hídrica: i) evaporação; ii) evapotranspiração; iii) precipitação; iv) escoamento superficial; v) escoamento de base; e vi) infiltração. Esses processos formam as drenagens, que proporcionam a recarga, a descarga e a percolação. A seguir são descritas as definições de cada um desses termos.



- i. **Evaporação:** é um tipo de vaporização que ocorre na superfície de um líquido à medida que ele passa para a fase gasosa (vapor). Trata-se de um fenômeno físico de transferência de água e energia induzido por meio do fluxo de calor latente das superfícies d'água para a atmosfera.

- ii. **Evapotranspiração:** é a retirada de água da superfície para a atmosfera pela combinação de dois processos: a evaporação somada à transpiração vegetal. Por exemplo, a evapotranspiração da Floresta Amazônica impacta a disponibilidade hídrica de outras bacias e regiões brasileiras. Essa floresta lança na atmosfera “20 bilhões de toneladas de água por dia”, superando a vazão que o rio Amazonas despeja no mar (17 bilhões de toneladas). O corte da floresta diminui a evapotranspiração e, conseqüentemente, a condensação, revertendo os fluxos de umidade que vão da terra para o mar, gerando desertos e diminuindo as chuvas na região Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil (NOBRE, 2014, p. 13). Essas massas de ar úmido são chamadas de rios voadores, pois podem ser equiparadas a verdadeiros “cursos de água atmosféricos”.

- iii. **Precipitação:** é o processo de condensação do vapor d'água atmosférico que se aglutina e “precipita” ou cai sobre a superfície terrestre. A água adicionada à superfície da Terra a partir da atmosfera ocorre na forma líquida (chuva) ou sólida (neve ou gelo). A precipitação varia bastante no espaço geográfico e no tempo.

- iv. **Escoamento superficial:** é definido pelo fluxo de água que ocorre na superfície do solo quando este se encontra saturado de umidade ou impermeável. As águas oriundas de precipitações podem, sucessivamente, formar enxurradas, drenagens (córregos, riachos, rios), lagos etc. Esse escoamento pode ocorrer de forma difusa ou concentrada, e formar fluxos efêmeros ao longo dos vales. O escoamento superficial depende da intensidade das chuvas e das



características das superfícies (como declividade, topografia e tipo de cobertura vegetal).

- **Drenagem superficial:** representam os cursos e fluxos de água superficiais que formam os riachos, córregos, ribeirões e rios. Podem ter caráter intermitente (quando a água flui nos seus cursos nos períodos de chuvas e seca com a estiagem), ou perene (quando o fluxo de água permanece ao longo de todo o ano hidrológico e não seca). Os cursos d'água intermitentes são formados pelo escoamento superficial e subsuperficial da água das chuvas, enquanto os cursos perenes também recebem os fluxos subterrâneos de aquíferos.
- v. **Infiltração:** é a passagem de água da superfície para o interior do solo. A capacidade de infiltração de um terreno depende da sua topografia, cobertura vegetal, grau de umidade do solo, propriedades físico-químicas e intensidade e duração da chuva.
 - **Percolação:** processo pelo qual a água se desloca na vertical e descendente ao longo da zona não saturada (zona vadosa ou de aeração) após infiltrar nos solos e rochas. A **zona não saturada** é a porção da subsuperfície onde os espaços existentes entre as partículas dos solos e rochas são preenchidos por água e ar (umidade do solo). A percolação d'água no solo ocorre quando o seu volume infiltrado é suficiente para forçar o deslocamento descendente da água.
 - **Recarga:** quando a água ingressa na subsuperfície, ela se distribui nos vazios em duas zonas principais: **zona não**



saturada e zona saturada. A recarga ocorre quando a água que percola na zona não saturada desce e atinge a superfície do aquífero ou superfície freática (zona saturada em água). Na zona saturada, os espaços vazios estão totalmente preenchidos pela água. O limiar entre essas duas zonas é denominado de *superfície freática* ou nível de água subterrânea. Na base da zona não saturada existe uma região úmida denominada franja capilar. Essa região tem espessura variável e representa uma transição da zona não saturada para a zona saturada. Isso ocorre devido às forças capilares que ascendem a água do aquífero para os espaços vazios dos solos vizinhos que ficam acima. A recarga, portanto, ocorre quando a água que percola na zona não saturada atinge o topo do aquífero (zona saturada em água).

A infiltração, a percolação e a recarga são parcelas de água difíceis de serem contabilizadas. A infiltração tende a ser maior do que o volume percolado que, por sua vez, é maior do que o volume da recarga. Isso ocorre porque parte da água fica presa ou adsorvida nas partículas do solo ou rocha ao longo do trajeto, e parte é evaporada no processo. Se a zona saturada for muito profunda e as taxas de precipitação ou infiltração forem baixas, a infiltração e percolação podem ocorrer ao longo das camadas superficiais, mas a recarga será nula. Desse modo, os aquíferos não são abastecidos de forma homogênea, havendo áreas mais favoráveis ao processamento da recarga, o que pode ser alterado com as mudanças na ocupação do terreno. É importante que a gestão dos recursos hídricos leve em conta essa característica.

- **Descarga:** é o processo de saída de água dos aquíferos, onde a água subterrânea aflora e flui em superfície (locais



das nascentes) e, principalmente, ao longo de cursos d'água, como rios, lagos ou oceanos. A descarga subterrânea é a responsável pela perenização de rios e pela formação das nascentes..

- vi. Escoamento de base ou fluxo subterrâneo:** é o movimento da água ao longo da zona saturada. A água no solo e nas rochas saturadas flui através de espaços vazios, como os poros, as fraturas abertas e outros vazios deixados pela dissolução de minerais. Esses espaços precisam estar interconectados para que a água possa fluir. A força da gravidade e a pressão da coluna d'água geram o movimento da água subterrânea. Seu fluxo ocorre sempre na direção da maior para a menor carga hidráulica, que é a somatória da carga de elevação altimétrica mais a carga de pressão da coluna d'água em determinado ponto do reservatório subterrâneo. A carga hidráulica é medida por poços de monitoramento, cujos instrumentos distribuídos ao longo dos reservatórios subterrâneos, juntamente com o conhecimento do sistema hidrogeológico, permitem definir a direção do fluxo.

Ao contrário do imaginário popular, na maioria dos casos as águas subterrâneas não formam rios subterrâneos ou correntes de água¹, mas preenchem poros e fraturas de forma assemelhada a uma esponja, que absorve a água, e fluem lentamente. Além do seu papel no ciclo hidrológico, essas águas prestam uma série de serviços ecossistêmicos (MANOEL FILHO, 2008).

¹ Excepcionalmente, é possível encontrar algumas cavernas, condutos de lava e gelo ou nascentes horizontais que se assemelham a correntes de água.

2.2 As águas subterrâneas e seus serviços ecossistêmicos

As águas subterrâneas no ciclo hidrológico provêm diversos serviços ecossistêmicos, já que estão ligadas aos processos que regulam o volume, a distribuição e a qualidade da água disponível no planeta. O conceito de *Serviços Ecossistêmicos (SE)* foi introduzido por Ehrlich e Ehrlich (1981) e é definido como bens e benefícios proporcionados gratuitamente pelos ecossistemas aos seres humanos a fim de promover o seu bem-estar (BERGKAMP; CROSS, 2015). Sua premissa é que os sistemas naturais geram a base de suporte à vida no planeta. As águas subterrâneas sustentam os SE imprescindíveis à vida e bem-estar da população e dos ecossistemas (Figura 3).

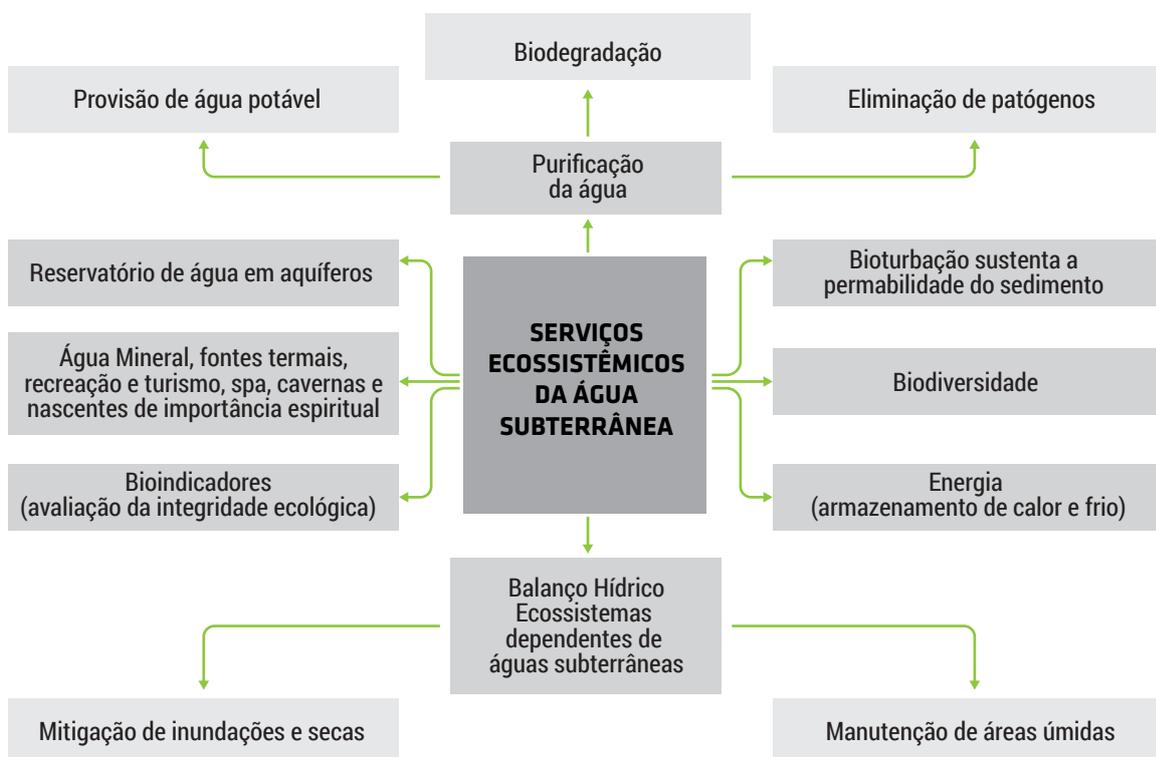


Figura 3 – Principais serviços ecossistêmicos prestados pelas águas subterrâneas

Fonte: Griebler e Avramov (2015, p. 356).



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA
Poço Azul na Chapada Diamantina - BA.

Percebe-se que a sua importância vai muito além do suprimento de água para os seres humanos. Dentre as suas múltiplas funções ecossistêmicas destacam-se as seguintes: a) armazenamento, regularização e perenização do ciclo hidrológico no planeta; b) tratamento do sistema solo-aquífero e qualidade das águas subterrâneas; e c) manutenção da vida e de ecossistemas e da estabilidade geológica.



a) Regularização e perenização do ciclo hidrológico no planeta

As águas subterrâneas funcionam como reservas de água para os rios e lagos, já que continuamente contribuem para a manutenção do fluxo superficial que sustenta grande parte dos cursos d'água. As taxas de descarga dos aquíferos são mais regulares do que a distribuição da precipitação, o que garante um fluxo mínimo constante aos cursos d'água em superfície, dando estabilidade aos sistemas hídricos. Desse modo, possuem função reguladora do ciclo hidrológico nas bacias hidrográficas e até na escala do planeta. No Brasil, mais de 90% das bacias hidrográficas têm rios alimentados pela descarga de água subterrânea (ANA, 2017a, p. 37) que os perenizam, mesmo naqueles onde há regimes climáticos com períodos secos. Esse serviço se estende aos lagos, pântanos e mangues.

b) Tratamento do sistema solo-aquífero e a excelente qualidade das águas subterrâneas

A água que percola até o aquífero passa por um processo semelhante a um filtro ao longo de sua trajetória subterrânea. Durante a infiltração e percolação nos solos, parte da água e das substâncias dissolvidas é absorvida pelas raízes das plantas e adsorvidas às partículas sólidas. A água, ao longo do ciclo hidrogeológico, ganha características químicas diferentes que variam conforme a proporção e o tipo dos sólidos dissolvidos. A quantidade de elementos químicos nas águas subterrâneas depende do clima nas áreas de recarga, das condições químicas da zona vadosa e da geologia do sistema de águas subterrâneas através do qual ela flui. A interação da água com as partículas dos solos e rochas normalmente permite seu enriquecimento graças à dissolução dos minerais, cujo processo tende a aumentar com o tempo de interação entre água-rocha e a reatividade do próprio material sólido. Em muitos casos, o resultado dessa trajetória até os pontos de descarga são águas de excelente qualidade e ricas em sais minerais. Em alguns casos, contudo, a dissolução desses minerais pode gerar problemas de qualidade na água, incluindo anomalias naturais que podem comprometer a sua potabilidade.

c) Mantenedora da vida e de ecossistemas, e da estabilidade geológica

O aporte de água dos aquíferos é fundamental para a manutenção dos ecossistemas, sobretudo nas áreas em que há interação entre as águas subterrâneas e superficiais. As descargas de água subterrânea nos corpos hídricos superficiais contribuem para a manutenção dos fluxos hídricos superficiais, a regulação da temperatura da água, a troca de nutrientes e de outros parâmetros hidroquímicos que influenciam no equilíbrio das condições favoráveis à vida das espécies animais e vegetais.

A água subterrânea não apresenta alterações bruscas de temperatura ou das suas qualidades físico-químicas, dessa forma o influxo subterrâneo fornece um habitat estável para plantas aquáticas e animais. Além disso, a descarga dos aquíferos é imprescindível para manter lagoas costeiras e manguezais, pois permite diluir a salinidade das influências marinhas, distribuir nutrientes e regular as condições físico-químicas.

Mesmo nos casos em que não há afloramentos, as águas subterrâneas são relevantes aos ecossistemas. Por exemplo, apesar da ausência de cursos d'água e nascentes, é comum encontrar vegetação exuberante nos fundos dos vales. Isso se explica porque o lençol freático em um vale está mais próximo da superfície e o nível d'água não oscila tanto. Na ausência das chuvas, o nível d'água nas partes mais elevadas reduz bastante, mas nos vales pode não existir variação, pois a água infiltrada em chuvas anteriores ainda está se deslocando vagarosamente em sua direção (POETER *et al.*, 2020). Desse modo, a vegetação tem acesso à água ao longo de todo ano.

Essas águas também sustentam extensos ecossistemas terrestres semiáridos e úmidos, sem espelhos d'água, mas com vegetação de raízes profundas, que extraem umidade diretamente do lençol freático. No cerrado há diversas espécies que desenvolveram raízes profundas para absorver a água dos aquíferos.



Por fim, há toda uma flora e fauna associada às fontes hidrotermais, que são os locais onde as águas aquecidas e enriquecidas com minerais emergem de uma longa trajetória subterrânea.

Além disso, elas contribuem para a estabilidade geológica, pois garantem a manutenção da estrutura dos poros das rochas, impedindo ou reduzindo o risco de subsidência dos terrenos ou dos ecossistemas de cavernas.

2.3 As águas subterrâneas no Brasil e sua importância socioambiental

Ao contrário das águas superficiais, a presença das águas subterrâneas e dos aquíferos não é constatada com a mera observação do território. Identificá-las e determinar a quantidade e qualidade dessas águas exige disponibilidade de dados, mapas geológicos e modelos que contemplem a interação rocha e água. Desde a década de 1980, estudos foram conduzidos para delimitar esses corpos hídricos, com destaque àqueles produzidos pelo Serviço Geológico Brasileiro (SGB-CPRM).

O número de aquíferos do Brasil ainda é incerto. A ANA (2013a) distribuiu as águas subterrâneas brasileiras em 181 aquíferos e sistemas aquíferos aflorantes (Figura 4)². Desses, 151 são aquíferos sedimentares (maior potencial produtivo) e 26 são cársticos. O domínio fraturado (menor potencial produtivo) foi aglutinado em quatro grandes blocos: Sistema Aquífero Fraturado Semiárido, Sistema Aquífero Fraturado Norte, Sistema Aquífero Fraturado Centro-Sul e o Aquífero Serra Geral (ANA, 2013a, pp. 54-56).

² Para o SGB-CPRM, as unidades litológicas foram organizadas em 202 unidades hidroestratigráficas ou aquíferas, das quais 164 são unidades aflorantes e 38 não aflorantes (DINIZ *et al.*, 2014, p. 20).

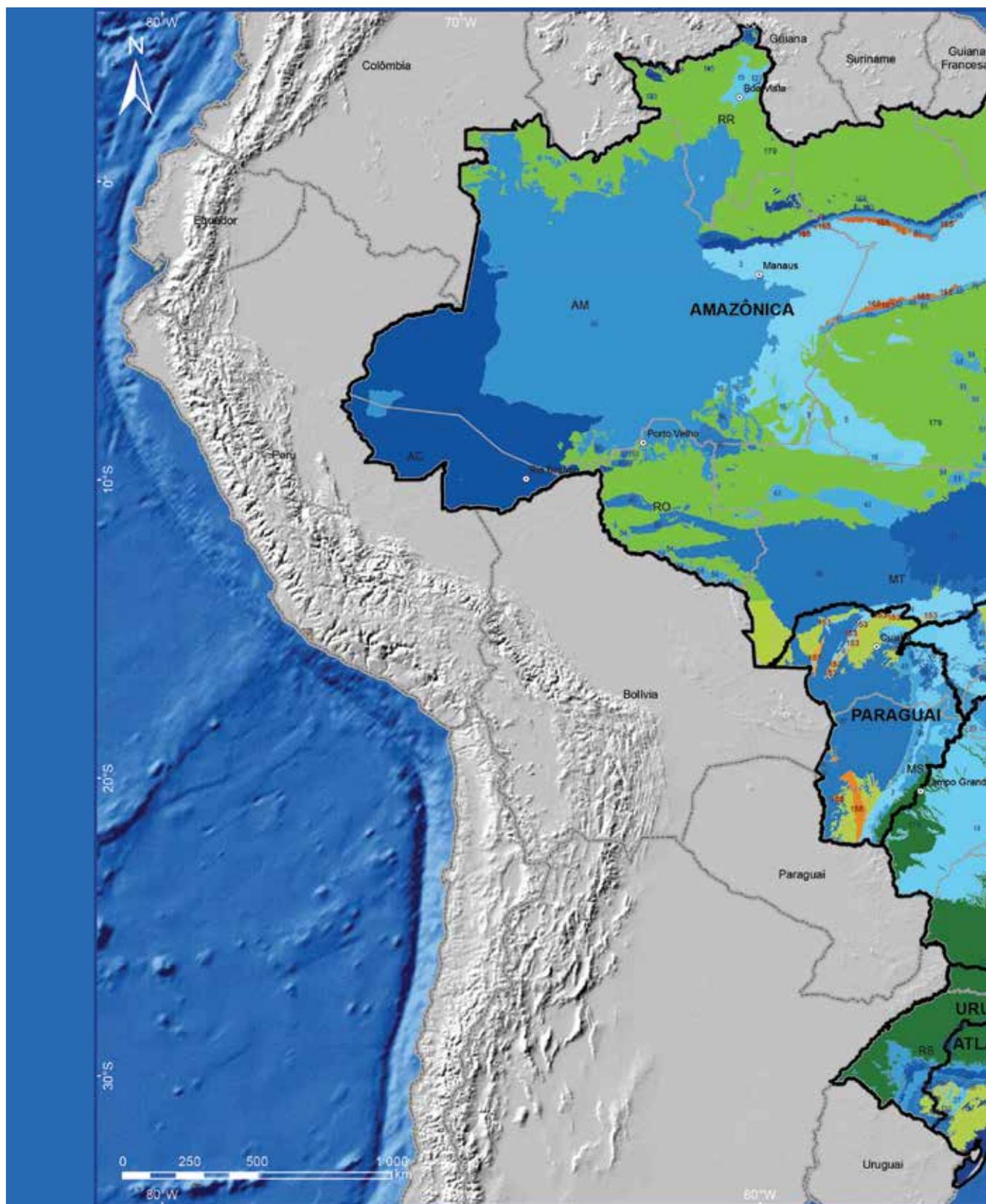
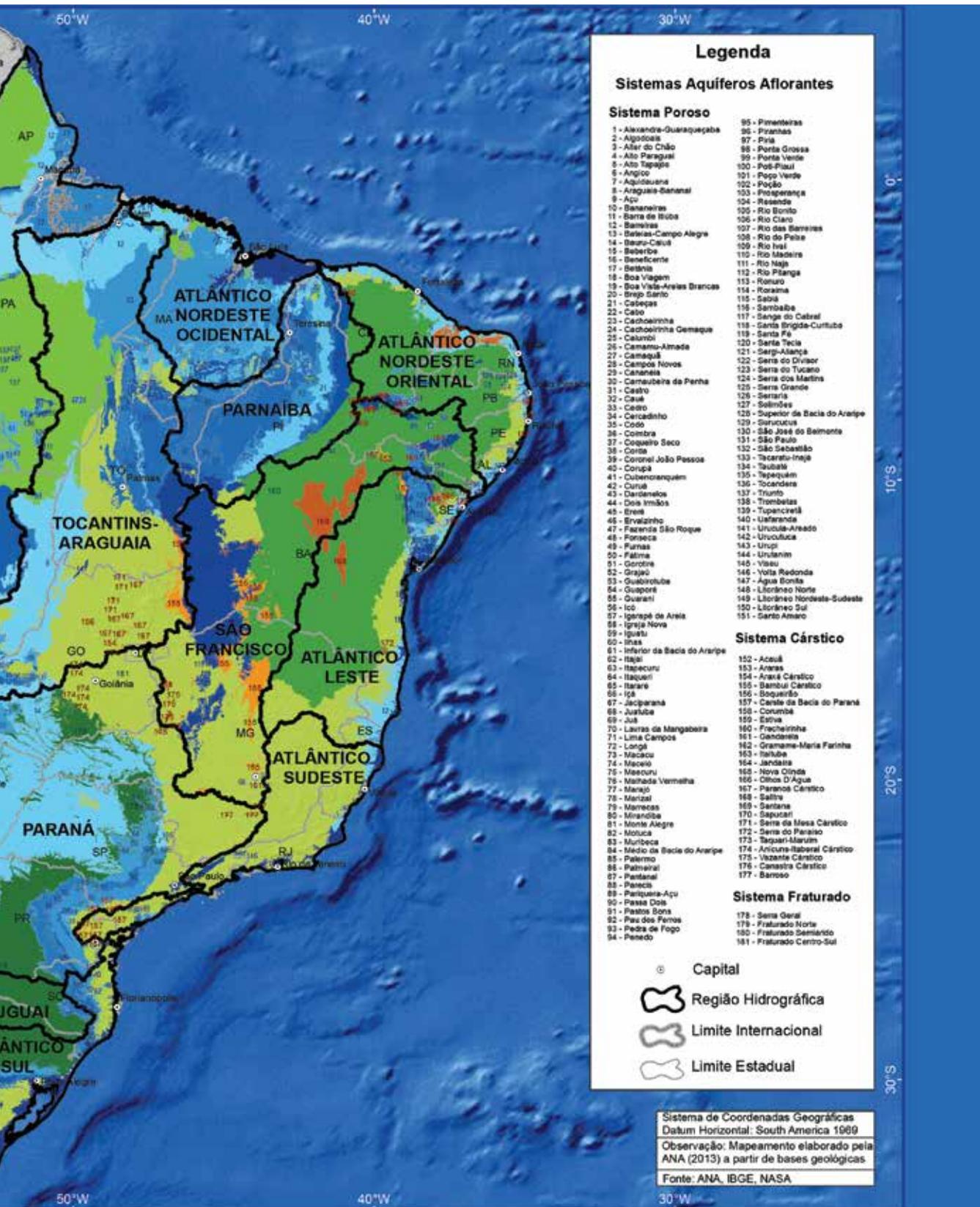


Figura 4 – Sistemas aquíferos brasileiros aflorantes
Fonte: ANA (2013a).



Estima-se que o Brasil possua 1,1 trilhão de m³/ano de reservas de águas subterrâneas (ANA, 2020, p. 8). Por sua vez, a disponibilidade seria de aproximadamente 14.650 m³/s, sendo que a distribuição e a produtividade dos aquíferos ocorrem de forma desigual pelo território (ANA, 2020, p. 23).

No contexto global, o Brasil é o 9º maior usuário de águas subterrâneas (Hirata et al., 2019, p. 47). As taxas reais de uso, porém, são desconhecidas, pois a maioria dos usuários não é regularizada. A ANA (2020) estima que existam cerca de 2,4 milhões de poços no Brasil, contudo, o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) do SGB-CPRM registrava em outubro de 2021 apenas 346.150 poços. A base de dados abastecida pelas Unidades Federativas, por sua vez, registrava apenas 101.074 poços (ANA, 2020). Para Hirata et al. (2019), esse número seria superior a 2,5 milhões de poços tubulares, os quais teriam capacidade de extração de cerca de 17.580 Mm³/ano (557 m³/s), cujo volume seria capaz de abastecer toda a população brasileira durante um ano (Hirata et al., 2019). Essa infraestrutura de poços tubulares representa um investimento aproximado de R\$ 75 bilhões em serviços de perfuração e complementação e equipamentos de bombeamento (HIRATA et al., 2019).

2.3.1 O perfil dos usuários e seu papel na segurança hídrica

As águas subterrâneas são fundamentais ao abastecimento domiciliar e público, aos processos industriais, à prestação de diversos tipos de serviços e à atividade agropecuária. A Figura 5 demonstra o perfil dos usuários com base nas seguintes classificações: agricultura e pecuária (poços dedicados à irrigação ou dessedentação de animais); abastecimento doméstico (residências urbanas); abastecimento público (prestadores do serviço de água); industrial (poços que abastecem indústrias); uso múltiplo (atendem a mais de um fim, sendo majoritariamente a prestação

de serviços urbanos); e outros (poços para fins não listados nas outras categorias, tais como o lazer). O abastecimento doméstico é o principal usuário (30%), seguido do uso agropecuário (24%), abastecimento público urbano (18%), abastecimento múltiplo (14%), abastecimento industrial (10%) e outros (4%) (HIRATA *et al.*, 2019).

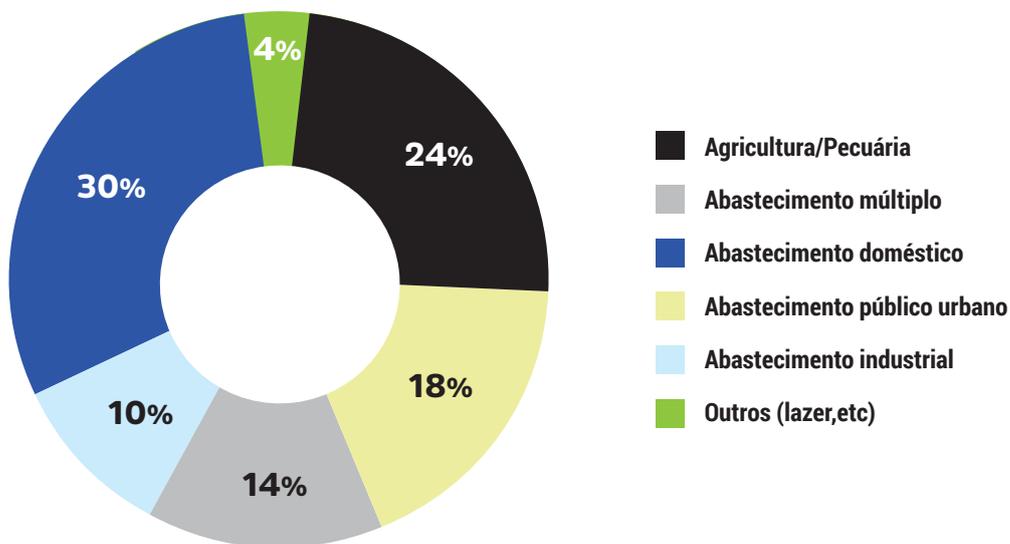


Figura 5 – Perfil dos usuários de águas subterrâneas no Brasil

Fonte: Hirata *et al.* (2019, p. 15).

De acordo com dados de Hirata *et al.* (2019), do total da água subterrânea extraída no país (557 m³/s), apenas 10% (53 m³/s) servem ao abastecimento público de cidades por meio de concessionárias e serviços municipais. Apesar dessas vazões serem reduzidas, o recurso é imprescindível para o suprimento público de água em cidades de pequeno (< 10 mil pessoas) a médio (< 100.000 pessoas) porte. Quase metade dos municípios com menos de 10 mil habitantes são totalmente dependentes das águas subterrâneas. Elas respondem como única fonte em 36% dos municípios brasileiros e de forma complementar (sistemas mistos) em 16%. Logo, 52% das sedes municipais dependem em algum grau desse recurso (Figura 6) (ANA, 2010).

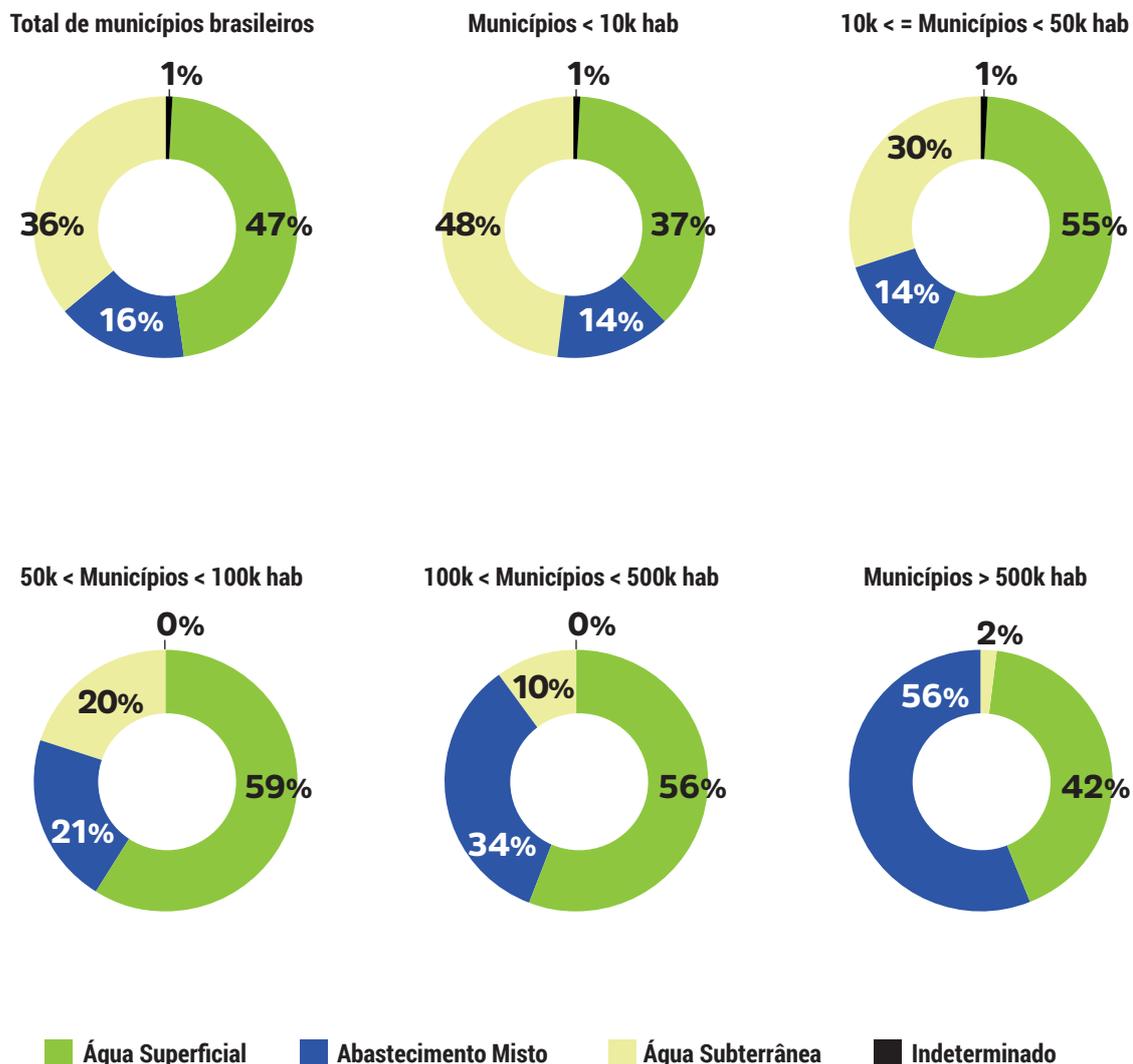


Figura 6 – Distribuição de municípios brasileiros (total e por tamanho de população), de acordo com o tipo de fonte de abastecimento

Fonte: Hirata *et al.* (2019).

Em relação ao uso urbano, os estados mais dependentes são: São Paulo, Piauí, Ceará, Rio Grande do Sul, Bahia e Paraná. Já quanto ao uso rural, o principal estado usuário é Minas Gerais, seguido por São Paulo, Bahia, Tocantins e Rio Grande do Sul (HIRATA *et al.*, 2019). Apesar de o Nordeste não aparecer como grande usuário rural, as águas subterrâneas são muito utilizadas pelas populações do



Semiárido, inclusive as de aquíferos salobros, potabilizadas por meio de tecnologias filtrantes.

A importância da água subterrânea na área rural ainda é pouco reconhecida (ALY JÚNIOR, 2019). Segundo o Censo Agropecuário do IBGE (2017), há aproximadamente 3 milhões de captações por poços escavados e nascentes, além de 1,03 milhão de propriedades rurais dotadas com, pelo menos, um poço tubular. Apesar de sua baixa vazão, os poços escavados e nascentes são a principal fonte de água em regiões periféricas que não possuem rede de água, como povoados nas montanhas e serras e pequenas propriedades rurais. Seu uso para irrigação também deve aumentar em virtude da sua qualidade e menor susceptibilidade à instabilidade climática que ameaça a produção agrícola (HIRATA; VARNIER, 1998). Em 2015, o maior número de outorgas válidas pertencia ao setor de abastecimento urbano e rural, seguido pela indústria (ANA, 2016). Ao se analisar, contudo, as vazões médias captadas entre os usuários (relação de número de outorgas/vazão), o principal usuário foi a agricultura (48,6 m³/h), seguido da indústria (20,86 m³/h) e do abastecimento (17,89 m³/h) (ANA, 2016). Proporcionalmente, os usuários rurais utilizam maiores quantidades de águas subterrâneas em relação aos demais, o que demonstra a necessidade de mais estudos sobre esse tipo de uso (ALY JÚNIOR, 2019).

As águas subterrâneas também são fundamentais para a indústria, pois embora no conjunto de poços da Companhia Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) representem apenas 10% dos usuários, no âmbito dos usos outorgados constituem 25%, com vazão média levemente superior ao do abastecimento. Várias indústrias recorrem a essa fonte, mesmo em áreas dotadas de infraestrutura de rede de água, diante da vantagem dos custos e de ter uma fonte própria de água (HIRATA *et al.*, 2019). Além disso, não se pode esquecer a indústria de bebidas e de águas minerais e potáveis de mesa, que também utiliza este recurso.



2.3.2 As vantagens do uso das águas subterrâneas

O uso das águas subterrâneas tem se intensificado diante do crescimento da demanda pelo recurso hídrico, da degradação dos mananciais superficiais e do aumento dos períodos de seca, que tendem a afetar mais as águas superficiais (HIRATA; CONICELLI, 2012). Seu uso apresenta diversas vantagens em relação às águas superficiais, tais como:

- a boa qualidade natural que, na maioria dos casos, demanda apenas cloração/ fluoretação;
- os menores custos relacionados à obtenção de água, extração, manutenção e operação da captação, se comparado às fontes de sistemas de água superficial;
- a autonomia dos poços tubulares, que funcionam de forma automatizada, exigindo pouca manutenção;
- a exclusividade de possuir uma fonte hídrica e seu controle de aproveitamento;
- o menor impacto ambiental da captação subterrânea. O poço tubular profundo é considerado de baixo impacto se comparado à captação superficial, que envolve estações de tratamento, adutoras e barramentos de água;
- a facilidade e rapidez da infraestrutura necessária para viabilizar a captação. O prazo de execução de um poço é de dias a semanas, por outro lado, barragens e estações de tratamento de água demandam anos;



- a implantação do sistema de extração de água subterrânea pode ser efetuada de maneira gradativa, racionalizando os investimentos em captações de água;
- a não implicação em desapropriação de grandes áreas, que representam vultosos gastos financeiros;
- a possibilidade de uma distribuição setorizada, com baterias de exploração, constituída de sistemas isolados ou interligados e, muitas vezes, próximas à demanda, reduzindo a construção de longas adutoras;
- a menor susceptibilidade às condições climáticas, pois a capacidade de armazenamento dos aquíferos torna a vazão estável mesmo nos períodos de estiagem.

2.4 O que são e como funcionam os aquíferos

O aquífero é uma “formação geológica com capacidade de acumular e transmitir água através dos seus poros, fissuras, ou espaços resultantes da dissolução e carreamento de materiais rochosos” (art. 2º, I, Res. CNRH nº 202/2018). Na prática, consideram-se aquíferos apenas as unidades geológicas capazes de produzir água por meio de poços, em condições viáveis economicamente. Em hidrogeologia³, as formações geológicas podem ser classificadas quanto à sua capacidade de armazenar e transmitir água em três categorias: *aquíferos*, *aquitardes* ou *aquicludes*. Os aquicludes e aquitardes podem se relacionar com os aquíferos à medida que delimitam o seu topo e/ou sua base. Possuem, porém, baixa ou nula capacidade de transferir água, sendo considerados impermeáveis ou semipermeáveis. Os aquicludes são formações geológicas que contêm água em seu interior, contudo, sem capacidade de transmissão. Os aquitardes são

³ Hidrogeologia: é a área da geologia que trata da distribuição e movimentação de águas subterrâneas nos solos e rochas da crosta terrestre.



formações semipermeáveis que podem conter água, mas sua transmissão se dá de forma muito lenta, inviabilizando a exploração econômica.

A classificação das formações em uma dessas categorias se dá por meio da avaliação da capacidade da rocha ou sedimento em transmitir água, representada pelo parâmetro condutividade hidráulica (ou coeficiente de proporcionalidade da Lei de Darcy⁴). A condutividade hidráulica nos aquíferos é igual ou maior que 10^{-4} cm/s (ou 8,64 cm/dia), o que representa a velocidade do fluxo de água.

Os aquíferos podem ser classificados conforme os seus tipos de rocha e a pressão a que estão submetidos. Essas características influenciam na capacidade de armazenamento de água, velocidade do fluxo, taxas de recarga e vulnerabilidade à contaminação.

Em relação ao tipo de rocha, os aquíferos podem ser classificados em três categorias simplificadas: a) *granulares*; b) *fraturados*; e c) *cársticos*. Essa classificação está relacionada à origem da rocha ou do sedimento, ao seu grau de consolidação e ao fraturamento ou dissolução.

- a. **Aquíferos granulares:** são compostos por sedimentos ou rochas sedimentares. Conhecidos como *aquíferos de porosidade primária*, a qual é gerada no momento da deposição dos sedimentos e distribuída de maneira uniforme, facilitando a extração da água. A porosidade total de sedimentos inconsolidados varia entre 25 e 40% para cascalho, 25 e 50% para areia e 35 e 50% para silte (Freeze; Cherry, 1979). O aumento da granulometria tende a diminuir a porosidade da rocha. O grau de seleção dos grãos, sua esfericidade e a ocorrência de cimentação também influenciam na porosidade.

⁴ A Lei de Darcy é uma equação constitutiva fenomenológica que descreve o fluxo de um fluido através de um meio poroso (DARCY, 1856). Cabral (2008, p. 77) explica essa equação de forma didática.

- b. **Aquíferos fraturados:** são formados por rochas cristalinas, metamórficas e ígneas intrusivas, que são materiais geológicos de baixa permeabilidade primária, porém, quando submetidos a esforços tectônicos ocorre o seu fraturamento. Conhecidos como *aquíferos de porosidade secundária*, a água é armazenada por meio dos vazios delimitados por essas fraturas na rocha, que possuem várias orientações e se conectam entre si, formando um sistema ou rede de fraturas. Sua porosidade é baixa, mas a velocidade do fluxo subterrâneo pode ser elevada, restringindo-se a uma pequena porcentagem de fraturas, mas com bons condutos. Esses aquíferos também podem ser formados em rochas sedimentares de baixa permeabilidade primária, como folhelhos, siltitos, lamitos, alguns calcários e arenitos cimentados (FREEZE; CHERRY, 1979; SINGHAL; GUPTA, 2010).



Foto: Érico Hiller/Banco de Imagens ANA
Surgência de aquífero fraturado na Zona rural de Guaribas - Piauí.

- c. **Aquíferos cársticos:** são compostos por rochas carbonáticas carstificadas que geraram redes de condutos/cavidades por onde a água é transmitida e reservada. Sua origem resulta do processo de dissolução de rochas solúveis, como calcário, dolomito, quartzito, arenito com cimentação carbonática etc. São conhecidos como *aquíferos de porosidade terciária* devido à *carstificação*, fenômeno que, minimamente, exige as seguintes condições: i) rocha com capacidade química de se dissolver; ii) água ácida (solvente), resultado do contato da água da chuva com o dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, ou no solo, captando o CO₂ da matéria orgânica; iii) gradiente hidráulico (diferenças de cargas hidráulicas que possibilitam o fluxo do solvente; e iv) descontinuidades na rocha (falha/fratura, dobra, plano de acamamento ou estratificação) que permitam o fluxo da água. Com o tempo, as descontinuidades da rocha se alargam e, de forma progressiva, se desenvolve uma estrutura hierárquica, como um sistema ou rede de condutos cársticos. Se esta estrutura cárstica estiver na zona saturada em água, será considerado o aquífero cárstico. O fluxo subterrâneo, portanto, determina a estrutura hidrogeológica do meio cárstico que, em troca, cria um efeito de retroalimentação, modificando as condições desse fluxo (GOLDSCHIEDER; DREW, 2007)

A formação desses aquíferos se relaciona aos processos geológicos e geomorfológicos ocorridos no continente. Segundo a ANA (2013b), os aquíferos e sistemas aquíferos sedimentares afloram em 53,8% do território nacional, os fraturados em 44,7% e os cársticos em apenas 1,5% (Figura 7). Os aquíferos não ocorrem de maneira homogênea ou uniforme no território brasileiro. As rochas ou os pacotes sedimentares que os compõem e sua exposição aos diferentes climas fazem com que cada um deles apresente condições específicas de infiltração, percolação, fluxos, armazenamento e descargas hídricas, o que impacta na sua produção e na qualidade de suas águas.



Figura 7 – Distribuição dos aquíferos fraturados, sedimentares e cársticos no Brasil
 Fonte: Diniz *et al.* (2014, p. 25).

A compreensão da distribuição dos tipos de rocha no território brasileiro e a forma como suas características influenciam no fluxo das águas subterrâneas auxilia a distinguir os principais aquíferos do país, ou seja, aqueles com maior capacidade de armazenamento e transmissão de água. A relevância da rocha como aquífero é definida por meio de suas propriedades físico-químicas, dentre elas: a porosidade, a permeabilidade (ou condutividade hidráulica), as condições de ocorrência (extensão, espessura e estrutura) e a possibilidade técnica e econômica de captação.

Em relação à pressão de armazenamento da água que estão submetidos, os aquíferos são também classificados como: a) *livres* e b) *confinados* (Figura 8), embora existam condições intermediárias entre esses dois tipos, como os aquíferos *semiconfinados*, *cobertos* ou *suspensos*.

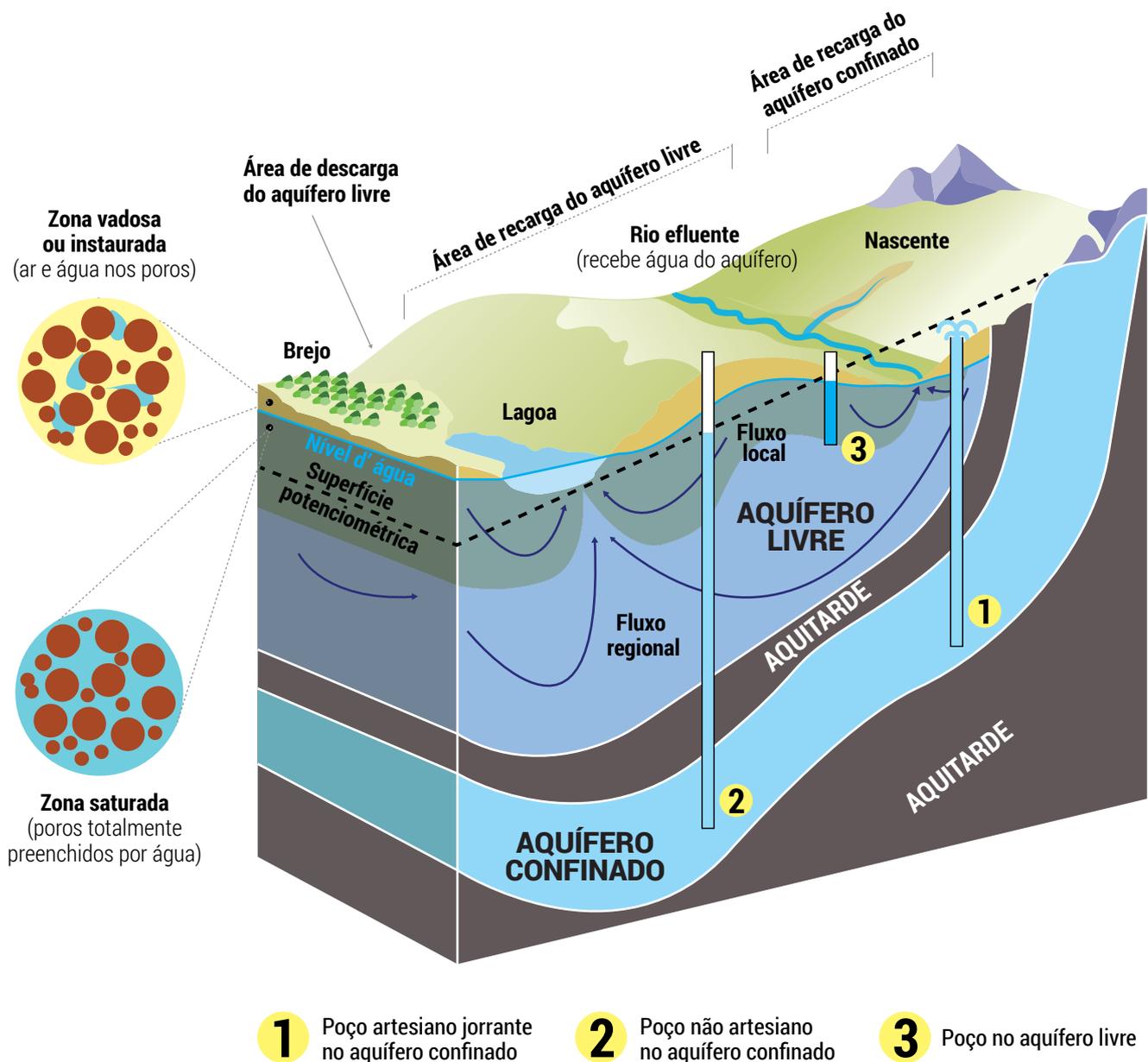


Figura 8 – Funcionamento de um aquífero
Fonte: Cabral (2008), adaptado por Dora Atman.



Nos aquíferos livres, o limite superior é formado pelo nível d'água, que corresponde ao topo da zona saturada (superfície freática), em equilíbrio e sob as mesmas condições de pressão atmosférica. Os aquíferos confinados são delimitados na base e no topo por unidades não aquíferas (aquicludes) ou por rochas parcialmente impermeáveis (aquitardes), sendo a água armazenada sob pressão. Na situação intermediária estão os aquíferos semiconfinados, cujas camadas que os limitam têm permeabilidade baixa, condicionando que a água atravesse de forma muito lenta.

Como os aquíferos confinados ou semiconfinados estão sob pressão, quando perfurados pelo poço, a água extravasa e o seu nível d'água piezométrico de equilíbrio fica acima do topo da camada do aquífero (reservatório) (Figura 8). Em alguns casos, dependendo da topografia e da pressão do aquífero, essa água pode subir acima da superfície, formando os poços artesianos (jorrantes).

As águas subterrâneas fluem lentamente em direção às áreas mais baixas quando percolam pela zona vadosa (Figura 8). Enquanto o fluxo de água superficial se desloca por quilômetros em poucos dias, o fluxo subterrâneo avança milímetros ou centímetros por dia. O movimento das águas subterrâneas se dá por meio do preenchimento dos espaços vazios e conectados das rochas e de um lento deslocamento na zona saturada. Essa diferença de velocidade de fluxo permite que as águas que infiltraram há dezenas, centenas ou até mesmo milhares de anos ainda estejam em movimento lento no ambiente subterrâneo. Assim, o aquífero se destaca mais pelo seu armazenamento do que pela alta produção quando comparado aos rios.

Os volumes armazenados nos aquíferos livres flutuam sazonalmente ou ao longo de ciclos plurianuais, demonstrando que parte das chuvas incidentes e infiltradas na superfície chegam até o aquífero (recarga) e saem dele (descarga) ao longo do tempo. Devido à sua dimensão e dinâmica de recarga, mesmo pequenos aquíferos têm águas que podem ter décadas e até milhares de anos.



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA
Perfuração de poço artesiano.

As flutuações do volume armazenado nos aquíferos configuram um equilíbrio dinâmico sustentado pelas variações da precipitação ao longo das sazonalidades climáticas e pelas mudanças internas nas taxas de recarga e descarga decorrentes das variações do gradiente hidráulico. Quando o nível d'água do aquífero se eleva ao longo do tempo em função do aumento da recarga, existe naturalmente a tendência de aumentarem as taxas de saída de água por incremento na descarga – por exemplo, por meio do aumento da vazão do fluxo subterrâneo que chega aos rios. Por outro lado, quando o nível d'água do aquífero diminui devido à diminuição da recarga, existe uma tendência de redução nas taxas de descarga (por exemplo, diminuição da vazão de base dos rios). Assim, ao longo do tempo geológico, o aquífero tende a um estado de equilíbrio dinâmico, em que as taxas de descarga do

“amanhã” serão proporcionadas pelas taxas de recarga “de hoje”.

A exploração por meio de poços, portanto, é uma descarga imposta a um sistema que estava previamente em equilíbrio dinâmico. A intensidade do bombeamento, o tempo de exploração, o tamanho e as características hidráulicas do aquífero definirão as consequências dessa interferência nas taxas de recarga, descarga e armazenamento.



A dinâmica hídrica das águas subterrâneas na bacia hidrográfica

A adoção da bacia hidrográfica pela gestão torna esse espaço uma referência à análise das interações entre águas meteóricas, subterrâneas, superficiais e costeiras. A bacia hidrográfica é composta por um arcabouço geológico que fornece os elementos iniciais à sua análise, bem como influencia diretamente na disponibilidade hídrica. Esse arcabouço geológico é entendido, aqui, como um mosaico e/ou uma sucessão de rochas e material inconsolidado que conforma o assoalho e o subsolo de uma bacia hidrográfica, aos quais se associam formas de relevo e variações topográficas, resultantes da atuação, no tempo geológico, de dinâmicas internas (endógenas) e externas (exógenas).

O arcabouço geológico pode ser constituído por diversos tipos de rochas (ígneas, metamórficas ou sedimentares), com diferentes idades, composições e possibilidades de relação espacial (estratigrafia), bem como por estruturas geológicas (fraturas, falhas, dobras etc.). Pacotes rochosos mais antigos e profundos, em virtude de soerguimentos, associados ao intemperismo e à erosão, podem acabar aflorando ou serem soterrados por sequências sedimentares mais recentes, formadas nos mais diferentes ambientes geológicos. As rochas com ou sem cobertura, formadas por material inconsolidado e solos, possuem características de porosidade e permeabilidade (ou condutividade hidráulica) que podem facilitar ou impedir a percolação da água da chuva. O clima e suas variações ao longo do tempo geológico são igualmente determinantes da forma de ocorrência e dinâmica dos corpos hídricos subterrâneos, superficiais e costeiras. É ele quem controla as características do ciclo e dos balanços hidrológicos que se estabelecem em determinada bacia hidrográfica. Em uma bacia hidrográfica, portanto, o arcabouço geológico define a geometria dos aquíferos e as suas relações com os outros corpos de água superficiais (Figura 9). As chuvas, por sua vez, influenciam na quantidade de água disponível para ser armazenada nos aquíferos.

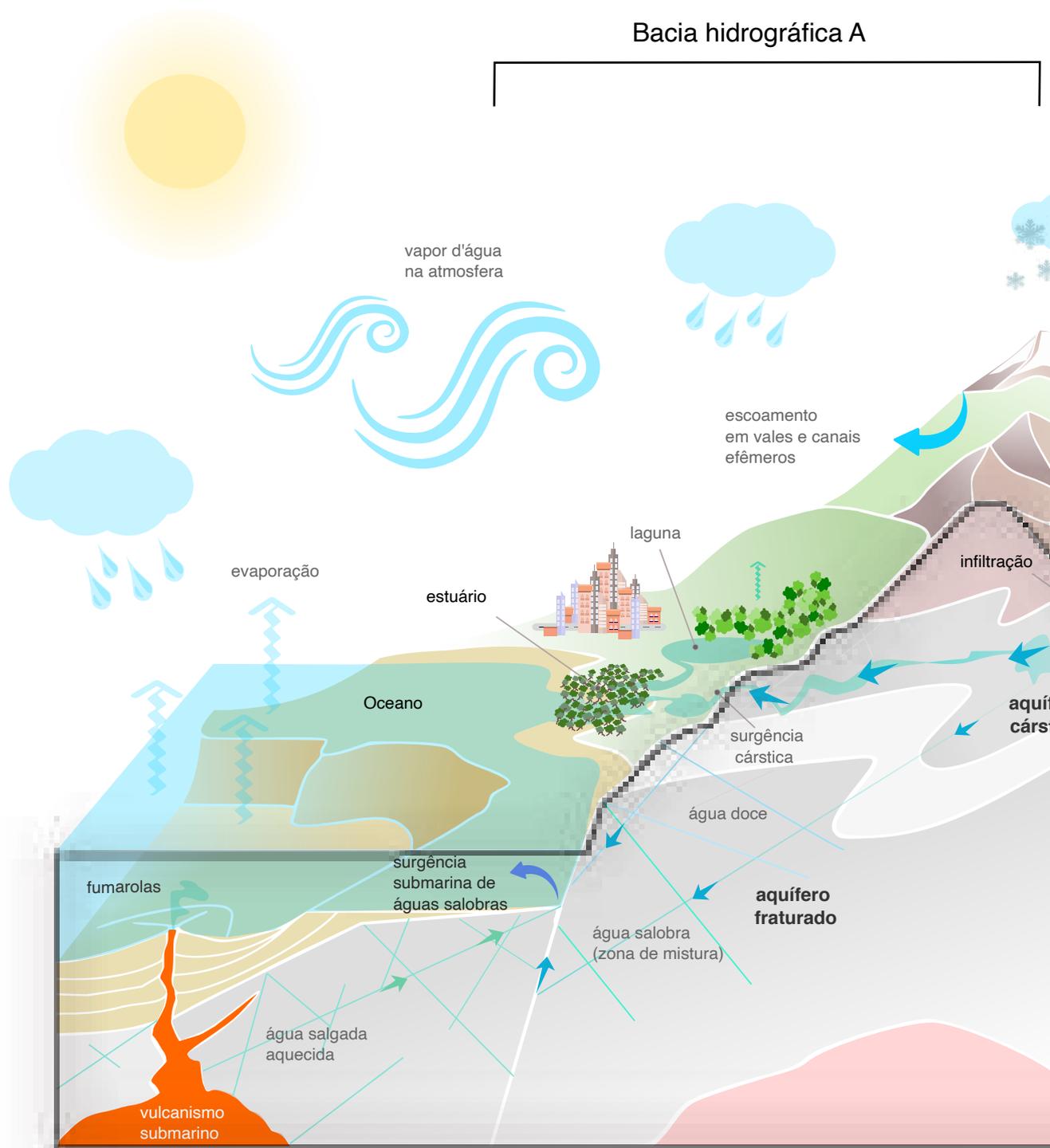
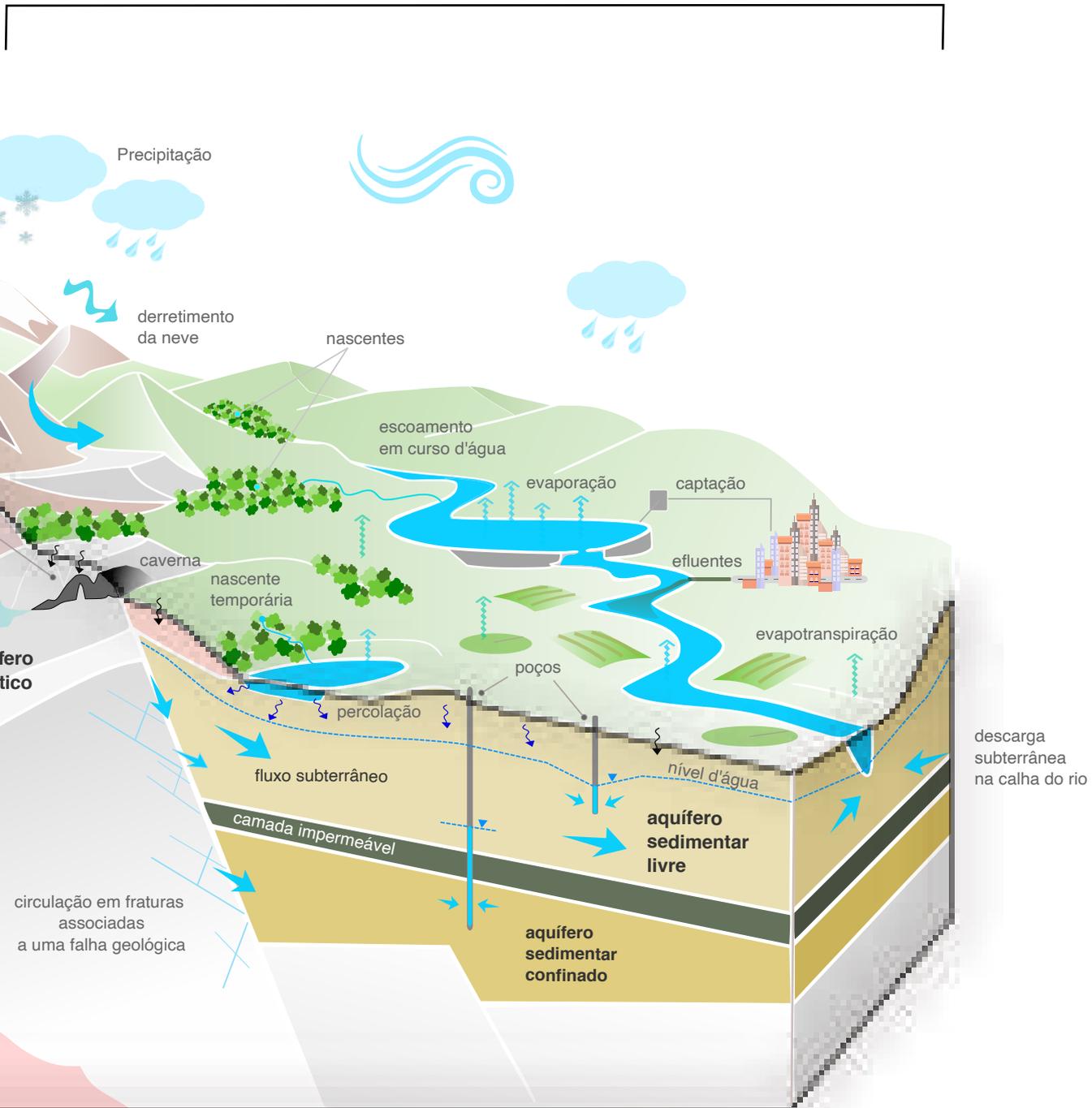


Figura 9 – O arcabouço geológico como elemento-base de definição do território da bacia e do armazenamento de água.
Fonte: elaborado e cedido por Dora Atman.

Bacia hidrográfica B



enamento de água

Como demonstra a Figura 9, a interação entre o clima e o arcabouço geológico determina a organização dos recursos hídricos. A chuva é o principal mecanismo de entrada de água na bacia, enquanto as rochas vão formar os diferentes tipos de aquífero e, em conjunto com a topografia, serão determinantes para definir o comportamento das águas, que podem escoar superficialmente, infiltrar com o escoamento subsuperficial vertical e lateral ou, ainda, serem absorvidas pelas plantas e voltarem ao sistema por meio da evapotranspiração.

O escoamento subsuperficial vertical abastece os fluxos das águas subterrâneas, sendo que parte desses fluxos gera nascentes e aportes para dentro das drenagens de água superficial e ou costeira. Em caso contrário, os corpos de água superficial geram as recargas para os aquíferos subjacentes. As interações entre as águas superficiais e subterrâneas acontecem tanto nas partes de montante como de jusante de uma bacia hidrográfica, a depender do arcabouço geológico, dos condicionantes de chuva e da topografia.

A interação rio-aquífero geralmente depende da diferença de elevação dos níveis d'água nesses corpos hídricos. Se a elevação do nível da água no aquífero for maior que a elevação da água no rio, esse rio recebe água do aquífero e, portanto, é denominado de *rio efluente* (Figuras 10 A e D). Na situação inversa, ou seja, quando a elevação do nível d'água do aquífero for menor que a do rio, esse rio fornece água para o aquífero, portanto, será um *rio influente* (Figuras 10 B e C). Dessa forma, observam-se duas situações de conexão hidráulica na natureza, principalmente durante a estação seca: 1) *Rio Perene*, no qual existe a conexão entre a superfície freática e o rio (Figuras 10 A e D), o que garante a vazão durante todo o ano, independentemente dos períodos de chuva ou seca; e 2) *Rio Intermitente*, na qual o rio é desconectado dessa superfície, tornando-se seco no período de estiagem (Figura 10 C) (HEALY, 2010; POETER *et al.*, 2020; WINTER *et al.*, 1999; WOESSNER, 2020).

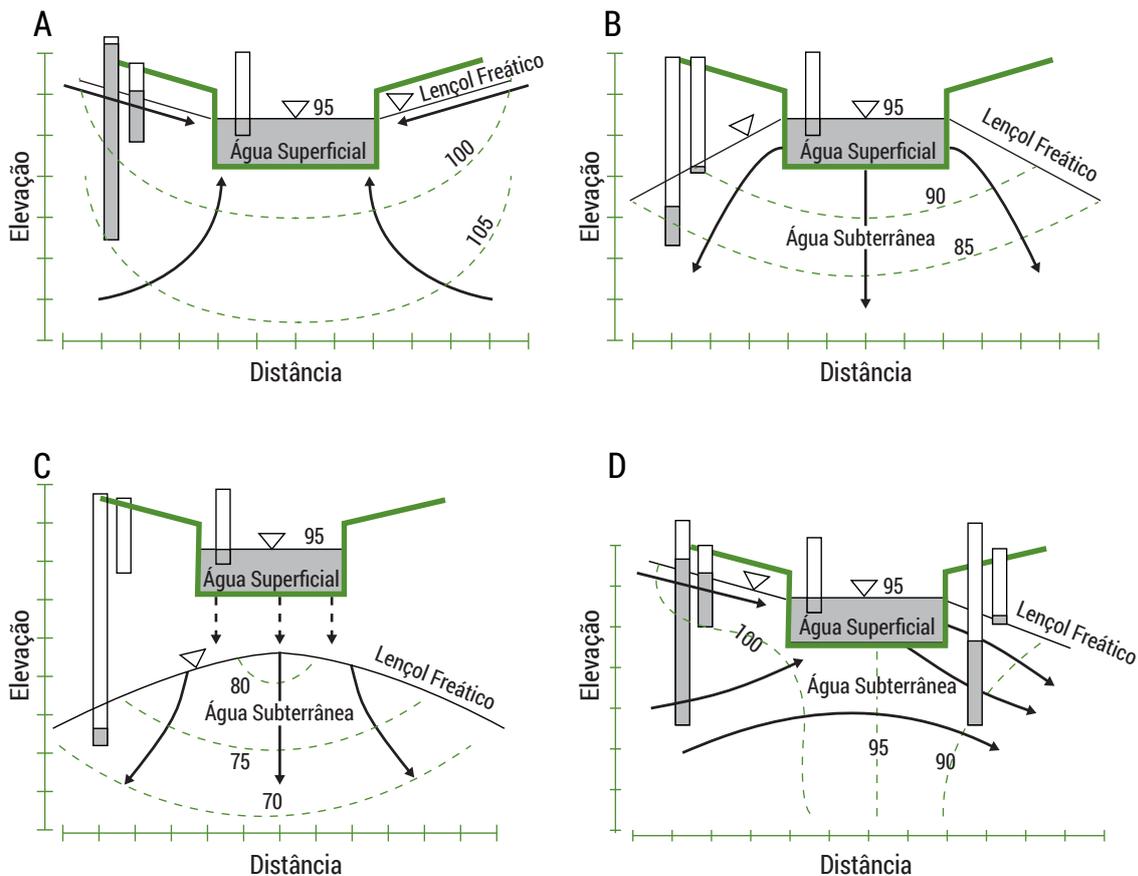


Figura 10 – (A) Modelo conceitual para rios efluentes; (B) Modelo conceitual para rios influentes¹; (C) Modelo conceitual para rios influentes²; (D) Modelo conceitual de fluxo direto

Fonte: Woesner (2020), adaptado por Didier Gastmans e Camila de Lima.

¹ Cenário em que a elevação do nível d'água que separa a zona saturada da não saturada está conectada com o rio;

² Cenário em que a elevação do nível d'água que separa a zona saturada da não saturada está desconectado do rio.

Nos terrenos cristalinos é comum as nascentes surgirem nas porções mais altas do relevo e irem formando pequenos cursos d'água, que vão se juntando a outros à medida que alcançam as porções mais baixas das drenagens, compondo córregos, riachos ou outros corpos maiores d'água. Constitui-se, dessa forma, uma bacia hidrográfica, cujo padrão de drenagem geralmente é controlado pela estruturação das rochas do substrato geológico. Em toda essa trajetória ocorrem descargas subterrâneas para os cursos d'água superficiais,

que são responsáveis pela sua perenização. As bacias, cujo arcabouço geológico é formado por rochas pouco permeáveis e com gradientes topográficos pronunciados, apresentam grande parte do fluxo dependente do escoamento superficial. Apesar de as interações aquíferas com os cursos de água serem menores, elas devem ser consideradas na elaboração do balanço hídrico e dos planos de gestão, pois podem ter importantes contribuições.

Por outro lado, em bacias hidrográficas que drenam terrenos sedimentares ou planícies aluvionares, as interações aquíferas são de alta relevância, pois os rios recebem grande volume de descargas subterrâneas, o que os torna perenes nos períodos de seca.

Entre a recarga e descarga, as águas subterrâneas se movem ao longo de vários caminhos, formando o que se denomina *rede de fluxo*, cujas linhas podem conformar três situações: *local*, *intermediária* e *regional* (Figura 8) (TÓTH, 1963).

- **Linhas de fluxo local:** drenam para áreas de descarga relativamente próximas dos pontos onde ocorreram as recargas, normalmente apontando para corpos hídricos superficiais (rios e lagoas). É o caso das linhas de fluxo originadas em áreas de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG).
- **Linhas de fluxo intermediárias:** apresentam um ou mais sistemas de fluxos locais entre a sua área de recarga e descarga.
- **Linhas de fluxo de caráter regional:** são mais profundas no interior dos aquíferos e têm um trânsito de grandes distâncias com descargas para corpos hídricos superficiais, a saber: rios, grandes corpos lacustres ou mesmo o oceano. As descargas do SAG no leito fluvial do Rio Uruguai e Paraná são exemplos concretos de linhas de fluxo regionais.



Os fluxos de águas subterrâneas devem ser vistos tridimensionalmente, ou seja, pode haver fluxos superficiais e locais sobrepondo-se a outros mais profundos, que são os fluxos regionais. Assim, é possível que no mesmo aquífero existam fluxos locais, intermediários e regionais (Figura 8). Para quantificar a disponibilidade hídrica integrada da bacia é importante compreender a dinâmica desses fluxos e estimar as suas taxas de descarga.

Os sistemas aquíferos podem, inclusive, ser maiores que as bacias hidrográficas. Suas áreas de recargas localizadas em uma bacia podem favorecer descargas em rios de outras bacias hidrográficas (Figuras 8 e 9). Por isso, um mesmo aquífero pode participar de fluxos de mais de uma bacia hidrográfica superficial (Figuras 8 e 9), bem como aportar água ao mar. Se a descarga ocorrer no mar, o fluxo de água doce proveniente do aquífero se contrapõe ao fluxo de água salgada, estabelecendo um limite dinâmico entre essas águas, que são separadas por uma zona de mistura.

Há uma conexão intrínseca entre as águas superficiais e subterrâneas, por isso, a sua avaliação deve ser feita a partir de uma abordagem integrada e conjunta. Uma água de superfície pode se tornar água subterrânea por meio da infiltração, enquanto as águas subterrâneas podem se tornar superficiais mediante a descarga dos aquíferos. É necessário compreender, portanto, no espaço e no tempo, a forma como ocorrem as relações de transferência que regulam os volumes e as flutuações da água disponível para os ecossistemas. Esse tema reforça a ideia das interações rio-aquífero, a exemplo do que ocorre no Sistema Aquífero Urucua e Bacia do Rio São Francisco (ANA, 2017a).

A extração da água subterrânea por meio de poços modifica a condição hidráulica original do aquífero e da bacia, podendo gerar impactos positivos e negativos. De forma geral, essa extração gera benefícios sociais pois aumenta a disponibilidade hídrica regional, permitindo o desenvolvimento e o abastecimento das comunidades que, muitas vezes, não têm outra fonte hídrica ou



que necessitam complementar a fonte superficial. A depender da magnitude dos volumes retirados, contudo, pode ocorrer a superexploração do aquífero, o que gera a redução das descargas aquíferas aos corpos hídricos superficiais ou ao mar, culminando em efeitos ambientais e econômicos negativos.

2.5 As ameaças aos recursos hídricos subterrâneos brasileiros

Os aquíferos também estão sujeitos aos impactos decorrentes do uso excessivo de água e das atividades antrópicas, que podem provocar problemas de superexploração, redução na recarga ou contaminação das águas subterrâneas.

2.5.1 Superexploração de aquíferos

A retirada de água de um aquífero gera o seu rebaixamento e modificações no fluxo hidrodinâmico de recarga e descarga e, em alguns casos, modificações na geoquímica de suas águas. As consequências da superexploração não são imediatamente perceptíveis, mas acentuam-se com o tempo, variando conforme as dimensões do aquífero, sua capacidade de armazenamento e o cenário de uso. Alterações hidráulicas e químicas nos aquíferos demoram anos ou décadas para serem percebidas pelos usuários ou pelo Poder Público. Por isso, é necessário acompanhar as extrações a fim de evitar que elas gerem externalidades, cuja recuperação é complexa, onerosa e de demorada reversibilidade.

A superexploração compreende vários fenômenos e impactos gerados pela extração ou alterações na recarga, que reduzem a disponibilidade hídrica, prejudicando os usuários ou as funções ambientais e sociais das águas subterrâneas. A mera redução dos níveis do aquífero não caracteriza um quadro de superexploração, mas se materializa quando os impactos da extração causam prejuízos financeiros, ecológicos ou sociais que não podem ser compensados pelos benefícios da exploração.



Ao contrário das águas superficiais, não é possível observar visualmente os processos que ocorrem no aquífero. Dessa forma, o desafio da gestão dos recursos hídricos subterrâneos é mensurar e estabelecer quando sua exploração será considerada danosa o suficiente para enquadrá-la nessa situação. De forma geral, a superexploração é entendida como as alterações do ciclo hidrológico que causem ao menos um ou mais dos seguintes impactos:

- a. redução dos níveis dos aquíferos pela extração das águas. A retirada de águas pode exaurir o aquífero, ou seja, criar uma redução tão pronunciada dos níveis potenciométricos que não permita mais o seu aproveitamento, quer pelo excessivo desnível hidráulico (altura manométrica) a ser vencido pelas bombas de poços, quer pela reduzida espessura saturada do aquífero, o que impede o seu bombeamento, ou mesmo pela eliminação de fontes e surgências naturais;
- b. redução na contribuição hídrica para os fluxos de base em corpos de água superficial. A diminuição dos aportes de água prejudica a disponibilidade de água superficial e os ecossistemas dependentes, como rios, lagos, pântanos, brejos e mangues;
- c. incremento dos custos da exploração das águas devido ao rebaixamento dos níveis dinâmicos dos poços e/ou à readequação de obras de captação. Nesse caso, a origem pode ser: a) o desbalanço entre recarga do aquífero e a sua extração a longo prazo (décadas); ou b) as interferências entre poços, cuja proximidade causa interferências hidráulicas e fortes rebaixamentos. Os custos da extração estão mais associados ao bombeamento, que requer energia para trazer a água do aquífero à superfície, do que à obra em si;
- d. perda de poços com menor profundidade ou nascentes impedindo o acesso equitativo à água. O aproveitamento das águas



subterrâneas por poços escavados ou mesmo tubulares de pouca profundidade por populações pobres e socialmente vulneráveis é prática comum em áreas rurais ou regiões periurbanas. Em muitos casos, elas constituem a única fonte de água disponível para garantir a segurança hídrica e alimentar dessas populações. Dependendo da hidráulica do aquífero, a instalação de poços profundos de alta produção pode causar o rebaixamento do nível de água e secar poços mais rasos e as nascentes. Na maioria dos casos, o poço mais profundo é legalizado, entretanto, o seu uso pode gerar um problema de inequidade social e ferir o princípio dos usos múltiplos da água. Os proprietários dos poços que secaram muitas vezes não fazem a correlação da perda do poço com a superexploração do aquífero;

- e. subsidência de terrenos. O aproveitamento de alguns aquíferos, como os associados aos sistemas cársticos ou sedimentares em multicamadas, pode criar abatimento do terreno, o que impacta em obras civis, causando prejuízos sociais e econômicos, como o colapso de edificações e modificação de fluxos de água urbana;
- f. Introdução de águas contaminadas ou salinas no aquífero em virtude do bombeamento excessivo ou redução da recarga. As extrações de água de um aquífero ou mesmo a ocupação humana na superfície alteram o ciclo hidrológico, modificando as taxas de recarga e as direções do fluxo subterrâneo. Em alguns casos, essas alterações podem trazer águas de baixa qualidade para as áreas de uso do aquífero. Isso ocorre quando o bombeamento de poços induz que águas contaminadas de aquíferos freáticos ou rios adentrem no aquífero. A contaminação pela indução de águas de baixa qualidade por meio do bombeamento deve ser enfrentada com o controle da operação e exploração de poços;



- g.** Intrusão salina em aquíferos costeiros. Nos aquíferos costeiros, em situação de equilíbrio, existe um gradiente hidráulico que condiciona um fluxo de água doce do continente para o oceano. Esse fluxo pode se inverter devido às características de variações de maré e do clima, por exemplo, misturando as águas doces e salgadas. Essa mistura de águas é condicionada pela dispersão hidrodinâmica, sendo que a água doce, menos densa, tende a fluir mais próximo à superfície, enquanto a água salgada, mais densa, avança em direção ao aquífero, formando uma cunha salina (FEITOSA et al., 2008). A extração excessiva dos aquíferos costeiros permite o avanço da cunha salina para o continente, pois o bombeamento inverte as direções de fluxo dessas águas, causando desequilíbrio hidrodinâmico do sistema e comprometimento da qualidade das águas do aquífero.

A superexploração pode afetar parte de um aquífero ou todo o sistema. Em virtude da baixa velocidade do fluxo subterrâneo, a avaliação dos seus efeitos pode levar anos para se manifestar, apesar de suas causas terem ocorrido há muito tempo. No caso dos aquíferos fósseis, ou seja, naqueles onde a restituição da água na porção explorada é superior a dezenas de milhares de anos, a superexploração é inevitável, pois a perda do nível é determinada pelo ritmo da extração. Sendo assim, é necessário planejar o seu uso, ponderando se os ganhos socioeconômicos da água extraída compensam a exaustão do aquífero no longo prazo e a sua perda para as gerações futuras.

Em alguns casos, a recuperação do nível freático decorrente do abandono de poços também pode gerar impactos negativos. Ao diminuir a extração das águas subterrâneas, os níveis de água podem recuperar a situação original ou até ultrapassá-la, pois as cidades tendem a aumentar os níveis de recarga devido às perdas de água da rede de água e esgoto. Muitos prédios, canais, túneis,



galerias e a rede de metrô têm estruturas subterrâneas que foram construídas quando aquelas porções eram secas (zona não saturada), portanto a retomada do nível original exigirá a drenagem da água. Se as fundações de edificações foram construídas em terreno seco, a retomada do nível freático causaria a sua movimentação vertical, o que impactaria a estabilidade estrutural, gerando prejuízos sociais.

2.5.2 Redução da recarga dos aquíferos devido à alteração do uso e ocupação da terra

As mudanças dos padrões de cobertura do solo urbano e rural interferem diretamente na recarga, pois influenciam na distribuição das precipitações, na temperatura, no escoamento superficial, na evapotranspiração e na recarga dos aquíferos (TANG *et al.*, 2005). As principais causas dessas alterações na recarga dos aquíferos se correlacionam aos seguintes aspectos: a) selamento por superfícies impermeáveis (JACOBSON, 2011); b) compactação (PITT *et al.*, 2003); e c) redução da cobertura vegetal arbórea (ANDJELKOVIC, 2001). As áreas seladas são mais presentes nas zonas urbanas e incluem todas as áreas pavimentadas e com edificações que impedem a infiltração da água. A compactação é a afetação das propriedades físicas do solo, de forma a diminuir a sua porosidade, sendo causada, por exemplo, pela movimentação de terra ou pela passagem de maquinários pesados. A redução da cobertura vegetal arbórea causa impactos relacionados à perda de evapotranspiração, às alterações no albedo da superfície terrestre, ao aumento de temperaturas e à intensificação de processos erosivos e de desertificação (TANG *et al.*, 2005). Além disso, as florestas evitam perturbações ao solo e suas raízes e ecossistemas associados contribuem para melhorar a porosidade do solo (Artaxo, 2014; AZEVEDO, 2019). Nas cidades, eventualmente, pode haver compensação da perda de recarga natural em virtude dos vazamentos na rede de água, esgoto e drenagem de águas pluviais (Hirata; Foster; Oliveira, 2015).



2.5.3 Contaminação de solo e das águas subterrâneas

A contaminação do solo e dos aquíferos ocorre principalmente pela deposição incorreta de efluentes e resíduos sólidos, pelo manuseio e estocagem de substâncias perigosas ou por acidentes. A zona não saturada representa a primeira linha de defesa natural contra a poluição e tem certa capacidade para atenuar e eliminar poluentes (FOSTER; HIRATA, 1988). Apesar disso, diversas atividades geram cargas contaminantes que superam essa capacidade de retenção e degradação da zona não saturada, acarretando contaminação do solo e das águas subterrâneas. Essa contaminação pode ser *pontual* ou *difusa* (FOSTER; HIRATA, 1988):

- a. **pontual:** quando a fonte de contaminação está restrita a uma pequena área. Essa característica facilita a identificação, monitoramento e remediação dos impactos, pois geralmente causa plumas de extensão reduzida e com concentrações elevadas. São os casos típicos de áreas de aterros sanitários e lixões, tanques enterrados, lagoas de efluentes, pilhas e depósito de produtos perigosos, entre outros; e
- b. **difusas** ou **multipontuais:** quando a fonte de contaminação se estende pelo território e os poluentes são lançados de forma esparsa, o que dificulta a sua identificação pois não se percebem plumas de contaminação bem definidas. São exemplos desse tipo de contaminação: áreas agrícolas com aplicação de excesso de agrotóxico e fertilizantes, ou áreas urbanas sem rede de esgoto e uso de fossas rudimentares e sépticas, entre outros.

As fontes potenciais de contaminação podem estar relacionadas às atividades na região urbana, periurbana ou rural, incluindo as decorrentes do processo de urbanização, da deposição de resíduos sólidos e líquidos, industriais, minerações, agricultura e pecuária. A princípio, todas as atividades antrópicas

que geram, manuseiam ou estocam produtos perigosos podem contaminar as águas subterrâneas. Dentro dessas atividades, entretanto, há aquelas que podem ocasionar maiores impactos ou ocorrências com maior frequência (FOSTER; HIRATA, 1988; FOSTER *et al.*, 2002). Na gestão das águas subterrâneas é importante identificar, distinguir e classificar essas atividades antrópicas, permitindo que os órgãos públicos e a sociedade estabeleçam as suas políticas.

Foster e Hirata (1988) e Foster *et al.* (2002) ressaltam que as atividades contaminantes não necessariamente estão vinculadas aos grandes empreendimentos. Em alguns casos, os pequenos empreendimentos podem, inclusive, gerar maior preocupação, pois manuseiam produtos perigosos sem os controles necessários, sendo responsáveis por grandes impactos, como ocorreu no Distrito Industrial de Jurubatuba (São Paulo). Nessa região, um empreendimento com pouco mais de centenas de metros quadrados gerou uma séria contaminação pois manjava, sem os devidos cuidados, solventes clorados, como desengraxante para a produção de baterias. Por isso, o potencial contaminante das atividades deve ser analisado principalmente sob dois aspectos: a) o tipo de produto produzido, manuseado e estocado; e b) se o ingresso no solo se faz com alguma carga hidráulica associada, pois não há como um contaminante ingressar no aquífero se este não for por via de um fluido.

Os contaminantes devem ser analisados com base em sua toxicidade, mobilidade e persistência em subsuperfície. Solventes clorados reúnem essas características e, por isso, são problemáticos. Por sua vez, o nitrogênio, embora apresente baixa toxicidade, tem ampla ocorrência, o que o torna um desafio para a gestão. Ele está presente nos fertilizantes utilizados na agricultura e nos efluentes domésticos que infiltram no aquífero, via fossas sépticas ou rudimentares e via vazamentos da rede de esgoto.

O Brasil tem uma situação particularmente vulnerável em relação à falta de esgotamento sanitário, pois 39% do esgoto gerado não é coletado, sendo 12%



destinado para sistemas individuais de tratamento *in situ* (fossas sépticas) e 27% lançado majoritariamente no solo por meio de fossas rudimentares e sumidouros (99%) ou nas águas superficiais (1%) (HIRATA *et al.*, 2019, ANA, 2017b, IBGE, 2008). Já nas áreas dotadas de infraestrutura sanitária falta manutenção das redes de esgoto, o que permite o vazamento de volumes expressivos que podem superar 10% do total de esgoto coletado (HIRATA *et al.*, 2019).

Apesar de o Brasil ser um país com atividade agrícola pujante e utilizar grande quantidade de fertilizantes inorgânicos e agrotóxicos, não existem estudos sistemáticos de avaliação de impactos ou de ocorrência desse tipo de contaminação, mesmo no meio acadêmico. A aplicação de fertilizantes nitrogenados é a principal causa de contaminação agrícola na América do Norte e Europa, cujos dados reportam extensas áreas contaminadas.

Outro problema é que a construção dos poços ou captações ignoram as normas técnicas, sua localização é inadequada (próximos às fontes potenciais de contaminação) ou não recebem a devida manutenção, o que pode induzir à contaminação do aquífero. A diligência técnica evita, por exemplo, a poluição microbiológica, muito comum em poços instalados próximos às fossas. O poço, portanto, deve estar distante de fontes potencialmente poluentes, recomendando-se a adoção dos perímetros de proteção, bem como a frequente realização de análises químicas.

No Brasil, as informações sobre a situação das áreas contaminadas são escassas. No Banco de Dados Nacional sobre Áreas Contaminadas (BDNAC)⁵ somente há informações dos Estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.

⁵ O BDNAC foi instituído pela Res. Conama nº 420/2009. Para mais informações, consultar: <http://ibama.gov.br/residuos/areas-contaminadas/banco-de-dados-nacional-sobre-areas-contaminadas-bdnac>.





3

A CONSTRUÇÃO DA GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA

3 A CONSTRUÇÃO DA GOVERNANÇA E GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Diante da necessidade de regular o uso e proteger os aquíferos, os conceitos de *governança* e *gestão das águas subterrâneas* ganham destaque, especialmente a partir do final dos anos 2000. Uma das primeiras e mais citadas definições sobre governança das águas foi estabelecida em um relatório do *Global Water Partnership*, que a definia como “o conjunto de sistemas políticos, sociais, econômicos e administrativos que existem para desenvolver e gerir os recursos hídricos e a prestação de serviços de água nos diferentes níveis da sociedade.” (Rogers; Hall, 2003, p. 7).

Desde então surgiram diversos conceitos e abordagens sobre a governança das águas (RIBEIRO; JOHNSON, 2018). Nessa profusão de literatura emergiu a ideia de governança das águas subterrâneas como uma vertente específica e mais restrita da governança das águas, o que se justifica pelos seguintes fatores (Jarvis et al., 2005; Madani; Dinar, 2012; Villholth; Conti, 2018):

- importância ecossistêmica das águas subterrâneas, pois mantêm o fluxo de base dos rios, nascentes e áreas úmidas;
- principal reservatório de água doce disponível às populações no planeta;
- recurso natural mais extraído do subsolo no Brasil e no mundo;

- taxas de extração superam as de reposição em vários aquíferos;
- contaminação, que em muitos casos inviabiliza o aquífero em virtude da complexidade técnica e dos custos da despoluição;
- características específicas que dificultam a sua gestão, com destaque às seguintes: a) invisibilidade natural e social dessas águas; b) baixa velocidade do fluxo subterrâneo; c) extensão dos aquíferos; e d) dificuldade de controlar o acesso;
- percepção cultural de que essas águas se vinculam ao direito de propriedade do solo;
- políticas públicas que negligenciam as águas subterrâneas e sua relação com as águas superficiais;
- desconhecimento sobre a situação dessas águas e dos aquíferos.

Enfatizar a governança das águas subterrâneas contribui para melhorar a gestão do recurso e buscar estratégias conjuntas e específicas entre os atores sociais diante das particularidades naturais e sociais dos aquíferos. Há várias definições para a governança das águas subterrâneas. Megdal *et al.* (2014, p. 678) as definem como:

a estrutura que compreende as leis, regulamentos e costumes sobre o uso da água subterrânea, bem como os processos de engajamento do setor público, setor privado e sociedade civil. Pode envolver ações administrativas de coordenação e processos de tomada de decisão entre e dentre os diferentes níveis jurisdicionais. Esta estrutura fundamentalmente molda como as águas subterrâneas são geridas e como os aquíferos são usados.

A governança não se confunde com a governabilidade, tampouco com a gestão ou gerenciamento, embora se observem confusões entre os termos. As distinções entre esses conceitos se centram no número de atores envolvidos e na amplitude do seu escopo (VILLHOLTH; CONTI, 2018). A *governabilidade* é parte da governança, entretanto, se restringe à “dimensão estatal do exercício de poder” (GONÇALVES, 2005, p. 3), concentrando-se nos atributos do exercício de poder do governo e em suas condições sistêmicas, tais como: “o regime político (se democrático ou autoritário), a forma de governo (se parlamentarista ou presidencialista), as relações entre os poderes (maior ou menor assimetria, por exemplo); os sistemas partidários (se pluripartidarismo ou bipartidarismo).” (DINIZ, 1999, p. 196).

A *gestão* centra-se nos atores com competência para realizar ações rotineiras voltadas ao diagnóstico, ao monitoramento e à aplicação de instrumentos de gestão ou leis. Seu foco reside na atuação de técnicos e gestores hídricos dedicados a implementar as leis (políticas) por meio de ações específicas. Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), o termo *gestão de águas subterrâneas* “compreende as atividades realizadas por atores legitimados para desenvolver, usar e proteger de forma sustentável os recursos hídricos subterrâneos.” (FAO, 2016, p. 17).

O *gerenciamento de recursos hídricos* corresponde à execução de ações estruturais e não estruturais voltadas ao controle dos sistemas hídricos (naturais ou artificiais), de forma a garantir os benefícios sociais e cumprir os requisitos ambientais. As medidas estruturais demandam a construção de estruturas, tais como: barragens, adutoras, estações de tratamento de água e esgoto, obras de contenção de erosões no solo, recuperação de áreas contaminadas, desassoreamento de corpos d’água, entre outras. As medidas não estruturais são os programas ou atividades que não exigem obras, como zoneamento do uso e ocupação do solo, ações de educação ambiental, campanhas para a legalização de poços etc. (GRIGG, 1996).

O escopo da governança é mais abrangente e inclusivo, pois incorpora o “conjunto de mecanismos e procedimento para lidar com a dimensão participativa e plural da sociedade”, considerando as visões não apenas do governo (governabilidade), mas, também, dos cientistas, usuários, organizações não governamentais, sociedade civil e comunidades tradicionais (VILLHOLTH; CONTI, 2018). Pressupõe, portanto: a) “expandir e aperfeiçoar os meios de interlocução e de administração do jogo de interesses”; e b) conferir ao Estado maior flexibilidade de atuação, permitindo a descentralização de funções, transferência de responsabilidades e ampliação do “universo de atores participantes, sem abrir mão dos instrumentos de controle e supervisão.” (DINIZ, 1999, p. 196).

O fortalecimento da ideia de governança gera mudança no paradigma da gestão das águas, que deixa de ser um tema exclusivo dos órgãos técnicos governamentais e passa a buscar parcerias com outros atores, incluindo distintas abordagens, tais como: a) aprendizagem social; b) técnicas de negociação e mediação de conflitos; c) saberes tradicionais; d) ações de educação ambiental; e) criação ou ampliação das oportunidades de participação dos usuários e da sociedade civil, etc.

Nesse processo estabeleceu-se a ideia de **Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (GIRH)**, definido pelo *Global Water Partnership* (GWP, 2000, p. 22) como um “processo que promove o desenvolvimento e a gestão coordenada da água, terra e recursos relacionados, a fim de maximizar o bem-estar econômico e social resultante de forma equitativa, sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas vitais.” Esse conceito visa a promover a integração horizontal dos múltiplos usos, bem como a integração vertical entre os diversos níveis institucionais (local, estadual ou provincial, nacional e transfronteiriça).

Organismos internacionais, tais como o *Global Water Partnership*, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e o Programa das Nações

Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), além de conferências internacionais e as edições do Fórum Mundial da Água defendem que esse modelo se configura como o mais eficiente para garantir a sustentabilidade no uso das águas (VILLAR, 2015). Seus apoiadores sustentam que os problemas hídricos poderiam ser solucionados pela GIRH, independentemente das diferenças nas condições físicas, econômicas, sociais e ambientais dos países (BISWAS, 2008). Advertem, porém, que a sua aplicação demanda um contexto de governança adequado para efetivamente promover a boa governança das águas (VILLAR, 2015).

- Desse modo, os processos para alcançar a boa governança e implementar a GIRH na prática são desafiadores e complementares. A GIRH estimula que a legislação e as instituições de água adotem os seguintes princípios: bacia hidrográfica como unidade espacial de gestão; participação dos atores sociais; mecanismos de financiamento; monitoramento; desenvolvimento de sistemas de informação. Além disso, incentiva que sejam adotadas as seguintes estratégias de gestão (Villar, 2015):
- determinação dos papéis do Estado em relação aos outros atores e regulação das titularidades e responsabilidades dos usuários e dos fornecedores de água;
- construção de parcerias entre governo, setor empresarial, comunidade e organizações voluntárias;
- prescrição em lei das instituições gestoras governamentais e das suas respectivas competências;
- busca de formas para garantir o uso sustentável do recurso;
- análise da situação dos recursos hídricos;

- instalação de consórcios de atores envolvidos no processo decisório, com representação dos setores da sociedade e equilíbrio de gênero;
- organização de sistemas de alocação da água, captação de águas, permissão de descarte de águas residuais e bancos de dados;
- gestão de recursos hídricos baseada na bacia hidrográfica;
- estruturas organizacionais em nível de bacia e sub-bacias para possibilitar a tomada de decisão no nível mais baixo possível;
- elaboração de planos pela GIRH com base em uma abordagem multissetorial e na participação dos atores.

No caso específico das águas subterrâneas, a GIRH chama a atenção para os seguintes pontos que precisam ser enfrentados pela gestão:

- as águas superficiais e subterrâneas não podem ser geridas de forma separada entre si ou independentemente dos ecossistemas relacionados (KENNEDY *et al.*, 2009);
- a gestão das águas subterrâneas requer que se observe o balanço entre extração e recarga das águas subterrâneas, e se faça um planejamento de uso de médio e longo prazos (KENNEDY *et al.*, 2009);
- a gestão das águas subterrâneas deve acompanhar o impacto da irrigação e de tarifas subsidiadas para o uso de energia e água, que embora desejáveis do ponto de vista socioeconômico, podem estimular a superexploração do aquífero (FOSTER; AIT-KADI, 2012);

- a gestão das águas subterrâneas deve ser incluída nas políticas de urbanização em virtude do impacto do uso e ocupação do solo e da ausência ou inadequação dos serviços de saneamento (FOSTER; AIT-KADI, 2012);
- a escala espacial da bacia hidrográfica precisa de ajustes para promover a gestão dos aquíferos (Foster; Ait-Kadi, 2012).

A partir dos anos 1990, diversos países, inclusive o Brasil, mudaram os seus marcos legais e institucionais com o objetivo de implementar a GIRH e incorporar as suas ferramentas na escala da bacia hidrográfica (MIRANDA; REYNARD, 2020). Nas próximas sessões se descreve o arcabouço político institucional brasileiro que orienta a implementação desse processo e a sua relação com as águas subterrâneas.

3.1 As águas subterrâneas na Constituição Federal de 1988

A Constituição Federal de 1988 representa um marco na gestão das águas subterrâneas, pois transformou radicalmente a sua natureza jurídica. Essas águas eram regidas pelo Código de Águas (Decreto nº 24.643/1934) que, de forma geral, as enquadrava como *águas particulares* (art. 8º), sendo o seu uso livre para os proprietários do terreno onde se encontrassem (art. 96). As únicas exceções a esse tratamento eram os casos das nascentes que: a) formassem a cabeceira de um rio (*caput fluminis*) em virtude da abundância de seu fluxo, conforme previsto no art. 2º, alínea “e” do Decreto nº 24.643/1934; ou b) estivessem situadas em terrenos públicos (TOVAR, 1955).

A Constituição Federal de 1946 publicizou as águas superficiais, porém não mencionou as águas subterrâneas. Somente a partir da Constituição Federal de 1988 houve a publicização de todas as águas subterrâneas, que foram

incluídas expressamente no seu art. 26, inc. I. Dessa forma, o domínio das águas foi assim dividido entre União e estados:

Art. 20. São bens da União:

III – os lagos, rios e quaisquer correntes de água em terrenos de seu domínio, ou que banhem mais de um Estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;

IX – os recursos minerais, inclusive os do subsolo;

Art. 26. Incluem-se entre os bens dos Estados:

I – as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obras da União.

As águas atribuídas à União, no inc. III da Carta Magna, se restringem às águas superficiais (lagos, rios e correntes de água) que preencham as seguintes condições: “límitrofes com Estados ou com outro país, ou situadas em mais de um Estado ou País.” (MILARÉ, 2020, p. 1154). Aos Estados, por sua vez, o art. 26 atribui as águas superficiais não inclusas no art. 20, inc. I, e as águas subterrâneas, não havendo qualquer condicionante territorial para o domínio dos recursos hídricos subterrâneos (MILARÉ, 2020). Apesar disso, algumas águas subterrâneas também podem ser classificadas como *recursos minerais* e submetidas ao domínio da União em virtude da legislação mineral.

As águas subterrâneas pertencem aos Estados (CAMARGO; RIBEIRO, 2009; FERNANDES, 2019; VILLAR; GRANZIERA, 2020). A Carta Magna extinguiu as águas municipais e particulares. Esse entendimento foi corroborado pela Lei

nº 9.433/1997, que classificou a água como um bem de domínio público (art. 1º, inc. I), portanto, não se aplica mais o direito de propriedade aos recursos hídricos, cujo uso é condicionado à regulação estadual. A maioria das disposições do Código de Águas se tornou incompatível com o regime de dominialidade instituído pela Constituição Federal e com o regime das águas da Lei nº 9.433/1997.

A jurisprudência do Superior Tribunal de Justiça (STJ) indicou a possibilidade de existirem águas subterrâneas federais (STJ, 2016a; 2016b). Essa interpretação se deu em ações que discutiram a legalidade de atos do Poder Público que, amparados por decretos estaduais ou pelo art. 45 da Lei nº 11.445/2007, visavam proibir poços, sem outorga, como fonte alternativa de água em áreas dotadas de rede de abastecimento de água. Esse posicionamento não afasta o domínio estadual das águas subterrâneas, pois foi proferido em ações que não discutiam o domínio dessas águas, nem contaram com a participação dos Estados e da União.

O tema foi amplamente debatido na discussão do Projeto de Emenda à Constituição (PEC) nº 43/2000, que visava transferir ao domínio federal as águas subterrâneas que ultrapassassem os limites estaduais ou que fossem compartilhadas com outros países. A ANA e diversos Comitês de Bacias Hidrográficas foram contrários à PEC por entender que a gestão dos aquíferos deve priorizar a escala local. A PEC 43/2000 foi arquivada por questões de mérito, pois segundo a Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania a proposta era contrária ao modelo descentralizado e não contribuiria para o aperfeiçoamento da Política Nacional de Recursos Hídricos (CASAGRANDE; ABREU, 2010, p. 4).

Além de definir o domínio das águas, a Constituição Federal de 1988, no art. 21, inc. XIX, determinou a obrigação da União “instituir o sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos e definir os critérios de outorga de direito de seu uso.” O art. 22, inc. IV, por sua vez, atribuiu à União a competência



privativa para legislar sobre o direito de águas (VILLAR; GRANZIERA, 2020). Tais comandos constitucionais abriram caminho para a promulgação da Lei nº 9.433/1997, que fundamenta as bases da governança hídrica no país. A gestão estadual das águas subterrâneas, portanto, está condicionada à observância dos pressupostos constantes na legislação federal de águas. Ressalta-se, ainda, que o domínio estadual não interfere na capacidade da União em estabelecer negociações que envolvam aquíferos transfronteiriços (art. 21, inc. I, da CF/88), tanto é assim que o Brasil celebrou, com a Argentina, Paraguai e Uruguai, o Acordo sobre o Aquífero Guarani, cujos pressupostos devem ser obedecidos pelos Estados.



3.2 A Política Nacional de Recursos Hídricos: nova forma de gerir as águas

A Lei nº 9.433/1997, denominada Política Nacional de Recursos Hídricos, é composta por 57 artigos divididos em quatro títulos: Título I – Da Política Nacional de Recursos Hídricos; Título II – Do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh); Título III – Das Infrações e Penalidades; e Título IV – Das Disposições Gerais e Transitórias. Seus dispositivos se referem às águas de maneira geral, sem diferenciar águas superficiais de subterrâneas.

Esse diploma transformou a gestão dos recursos hídricos até então regida pelo Código de Águas (Decreto nº 24.643/1934), que tinha uma visão centralizadora, privatista e utilitarista, focada principalmente no uso do potencial hidráulico, sem preocupação com a conservação das águas (POMPEU, 2006; MILARÉ, 2020). A Lei nº 9.433/1997 elaborou um modelo de governança pautado na gestão descentralizada, integrada e participativa (BARBI; JACOBI, 2007), que incorporou as principais diretrizes do modelo da GIRH.

A lei adotou a bacia hidrográfica como unidade de gestão, permitiu a participação dos atores sociais, atribuiu valor econômico à água, determinou as organizações responsáveis pela gestão e estabeleceu instrumentos para orientar o aproveitamento, uso e proteção das águas. Além disso, estabeleceu que a gestão das águas deve integrar os aspectos de quantidade e qualidade, bem como levar em conta os múltiplos usos dos recursos hídricos, a gestão ambiental, o uso do solo, o planejamento territorial e a relação com os sistemas estuarinos e zonas costeiras. A Figura 11 demonstra os seus fundamentos, objetivos, diretrizes, instrumentos de gestão e quadro institucional.



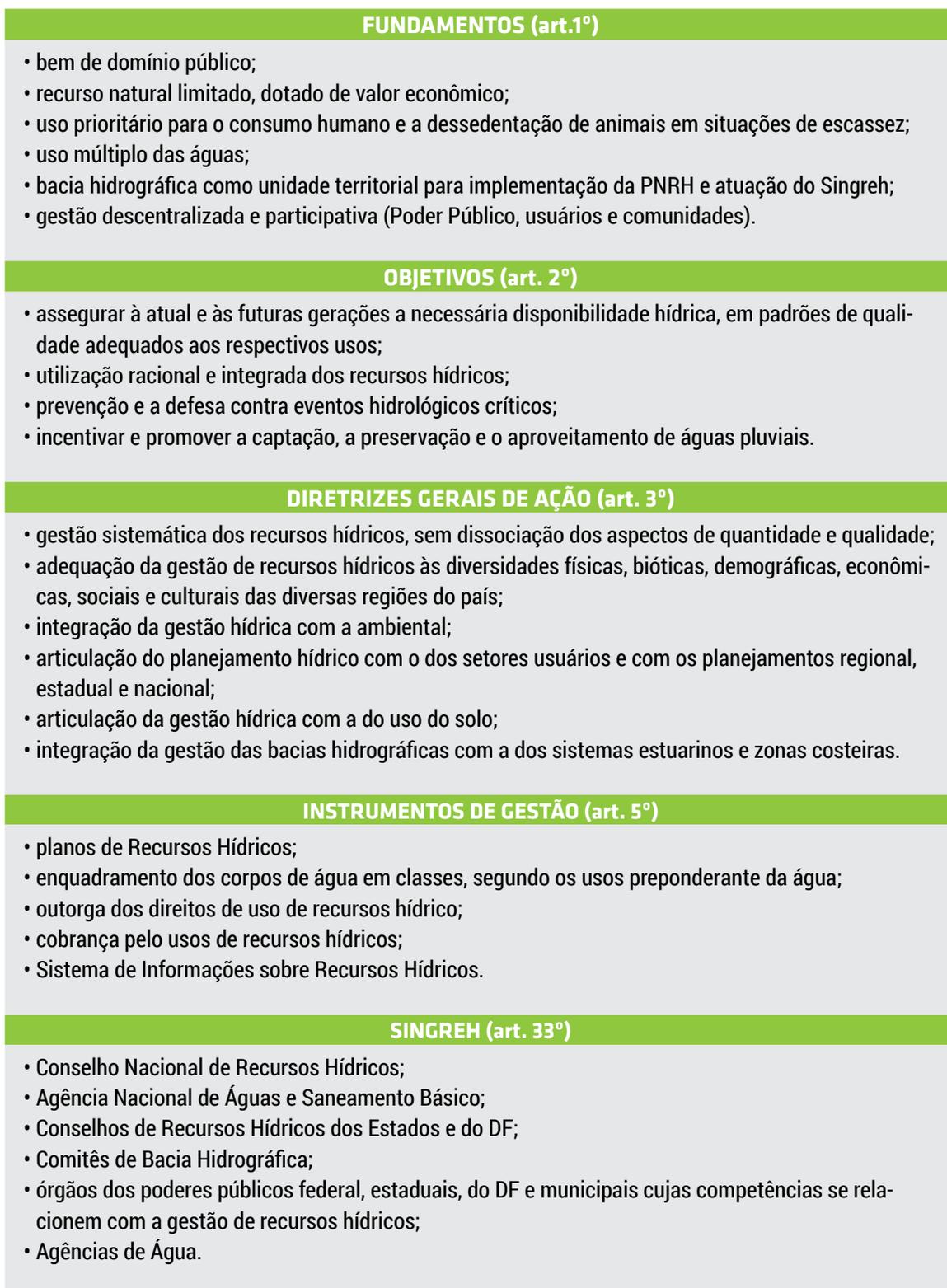


Figura 11 – Fundamentos, objetivos, diretrizes, instrumentos de gestão e a arquitetura institucional da Política Nacional de Recursos Hídricos

Fonte: Brasil (Lei nº 9.433/1997).

A Lei nº 9.433/1997 não trouxe diretrizes específicas para as águas subterrâneas, nem definiu o conceito e alcance da gestão integrada ou a forma de conciliar a territorialidade da bacia hidrográfica com a dos aquíferos, tampouco especificou como aplicar os instrumentos de gestão às particularidades das águas subterrâneas ou como construir a coordenação com outras gestões, tais como a ambiental, saneamento, desenvolvimento territorial, costeira, municipal, estadual e nacional. Ao estabelecer, contudo, o Singreh, criou-se um aparato institucional capaz de adaptar e operacionalizar a gestão às particularidades dos recursos hídricos subterrâneos.

Apesar da sua aplicação ter priorizado os recursos superficiais, percebe-se, gradativamente, um esforço institucional no sentido de incluir as águas subterrâneas. O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), no art. 3º da Resolução nº 202/2018, definiu que a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas deve considerar os seguintes aspectos básicos:

- i. delimitação das áreas de recarga e de contribuição dos aquíferos para os rios diretamente conectados;
- ii. estimativa da contribuição dos aquíferos para a vazão de base dos rios;
- iii. estimativa da recarga e as reservas explotáveis e renováveis;
- iv. estimativa da disponibilidade hídrica integrada subterrânea e superficial para os diversos usos;
- v. as redes de monitoramento hidrometeorológica e hidrogeológica necessárias.

3.3 O arranjo institucional à proteção das águas subterrâneas: o Singreh

A aplicação da política de águas é conduzida pelo Singreh, que se materializa por meio de um conjunto de órgãos e entidades que atuam na gestão de recursos hídricos no Brasil, com hierarquias e atribuições específicas, segundo a sua escala de atuação (Figura 12). Seus objetivos foram definidos no art. 32 da Lei nº 9.433/97:

- coordenar a gestão integrada das águas;
- arbitrar administrativamente os conflitos relacionados com os recursos hídricos;
- implementar a Política Nacional de Recursos Hídricos;
- planejar, regular e controlar o uso, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos;
- promover a cobrança pelo uso de recursos hídricos.

Em razão da repartição do domínio das águas, o Singreh se divide em dois níveis de competência: federal e estadual. Essa arquitetura político-administrativa é composta por três categorias de órgãos que se dividem conforme a sua natureza e atuação (Granziera, 2015):

- *órgãos colegiados*: Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH); Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal e Comitês de Bacia Hidrográfica;

- *órgãos e entidades de gestão e controle*: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Agências de Água, órgãos e entidades dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais, cujas competências se relacionem com a gestão e controle de recursos hídricos;
- *organizações civis de recursos hídricos*: (a) consórcios e associações intermunicipais de bacias hidrográficas; (b) associações regionais, locais ou setoriais de usuários de recursos hídricos; (c) organizações técnicas e de ensino e pesquisa com interesse na área de recursos hídricos; (d) organizações não governamentais com objetivos de defesa de interesses difusos e coletivos da sociedade; (e) outras organizações reconhecidas pelo Conselho Nacional ou pelos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos.

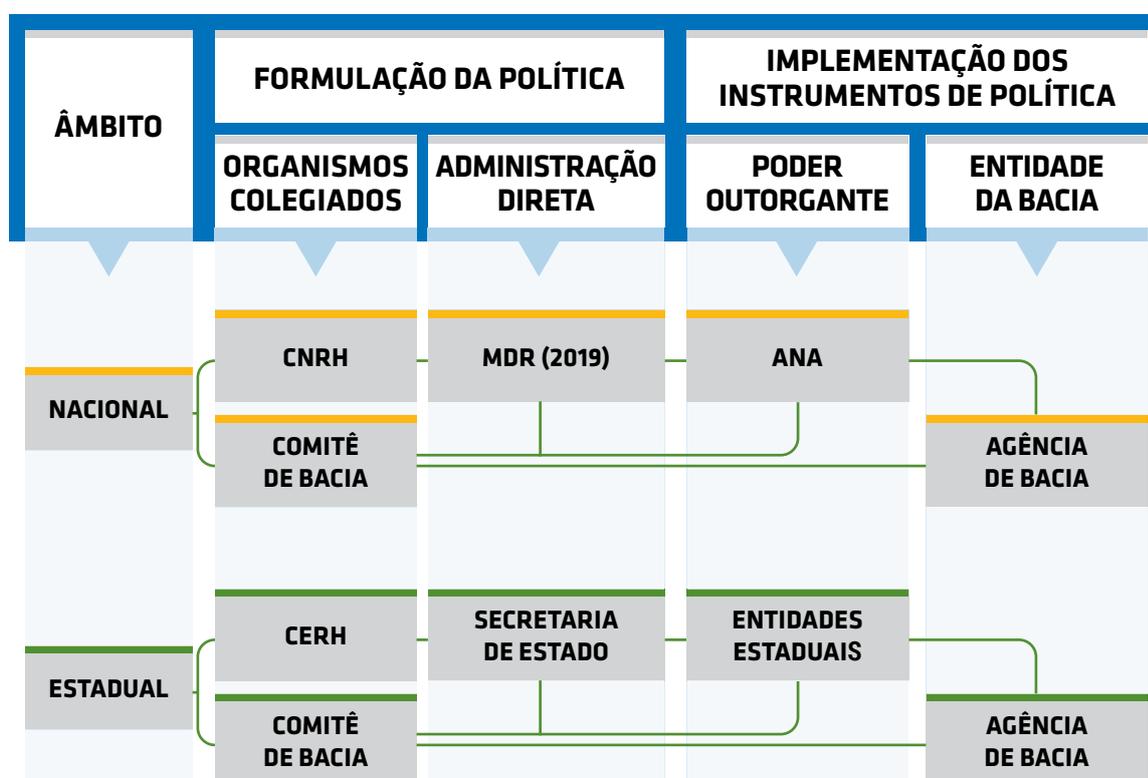


Figura 12 – Matriz e funcionamento do Singreh*

Fonte: Villar e Granziera (2020, p. 48).

(*) Composição, natureza jurídica e atribuições específicas de cada órgão ou entidade serão detalhadas nos próximos itens.

Esses órgãos são responsáveis por promover a gestão integrada das águas e conciliar a territorialidade dos aquíferos e da bacia hidrográfica. Se os aquíferos ultrapassarem os limites da bacia, esses órgãos promoverão “a uniformização de diretrizes e critérios para coleta dos dados e elaboração dos estudos hidrogeológicos necessários à identificação e caracterização da bacia hidrogeológica” (art. 4º da Res. CNRH nº 15, de 11 de janeiro de 2001). Os Comitês de Bacia Hidrográfica “deverão buscar o intercâmbio e a sistematização dos dados gerados para a perfeita caracterização da bacia hidrogeológica” (art. 4º, parágrafo único).

No caso dos aquíferos transfronteiriços ou interestaduais, o Singreh é o responsável por promover a integração dos “órgãos dos governos federal, estaduais e do Distrito Federal que têm competências no gerenciamento de águas subterrâneas.” Caso existam conflitos nesse processo, os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal são os responsáveis por resolvê-los em primeira instância, e o CNRH em última instância (art. 5º, § 1º da Res. CNRH nº 15/2001). No caso dos aquíferos transfronteiriços, deve-se levar em conta os acordos celebrados entre a União e os países do aquífero.

Além disso, o Sistema Nacional e os Sistemas Estaduais e do Distrito Federal de Gerenciamento de Recursos Hídricos devem orientar os municípios a: i) promover a gestão integrada das águas subterrâneas de forma a seguir os planos de recursos hídricos; ii) proteger as áreas de recarga dos aquíferos; e iii) estimular a adoção de práticas de reuso e de recarga artificial (Res. CNRH nº 15/2001).

As águas subterrâneas são geridas pelos sistemas estaduais de recursos hídricos que, por sua vez, integram um sistema nacional dotado de infraestrutura institucional e normativa que norteia a gestão estadual. Os estados são os responsáveis por organizar a gestão das águas subterrâneas, bem como controlar e fiscalizar o seu uso e qualidade. Suas políticas, contudo, devem estar alinhadas à política nacional de águas e seus regulamentos. Tradicionalmente, a gestão do uso (quantidade) é realizada pelos órgãos estaduais de recursos hídricos,

enquanto os aspectos de qualidade são analisados pelos órgãos estaduais ambientais, estabelecidos pelo Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama). Os órgãos que compõem a estrutura nacional do Singreh têm importante papel na orientação e coordenação dessa gestão, como se verá a seguir.

3.3.1 O Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR)

Com base na Lei nº 13.844/2019, o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR) é o responsável pela política nacional de recursos hídricos, com competência nas seguintes políticas nacionais: a) desenvolvimento regional; b) desenvolvimento urbano; c) proteção e defesa civil; d) segurança hídrica; e) irrigação; f) saneamento; e g) ordenamento territorial. Por isso, tornou-se o responsável pela elaboração dos planos, programas, projetos e ações de gestão de recursos hídricos, infraestrutura e garantia da segurança hídrica, irrigação, proteção e defesa civil e de gestão de riscos e desastres, habitação, saneamento, mobilidade e serviços urbanos (art. 29).

A Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH) é a principal responsável pela política de águas e tem as seguintes competências: a) coordenar a formulação, revisão, implementação, monitoramento e avaliação da Política Nacional de Segurança Hídrica da Política Nacional de Recursos Hídricos e de seus instrumentos; b) formular políticas, planos e normas e definir estratégias sobre gestão integrada de recursos hídricos, incluídas as águas fronteiriças e transfronteiriças; c) coordenar a elaboração e a revisão de planos, programas e projetos nacionais referentes a águas subterrâneas e monitorar o desenvolvimento de suas ações, de acordo com o princípio da gestão integrada dos recursos hídricos; e d) exercer a função de Secretaria-Executiva do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (art. 19, do Decreto nº 10.773/2021). A SNSH é composta pelo Departamento de Obras Hídricas e Apoio a Estudos sobre Segurança Hídrica (Departamento de Projetos Estratégicos e Departamento de Recursos Hídricos e de Revitalização de Bacias Hidrográficas) (art. 2º, II, b do

Decreto nº 10.773/2021), cujas competências estão previstas, respectivamente, nos arts. 20, 21 e 22 do Decreto nº 10.773/2021.

No caso específico dos aquíferos cabe ao Departamento de Obras Hídricas e Apoio a Estudos sobre Segurança Hídrica apoiar a execução de obras de perfuração de poços e acompanhar a implementação das ações dos projetos destinados à ampliação da oferta hídrica. O Departamento de Projetos Estratégicos, por sua vez, deve fomentar a elaboração de estudos e de propostas da Política Nacional de Segurança Hídrica e de seus instrumentos e acompanhar, supervisionar e fiscalizar as ações destinadas ao aproveitamento estratégico dos recursos da água e do solo. Já o Departamento de Recursos Hídricos e de Revitalização de Bacias Hidrográficas é responsável por: a) coordenar, apoiar e monitorar a implementação da Lei nº 9.433./1997 e do Plano Nacional de Recursos Hídricos; b) apoiar os Estados e o Distrito Federal na implementação das políticas e sistemas de gerenciamento estaduais; c) apoiar tecnicamente a constituição e o funcionamento dos comitês de bacias hidrográficas; d) propor diretrizes para o gerenciamento de aquíferos fronteira e transfronteira; e) elaborar planos, programas e projetos relacionados aos recursos hídricos, incluindo as águas subterrâneas; f) exercer a Secretaria-Executiva do CNRH; e g) articular a gestão de recursos hídricos com a do uso do solo.

3.3.2 O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH)

Vinculado à estrutura do MDR, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é o órgão consultivo e deliberativo, de âmbito nacional, do Singreh. Sua função é “promover a articulação dos planejamentos nacional, regionais, estaduais e dos setores usuários elaborados pelas entidades” que integram o Singreh e “formular a Política Nacional de Recursos Hídricos”, nos termos da Lei nº 9.433/1997 (art. 2º da Lei nº 9.984/2000). Suas competências se encontram no art. 1º do Decreto nº 10.000/2019 e em seu Regimento Interno, aprovado pela Resolução CNRH nº 215, de 30 de junho de 2020. O CNRH é

responsável por estabelecer diretrizes complementares à implementação da Lei nº 9.433/1997, tendo editado diversas resoluções que visam a orientar a aplicação dos instrumentos de gestão para as águas subterrâneas (Quadro 1).

Resolução CNRH nº 15/2001	Estabelece as diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas
Resolução CNRH nº 16/2001	Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos
Resolução CNRH nº 22/2002	Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas nos instrumentos dos Planos de Recursos Hídricos
Resolução CNRH nº 29/2002	Define diretrizes para a outorga de uso dos recursos hídricos para aproveitamento dos recursos minerais
Resolução CNRH nº 48/2005	Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos
Resolução CNRH nº 76/2007	Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários
Resolução CNRH nº 91/2008	Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de águas superficiais e subterrâneas
Resolução CNRH nº 92/2008	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro
Resolução CNRH nº 107/2010	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para o planejamento, a implantação e a operação da Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas
Resolução CNRH nº 126/2011	Aprova diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos
Resolução CNRH nº 153/2013	Estabelece critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território brasileiro

Resolução CNRH nº 184/2016	Estabelece diretrizes e critérios gerais para definição das derivações e captações de recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e lançamentos de efluentes em corpos de água e acumulações de volumes de água de pouca expressão, considerados insignificantes, os quais independem de outorga de direito de uso de recursos hídricos, e dá outras providências.
Resolução CNRH nº 202/2018	Estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que contemplem a articulação entre a União, os estados e o Distrito Federal com vistas ao fortalecimento dessa gestão.

Quadro 1 – Principais Resoluções editadas pelo CNRH relacionadas diretamente às águas subterrâneas

Fonte: Villar e Granziera (2020).

Esses atos normativos nacionais orientam os estados e os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) no processo de aplicação dos instrumentos de gestão hídrica para as águas subterrâneas e estabelecem diretrizes e ações de gestão. É o caso da implantação da rede de monitoramento integrado ou das diretrizes gerais para a recarga artificial e intercâmbio de dados entre órgãos estaduais de recursos hídricos e a Agência Nacional Mineração. O CNRH possui a Câmara Técnica de Integração com a Gestão Ambiental e Territorial (art. 9º, inc. IV do Decreto 10.000/2019), que é a responsável por propor ações para a inserção das águas subterrâneas na gestão hídrica e substituiu a Câmara Técnica de Águas Subterrâneas.

O CNRH também tem competência para atuar na resolução de conflitos entre os Estados relacionados às águas superficiais e subterrâneas. Esse papel de mediação se destaca no caso de conflitos pelo uso de aquíferos interestaduais ou transfronteiriços ou, ainda, que envolvam a relação dos aquíferos com os rios federais.

3.3.3 A atuação da ANA nas águas subterrâneas e a gestão integrada dos recursos hídricos

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), originalmente chamada de Agência Nacional de Águas, foi criada pela Lei Federal nº 9.984, de 17 de julho de 2000. A Lei Federal nº 14.026, de 15 de julho de 2020, mudou sua denominação original e ampliou o seu rol de competências, que estão previstas nos arts. 4º e 4º-A da Lei nº 9.984/2000. O art. 1º da Lei nº 9.984/2000 define a ANA da seguinte forma:

uma entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico, e estabelece regras para sua atuação, sua estrutura administrativa e suas fontes de recursos.

Integrante do Singreh, a ANA é uma autarquia sob regime especial, com autonomia administrativa e financeira. Em 2019 foi vinculada ao MDR (Decreto nº 9.666/2019). Suas funções são implementar, no âmbito de suas competências, a Política Nacional de Recursos Hídricos e instituir normas de referência à regulação dos serviços públicos de saneamento básico, bem como promover a gestão das águas de domínio da União.

No tocante às águas subterrâneas, a ANA busca apoiar a gestão estadual e fortalecer a gestão integrada dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, com ênfase na relação rio-aquífero. Sua atuação na área de águas subterrâneas se dá, principalmente, por meio da implementação da Agenda de Ações para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos Superficiais e Subterrâneos, doravante chamada de Agenda de Águas Subterrâneas, , cujas atribuições estão previstas no Programa Nacional de Águas Subterrâneas (PNAS), incluso no

Plano Nacional de Recursos Hídricos. Essa agenda visa a “propor e executar um conjunto de ações que venham fortalecer a implementação da gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos no Brasil.” Ela se estrutura em cinco ações principais que se dividem em várias atividades, como mostra a Figura 13:

AÇÕES	ATIVIDADES
Promoção da gestão integrada de aquíferos conectados com rios federais	Diagnóstico dos aquíferos conectados com rios federais
	Elaboração de avaliações para a gestão integrada
	Proposição de marcos regulatórios e alocações
Elaborações de avaliações hidrogeológicas	Identificar e elaborar estudos em aquíferos de áreas urbanas abastecidas por AS
	Identificar e elaborar avaliações hidrogeológicas em aquíferos interestaduais e transfronteiriças
	Elaborar portfólio para soluções de abastecimento com AS em áreas com vulnerabilidade hídrica por eventos críticos
Sistematização de dados e monitoramento de AS	Operar e manter o Sistema de Águas Subterrâneas SAS/SHRH
	Planejar e coordenar a Rede Nacional de Monitoramento Integrado
	Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas
Apoio a elaboração de planos de recursos hídricos no tema AS	Elaborar o diagnóstico de Águas subterrâneas nos planos de recursos hídricos
	Implementar ações previstas nos planos de recursos hídricos para AS
Capacitação	Planejamento de capacitação específica em gestão integrada
	Implementação da capacitação específica em gestão integrada

Figura 13 – Agenda de Águas Subterrâneas da ANA

Fonte: ANA (2015a, p. 12).

A ANA tem se destacado na ampliação do conhecimento hidrogeológico por meio do mapeamento de aquíferos e na realização de estudos hidrológicos ou projetos pilotos que visem a promover a gestão integrada rio-aquífero. Além disso, promoveu estudos em aquíferos vitais para o abastecimento das seguintes Regiões Metropolitanas (RM): Maceió, Natal, Belém, Ilha de São Luís, e Manaus.

Diante de sua atuação na elaboração dos planos de recursos hídricos em bacias hidrográficas de domínio da União, a ANA incluiu, de modo pioneiro, a abordagem hídrica integrada rio-aquífero nos planos de bacia hidrográfica do Rio Doce, do Rio Grande, do Rio Paranapanema e do Rio Paraguai. A Agência atua em estreita articulação com os órgãos estaduais gestores de recursos hídricos, comitês de bacia e agências de bacia, com vistas a elaborar tais planos.

A ANA também possui competência para organizar, implantar e gerir o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH) (art. 4º, XIV da Lei nº 9.984/2000). E atua, ainda, na coordenação e planejamento da Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas, conforme a Resolução CNRH nº 107/2010.

Em 2019, em parceria com o SGB-CPRM, a ANA iniciou um projeto piloto em aquíferos com elevado escoamento de base, com vistas à operação conjunta de pontos de monitoramento da Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS), de forma integrada com a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN). O primeiro piloto contempla o Sistema Aquífero Urucuaia, com cerca de 75 pontos operando conjuntamente. Atualmente, a RIMAS tem cerca de 400 pontos de monitoramento, distribuídos em 24 aquíferos e 20 estados (GENARO; PEIXINHO; MOURÃO, 2019).

Outra contribuição da ANA para as águas subterrâneas está relacionada à criação do Programa Produtor de Água⁶. Este programa ocorre em parceria com diversas instituições onde são conduzidos projetos locais de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA), que adotam práticas de reflorestamento e plantio conservacionista para aumentar a permeabilidade do solo e recuperar ou aumentar o fluxo hídrico de nascentes. A ANA, inclusive, desenvolveu metodologia (OLIVEIRA *et al.*, 2021) para identificar as áreas mais favoráveis nas bacias hidrográficas a fim de implantar práticas conservacionistas com vistas a maximizar a recarga.

O Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM) é uma empresa pública ligada ao Ministério de Minas e Energia, com atribuições de serviço geológico (vide Lei Federal nº 8.970/1994). Embora não seja um órgão integrante do Singreh, o SGB-CPRM é um importante parceiro da ANA no levantamento de dados geológicos sobre águas subterrâneas. A instituição detém o maior acervo de dados geológicos, hidrológicos e hidrogeológicos do país. Além disso, opera parte da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) para a ANA e a Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas (RIMAS). Também é responsável pelo Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), que tem amplo cadastro de poços no Brasil. Esse acervo é constituído por informações catalogadas por meio de fichas de poços fornecidas por instituições públicas e privadas, gestoras e usuárias de água subterrânea. Trata-se de um cadastro que não possui validade para fins de averiguar a regularidade do uso das águas.

3.3.4 Comitês de Bacia Hidrográfica e inclusão dos aquíferos na gestão

Os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) são órgãos colegiados com atribuições normativas, deliberativas e consultivas, vinculados ao Poder Público e subordinados aos respectivos Conselhos de Recursos Hídricos (Res. CNRH nº

⁶ Para mais informações, consulte o site *Programa Produtor de Água*: <https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>.

5/2000), e fazem parte dos sistemas nacionais e estaduais de gerenciamento de recursos hídricos. Caso sua área de atuação seja um rio federal, são vinculados ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos; e no caso de rios estaduais vinculam-se ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Trata-se de um órgão político que se materializa por meio da construção de um fórum de discussão entre o Poder Público, usuários e sociedade civil, portanto, não possuem personalidade jurídica. Esses órgãos colegiados se caracterizam como a instância mais importante de participação local, de integração do planejamento e de gestão de águas (VILLAR; GRANZIERA, 2020). A Lei nº 9.433/1997, no art. 38, e a Resolução CNRH nº 5/2000 definem suas principais competências:

- promover o debate das questões relacionadas aos recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes;
- arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos;
- aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia;
- acompanhar a execução do Plano de Recursos Hídricos da bacia e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas;
- propor ao CNRH e aos Conselhos Estaduais de Recursos Hídricos as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão, para efeito de isenção da obrigatoriedade de outorga de direitos de uso de recursos hídricos, de acordo com os seus domínios;
- estabelecer os mecanismos de cobrança pelo uso de recursos hídricos e sugerir os valores a serem cobrados;

- compatibilizar os planos de bacias hidrográficas de cursos de água de tributários, com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica de sua jurisdição;
- aprovar as propostas da Agência de Água que lhe forem submetidas;
- submeter, obrigatoriamente, os planos de recursos hídricos da bacia hidrográfica à audiência pública;
- desenvolver e apoiar iniciativas em educação ambiental;
- aprovar seu regimento interno.

O CBH tem competência para aprovar e acompanhar a execução dos planos de bacia. Deve, portanto, verificar se o instrumento de planejamento incorporou as águas subterrâneas, observando as diretrizes do CNRH, com destaque às Resoluções 22/2002, 92/2008 e 202/2018. Além disso, o CBH é responsável por determinar os volumes considerados insignificantes e estabelecer os valores da cobrança dos recursos hídricos subterrâneos.

A Lei nº 9.433/1997, no seu art. 37, estabelece que os CBHs podem ter como área de atuação: a) “a totalidade de uma bacia hidrográfica” (inc. I); b) “sub-bacia hidrográfica de tributário do curso de água principal da bacia, ou de tributário desse tributário” (inc. II); ou c) “grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas” (inc. III). A bacia hidrográfica se refere justamente ao “espaço geográfico delimitado pelo respectivo divisor de águas, cujo escoamento superficial converge para o seu interior, sendo captado pela rede de drenagem que lhe concerne.” (ANA, 2015, p. 7). Apesar dessa unidade territorial ter como foco o recorte das águas superficiais, isso não inviabiliza a gestão dos aquíferos, especialmente em razão da ideia de gestão integrada dos recursos hídricos e da contribuição dos aquíferos para os corpos hídricos superficiais.

Como o recorte da bacia hidrográfica nem sempre converge com o dos aquíferos, os CBHs devem elaborar arranjos de cooperação interinstitucional de forma a construir a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas. Por isso, a Res. CNRH nº 15/2001, no art. 4º, parágrafo único, determinou que no caso dos aquíferos subjacentes a duas ou mais bacias hidrográficas, cabe aos CBHs buscar o intercâmbio e a sistematização dos dados gerados para a perfeita caracterização da bacia hidrogeológica.

De forma geral, os CBHs enfrentam dificuldades em inserir as águas subterrâneas em suas discussões. Isso, em grande parte, se deve a uma atuação mais centrada nos recursos hídricos superficiais, à falta de conhecimento sobre as águas subterrâneas e de pessoal especializado ou ao baixo engajamento social. Programas e iniciativas de educação ambiental e capacitação técnica voltadas às águas subterrâneas podem ajudar a transformar essa realidade.

3.4 Os Estados e a gestão das águas subterrâneas

Os estados e o Distrito Federal são os responsáveis por: a) definir as políticas estaduais para os recursos hídricos que incluem águas subterrâneas; b) estabelecer a infraestrutura institucional dos Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos; c) conduzir a implantação dos instrumentos de gestão hídrica previstos na Lei nº 9.433/1997; e d) promover estudos sobre os aquíferos (FERNANDES, 2019).

A gestão estadual hídrica deve observar as normas nacionais relacionadas ao Direito de Águas, que é de competência privativa da União (art. 22, inc. IV, da CF/88) (FERNANDES, 2019; VILLAR; GRANZIERA, 2020). A Lei nº 9.433/1997, as resoluções do CNRH e do Conama estabeleceram ou regulamentaram instrumentos de gestão aplicáveis às águas subterrâneas que devem ser incorporados às políticas estaduais, bem como recomendam a realização de diversos estudos técnicos no âmbito das bacias hidrográficas.

A Figura 14 demonstra que os instrumentos de gestão hídrica podem ser divididos em duas categorias: os que se dedicam às águas em geral, e os específicos às águas subterrâneas. Além desses, a gestão das águas também é influenciada pela aplicação de instrumentos de outras políticas públicas que podem contribuir para a gestão dos aquíferos. Os estados e o Distrito Federal têm papel fundamental na aplicação desses instrumentos, bem como devem estimular os municípios a considerarem os aquíferos no ordenamento territorial municipal.



Figura 14 – Instrumentos diretos e indiretos de gestão das águas subterrâneas

Fonte: Villar e Hirata (2022, p. 5).

Os estados e o Distrito Federal são os responsáveis pela gestão das águas subterrâneas, mesmo nos casos dos aquíferos interestaduais e transfronteiriços. Este fato ressalta a importância de as políticas e sistemas estaduais de recursos hídricos atuarem de forma conjunta, especialmente para promover o monitoramento dos aquíferos, a troca de informações e medidas de gestão que protejam as áreas de recarga e o fluxo subterrâneo, quando compartilhados.

É necessária, também, maior articulação entre os sistemas federal e estaduais, algo que já ocorre no caso das águas superficiais por meio da Rede Nacional de Monitoramento de Qualidade das Águas (RNQA) e do Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – Programa Qualiágua (Resolução ANA nº 643/2016).

3.5 Municípios e seu papel na gestão dos aquíferos

Apesar de não existirem águas municipais, os entes municipais são importantes atores sociais na gestão hídrica, pois são parte dos CBHs e possuem competências específicas para temas diretamente relacionados à gestão hídrica. Desse modo, os municípios possuem competência administrativa exclusiva para prestar os serviços públicos de interesse local (art. 30, V, da CF/88), que inclui a organização e prestação do saneamento, seja de forma direta ou sob regime de concessão ou permissão. Além disso, possuem competência exclusiva para promover o ordenamento territorial mediante planejamento e controle do uso, do parcelamento e da ocupação do solo urbano (art. 30, VIII, da CF/88) e competência legislativa exclusiva em assuntos de interesse local (art. 30, I, da CF/88).

O município pode estabelecer diversas restrições no uso e ocupação do solo de forma a proteger os aquíferos com base nos instrumentos previstos no art. 4º do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), com especial ênfase ao

plano diretor, ao zoneamento municipal e à criação de espaços territoriais protegidos. São exemplos desse tipo de restrição administrativa: a) adoção de parâmetros ambientais mais rígidos para ocupação das áreas de recarga; b) proibição da instalação de atividades ou empreendimentos potencialmente poluidores em áreas de recarga; c) imposição de maiores porcentagens de área verde ou de tecnologias que contribuam para garantir a permeabilidade do solo; d) estímulo à adoção de práticas de reuso; ou e) criação de unidades de conservação em áreas de recarga.

Nesse sentido, a Resolução CNRH nº 15/2001 determina que os órgãos do Singreh devem propor mecanismos de estímulo aos municípios para a proteção dos aquíferos e adoção de práticas de reuso e recarga artificial das águas (art. 6º, parágrafo único). Além disso, o planejamento territorial municipal deve observar as diretrizes contidas nos planos de bacia hidrográfica de forma a contribuir para a gestão integrada das águas e do solo (art. 6º).

O art. 23 da CF/88 atribui a competência administrativa comum em matéria ambiental, o que permite que os municípios tenham ações destinadas a proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas; preservar as florestas, a fauna e a flora; promover a melhoria das condições de saneamento básico; registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios (vide art. 23 da CF/88). Já a Lei Complementar (LC) nº 140/2011, no art. 9º, XIV, “a” e “b”, regulamentou a competência municipal para o licenciamento ambiental de atividades que causem ou possam causar impacto ambiental de âmbito local. Sem o apoio desses entes administrativos, porém, dificilmente haverá boa gestão dos aquíferos.

3.6 Os usuários de águas subterrâneas e a gestão hídrica

O aproveitamento das águas subterrâneas se faz por meio de poços ou de nascentes. Os principais usuários de águas subterrâneas (maiores volumes extraídos) utilizam os poços tubulares⁷, beneficiando-se de forma exclusiva dessas águas, cujo aproveitamento está sob seu controle. Sem a participação desses usuários não é possível alcançar a utilização racional e integrada dos recursos hídricos ou garantir a disponibilidade de água para as presentes e futuras gerações.

São responsabilidades dos usuários das águas subterrâneas: a) obter as permissões necessárias para perfurar o poço e usar as águas subterrâneas (por exemplo licença de perfuração de poço, outorga de direito de uso ou outros documentos que atestem tratar-se de uso isento ou considerado insignificante); b) contratar empresas idôneas de perfuração que sigam as normas técnicas; c) realizar a inscrição no cadastro de poços; d) operar e manter o poço de acordo com as normas técnicas, de forma a protegê-lo de contaminantes; e) monitorar a qualidade e quantidade da água, mantendo um bombeamento dentro dos parâmetros técnicos recomendados e dos termos da outorga; f) guardar a informação necessária sobre o perfil e funcionamento do poço; g) dotar a captação de água subterrânea de dispositivos que permitam a coleta de água, medições de nível, vazão e volume captado, de forma a realizar o monitoramento quantitativo e qualitativo; h) recolher os valores devidos pelo uso da água nos casos em que a cobrança esteja implementada na bacia; e i) tamponar os poços abandonados ou improdutivos, conforme instruções do órgão gestor estadual. Além disso, os usuários podem adotar soluções

⁷ Os poços são divididos em duas categorias principais: i) poços tubulares, popularmente chamados de artesianos ou semiartesianos, e ii) poços escavados, que recebem diversos nomes, **segundo a região do Brasil**. O **poço tubular** é uma perfuração cilíndrica e vertical realizada por meio de máquinas, revestida com material em PVC aditivado ou em aço na forma de tubos e filtros. O poço artesiano é um **poço tubular** no qual a **água** jorra acima da superfície do solo de forma natural, sem ajuda de bombas.

tecnológicas que permitam a economia ou a otimização do uso dos recursos hídricos, bem como contribuir no processo de fiscalização, denunciando ou orientando proprietários não regularizados (VILLAR; GRANZIERA, 2020).

No caso das águas subterrâneas classificadas como minerais, termais, potáveis de mesa ou para fins balneários, destacam-se as seguintes obrigações: a) obtenção de autorização de pesquisa e de portaria de lavra junto à ANM com o fim de explorar o potencial das águas subterrâneas relacionadas às características de água mineral, termal, potável de mesa ou para fins balneários; b) obedecer aos termos constantes na autorização de pesquisa e na portaria de lavra emitida pela ANM; c) proteger e conservar as fontes de águas minerais e utilizá-las de acordo com os preceitos técnicos; d) estabelecer perímetros de proteção de águas minerais; e) observar as exigências do órgão estadual de gerenciamento de recursos hídricos para esse tipo de empreendimento em relação a outorga, cadastro ou autorizações de perfuração (VILLAR; GRANZIERA, 2020, p. 129).

Infelizmente, a maioria dos usuários de águas subterrâneas é clandestina, ou seja, descumpra as obrigações legais e técnicas relacionadas à perfuração, construção e operação de poços. O descumprimento das obrigações legais para o uso dos recursos hídricos pode gerar responsabilidade civil, penal e administrativa, nos termos do art. 14, § 1º da Lei nº 6.938/81 e do art. 225, § 3º da Constituição Federal. Há farta jurisprudência nos Tribunais Estaduais que: a) autoriza o tamponamento de poços desprovidos de outorga de direito de uso ou comprovação de sua dispensa; b) obriga poluidores ou proprietários a remediar áreas contaminadas; e c) condena usuários irregulares de águas minerais a pagar indenizações à União, como compensação financeira pelo uso sem autorização de recurso federal (VILLAR; HIRATA, 2022; VILLAR; GRANZIERA, 2020).

3.7 Águas subterrâneas e águas minerais do Brasil

As águas minerais e potáveis de mesa são extraídas de fontes naturais ou subterrâneas (ASSIRATI, 2018). Elas se caracterizam por serem “águas subterrâneas especiais” e “distintas das águas comuns por diferenciados estágios de mineralização” (QUEIROZ; PONTES, 2015, p. 15). Toda água mineral é subterrânea, porém, nem toda água subterrânea é mineral (HIRATA *et al.*, 2019). Sua extração é intensa, sendo classificada como o recurso mineral mais explorado do subsolo brasileiro (HIRATA *et al.*, 2019).

O Brasil é o 5º maior mercado mundial de águas engarrafadas (ASSIRATI, 2018). No ano de 2017, a composição em bebidas foi de 21,9 bilhões de litros, já os usos balneários consumiram 82,2 bilhões de litros nas 83 concessões existentes distribuídas nos “estados de Goiás (com 92,7% do volume utilizado declarado), Santa Catarina (2,5%), São Paulo (2,0%), Mato Grosso do Sul (1,4%), Paraná (1,3%), Rio Grande do Sul e Pernambuco (com menos de 1% cada).” (ASSIRATI, 2018, p. 2). Ao todo são mais de mil áreas de lavras de águas minerais e potáveis de mesa, das quais 48% se localizam na região Sudeste (QUEIROZ; PONTES, 2015). Essas águas também estão muito ligadas ao turismo, seja para fins medicinais ou balneários. Embora faltem estudos sobre o seu papel econômico, importantes complexos turísticos foram construídos com base na sua exploração, a exemplo do caso de Araxá (MG), Poços de Caldas (MG), Rio Quente (GO), Caldas Novas (GO), Olimpia (SP), Águas de Lindoia (SP), Santo Amaro da Imperatriz (SC), Gramado (RS), entre outras. A Figura 15 demonstra as concessões de lavras de água mineral ou potável de mesa no Brasil.

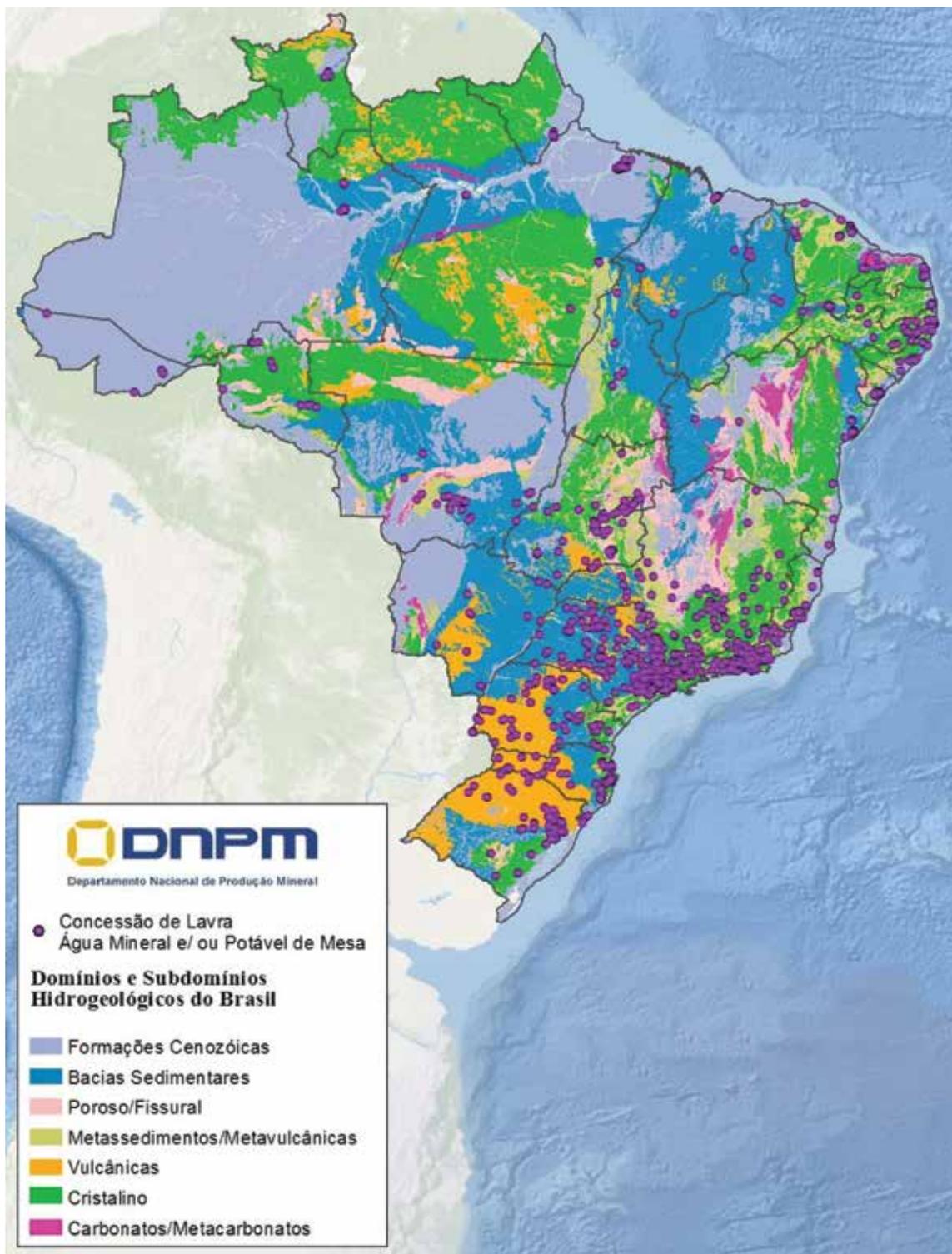


Figura 15 – Mapa das concessões de lavra de águas minerais e potáveis de mesa do território brasileiro

Fonte: Queiroz e Pontes (2015, p. 27).

A definição das águas minerais e potáveis de mesa se encontra, respectivamente, nos arts. 1º e 3º do Código de Águas Minerais (Decreto-Lei nº 7.841, de 08 de agosto de 1945):

Art. 1º. Águas minerais são aquelas provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que possuam composição química ou propriedades físicas ou físico-químicas distintas das águas comuns, com características que lhes confirmam uma ação medicamentosa.

Art. 3º. Serão denominadas “águas potáveis de mesa” as águas de composição normal provenientes de fontes naturais ou de fontes artificialmente captadas que preenchem tão somente as condições de potabilidade para a região.

A água mineral possui ação medicamentosa, enquanto a água potável de mesa preenche apenas os requisitos de potabilidade. As águas minerais são classificadas em 12 grupos, de acordo com a sua composição química (Quadro 2). Já as fontes minerais são classificadas de acordo com os gases presentes e a temperatura (Quadro 3).

Classificação	Caracterização conforme a composição química
Radíferas	Substâncias radioativas dissolvidas, o que lhes dá radioatividade permanente
Alcalino-bicarbonatadas	Compostos alcalinos equivalentes a, no mínimo, 0,200 grama de bicarbonato de sódio por litro
Alcalino-terrosas	Compostos alcalino-terrosos equivalentes a, no mínimo, 0,120 grama de carbonato de cálcio por litro
a) alcalino-terrosas cálcicas	No mínimo, 0,048 g de cátionte Ca, sob a forma do bicarbonato de cálcio por litro
b) alcalino-terrosas magnesianas	No mínimo, 0,30 g de cátionte Mg, sob a forma de bicarbonato de magnésio por litro

Classificação	Caracterização conforme a composição química
Sulfatadas	No mínimo, 0,100 grama por litro do ânion sulfato (SO ₄ ²⁻) combinado com os cátions sódio (Na ⁺), potássio (K ⁺) e magnésio (Mg ²⁺)
Sulfurosas	No mínimo, 0,001 grama do ânion enxofre (S) por litro
Nitratadas	No mínimo, 0,100 grama por litro do ânion nitrato (NO ₃ ⁻) de origem mineral
Cloretadas	No mínimo, 0,500 grama de cloreto de sódio por litro
Ferruginosas	No mínimo, 0,005 grama do cátion ferro (Fe) por litro
Radioativas	Radônio (Rd) dissolvido
a) fracamente radioativas	Teor em radônio compreendido entre cinco e dez unidades Mache, por litro, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão
b) radioativas	Teor em radônio compreendido entre 10 e 50 unidades Mache por litro, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão
c) fortemente radioativas	Teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão
Toriativas	Teor de torônio (um isótopo do radônio) em dissolução, equivalente em unidades eletrostáticas a duas unidades Mache por litro, no mínimo
Carbogasosas	200 mililitros de gás carbônico (CO ₂) livre dissolvido, a 20°C e 760 mm de Hg de pressão por litro
Oligominerais	Não atingem os limites estabelecidos na legislação, mas possuem comprovada ação medicamentosa atestada por estudos sujeitos à fiscalização e aprovação da Comissão Permanente de Crenologia.

Quadro 2 – Classificação das águas minerais, de acordo com suas características químicas

Fonte: Brasil (Decreto-Lei nº 7.841/1945).

Classificação das fontes quanto aos gases		Caracterização
Fontes radioativas	a) fracamente radioativas	No mínimo, uma vazão gasosa de um litro por minuto (l.p.m.) com um teor em radônio compreendido entre cinco e 10 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão
	b) radioativas	No mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com um teor compreendido entre 10 e 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão
	c) fortemente radioativas	No mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com teor em radônio superior a 50 unidades Mache, por litro de gás espontâneo, a 20° C e 760 mm de Hg de pressão
Fontes toriativas		No mínimo, uma vazão gasosa de 1 l.p.m., com um teor em torônio na emergência equivalente em unidades eletrostáticas a duas unidades Mache por litro
Fontes sulfurosas		As que possuírem na emergência desprendimento definido de gás sulfídrico
Classificação das fontes quanto à temperatura		Caracterização
Fontes frias		temperatura inferior a 25°C
Fontes hipotermais		temperatura entre 25 e 33°C
Fontes mesotermais		temperatura entre 33 e 36°C
Fontes isotermais		temperatura entre 36 e 38°C
Fontes hipertermais		temperatura superior a 38°C

Quadro 3 – Classificação das fontes minerais quanto aos gases e temperatura

Fonte: Brasil (Decreto-Lei nº 7.841/1945).

Apesar de as águas minerais e potáveis de mesa serem todas subterrâneas, elas são classificadas como recursos minerais por força do Código de Águas Minerais. Ao serem classificadas como recursos minerais, seu domínio foi

atribuído à União, com base no art. 20, inc. IX, da Constituição Federal de 1988. Nesse sentido, o Dec. nº 9.406, de 12 de junho de 2018 determina que cabe à União “organizar a administração dos recursos minerais, a indústria de produção mineral e a distribuição, o comércio e o consumo de produtos minerais”, bem como formular as “políticas públicas para a pesquisa, a lavra, o beneficiamento, a comercialização e o uso dos recursos minerais” (art. 3º). O aproveitamento comercial desses recursos demanda um regime de autorizações sucessivas de pesquisa e de concessão de lavra, instituído pelo Código de Minas (Decreto-Lei nº 227/1967, que deu nova redação ao Decreto Lei nº 1.985/1940).

A autorização de pesquisa e lavra, fiscalização e regulação do comércio dessas águas é realizada por meio da Agência Nacional de Mineração (ANM), instituída pela Lei Federal nº 13.575/2017 e vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME). ANM assumiu todas as atribuições do extinto Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) (vide art. 32).

O Código de Águas Minerais permite que qualquer água subterrânea possa ser classificada como recurso mineral, basta que sejam cumpridas as regras impostas pela ANM e os requisitos de potabilidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). Dessa forma, o aproveitamento das propriedades das águas minerais, termais e gasosas para fins de envasamento ou uso balneário ou, ainda, o envasamento de águas potáveis de mesa, estão sob tutela da União.

As águas subterrâneas são enquadradas como jazidas de águas minerais se cumprirem os seguintes requisitos: a) forem utilizadas para os fins especiais previstos na legislação mineral; b) preencherem os requisitos de qualidade necessários; e c) realizarem o procedimento administrativo junto à ANM, solicitando a autorização de pesquisa e de concessão de lavra, os quais são

⁸ Art. 20. São bens da União:

IX - os recursos minerais, inclusive os do subsolo.

obrigatórios àqueles que desejem explorar esse potencial balneário e de envase (BOSON, 2002; CAUBET, 2009; QUEIROZ; PONTES, 2015).

A autorização de pesquisa é o momento em que ocorre o primeiro contato entre o requerente e a ANM, sendo definida como “a execução dos trabalhos necessários à definição da jazida, sua avaliação e a determinação da exequibilidade do seu aproveitamento econômico.” (art. 2º, inc. V, da Res. CNRH 76/2007). Por sua vez, a concessão de portaria de lavra para água mineral, termal, gasosa, potável de mesa ou destinada aos fins balneários é definida como o “ato administrativo mediante o qual é outorgado ao interessado o direito ao aproveitamento industrial das jazidas de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários” (art. 2º, inc. VI, da Res. CNRH 76/2007).

Em contrapartida, se o uso das águas subterrâneas se destinar para fins gerais, como abastecimento, irrigação ou uso industrial, elas se submetem ao regime jurídico dos recursos hídricos estaduais, que exige as seguintes formalidades: a) a outorga de direito de uso dos recursos hídricos ou comprovação de sua dispensa (por exemplo, declaração de uso insignificante); b) registro no cadastro de usuários; e c) cobrança pelo uso da água, caso implementada na bacia. As outorgas de direito de uso de águas subterrâneas deverão obedecer às prioridades dos planos de recursos hídricos e essa extração é contabilizada no balanço hídrico da bacia.

A exploração das jazidas de águas minerais pode impactar a gestão dos recursos hídricos, interferindo na disponibilidade das águas subterrâneas e superficiais, contudo, isso não costuma ser contabilizado no balanço hídrico da bacia. Para contornar esse problema, foi editada a Resolução CNRH nº 76/2007 que “estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários.” Essa resolução reconheceu “a necessidade de integração e atuação articulada entre órgãos e entidades, cujas competências

se refiram aos recursos hídricos, à mineração e ao meio ambiente.” Para facilitar esse procedimento, o art. 3º da Res. CNRH nº 76/2007 recomenda que os órgãos gestores hídrico e mineral compartilhem informações e definam conjuntamente o conteúdo e os estudos técnicos dos procedimentos administrativos envolvidos. As informações a serem compartilhadas referem-se, no mínimo:

- I. aos títulos de direitos minerários de pesquisa ou lavra de águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários para a sua inclusão no Sistema de Informações de Recursos Hídricos e consideração pelos órgãos gestores de recursos hídricos;
- II. aos atos administrativos relacionados ao uso de recursos hídricos, tais como: outorgas de direito de uso, manifestações prévias e autorizações de construção de poços para a sua inclusão no sistema de informações de recursos minerais e consideração pelo órgão gestor de recursos minerais;
- III. à área objeto de requerimento de pesquisa para água mineral, termal, gasosa, potável de mesa ou destinada a fins balneários;
- IV. à área ou perímetro de proteção de fonte instituído pelo órgão gestor de recursos minerais, a fim de que seja considerado pelos órgãos gestores de recursos hídricos;
- V. às áreas de restrição e controle estabelecidas pelo órgão gestor de recurso hídrico competente ou previstas nos planos de recursos hídricos, a fim de que sejam consideradas pelo órgão gestor de recursos minerais;
- VI. ao monitoramento quantitativo e qualitativo disponível nos órgãos gestores;

- VII. àquelas necessárias à formulação dos planos de recursos hídricos e à atuação dos comitês de bacias hidrográficas (art. 3º, parágrafo único).

Além disso, o órgão gestor de recursos minerais deve observar os atos autorizativos e os usos cadastrados no órgão gestor de recursos hídricos no momento da análise do “requerimento de autorização para pesquisa de água mineral, termal, gasosa, potável de mesa ou destinada a fins balneários.” (art. 6º). Já o órgão gestor de recursos hídricos, no momento da análise do requerimento de outorga de direito de uso de recursos hídricos, deve observar “as informações existentes nos requerimentos de pesquisa, alvarás de pesquisa e portarias de lavra para água mineral, termal, gasosa, potável de mesa ou destinada a fins balneários.” (art. 7º).

Apesar de representar um passo positivo, sua operacionalização enfrenta limitações em promover a coordenação da gestão federal das águas minerais com a gestão estadual das águas subterrâneas (SERRA, 2009; SCALON, 2011; VILLAR; GRANZIERA, 2020). A Res. CNRH nº 76/2007 determina que sejam observadas as informações concedidas pelos órgãos gestores, porém, essas não se vinculam à sua decisão. Isso representa um problema pois como explicam Villar e Granziera, (2020, p. 115):

As águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa e destinadas aos fins balneários são recursos minerais, porém também são recursos hídricos que integram o balanço hídrico da bacia e constituem um dos múltiplos usos da água. Realmente, essas águas têm natureza jurídica especial, posto que integram o campo de atuação de dois sistemas jurídicos, o mineral e o de recursos hídricos.

O ideal seria que esses usuários se submetessem tanto às normas de mineração como às de recursos hídricos, posto que têm naturezas complementares (FERREIRA JÚNIOR, 2007). A portaria de lavra garante ao explorador da jazida



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA
Parque das Águas, localizado na cidade de Caxambu - MG.

o direito de acesso ao recurso mineral (água mineral, termal, gasosa, potável de mesa ou destinada a fins balneários). A outorga de direito de uso dos recursos hídricos, por sua vez, garante que essa exploração se submeta ao controle socioambiental (FERREIRA JÚNIOR, 2007).

Com base no domínio estadual das águas subterrâneas e nas competências concorrentes e comuns, os Estados podem estabelecer normas que exijam a necessidade de outorga de direito de uso das águas subterrâneas classificadas como águas minerais, termais, gasosas, potáveis de mesa e as destinadas a fins balneários (FERREIRA JÚNIOR, 2007). Além disso, podem submeter sua extração à cobrança, algo que acontece, por exemplo, no estado do Ceará. Essa exigência se justifica diante do art. 12, inc. II da Lei nº 9.433/1997, que condiciona toda “extração de água de aquífero subterrâneo” à outorga de direito de uso. A lei usa o termo genérico *água* e não *recurso hídrico subterrâneo*.

No Brasil, embora o tema ainda seja pouco explorado, já existem conflitos relacionados ao uso de águas subterrâneas e águas minerais, como é o caso de Caldas Novas e Rio Quente no estado de Goiás (ANDRADE; ALMEIDA, 2012) ou, ainda, nas estâncias hidrominerais do Circuito das Águas, de Minas Gerais (Caxambu, São Lourenço, Cambuquira e Lambari) (BORGES, 2006).

4

A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: DA TEORIA À PRÁTICA



Foto: Eduardo Gomes de Assis/Banco de Imagens ANA
Surgência de aquífero carstico na Bacia do Pacuí na
divisa de Montes Claros com Coração de Jesus - MG.

4 A GESTÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: DA TEORIA À PRÁTICA

A Política Nacional de Recursos Hídricos estabeleceu diversos instrumentos para a gestão das águas doces. O objetivo deste capítulo é apresentá-los e demonstrar como se dá a sua aplicação às águas subterrâneas.

4.1 Planos de Recursos Hídricos

Os planos de recursos hídricos foram previstos na Lei nº 9.433/1997 e constituem o principal instrumento para a “construção de consensos na bacia hidrográfica” (PORTO; PORTO, 2008, p. 51). Sua aplicação extrapola o planejamento tradicional, pois incorpora processos participativos que aglutinam Poder Público, sociedade civil e agentes econômicos (PORTO; PORTO, 2008). A lei os define como planos diretores que visam “fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos” (art. 6º da Lei nº 9.433/1997).

A aplicação desses planos se dá em três escalas de atuação: nacional, estadual e bacia hidrográfica (art. 8º da Lei nº 9.433/1997). A Figura 16 sintetiza os tipos de planos conforme a política (nacional ou estadual), o seu escopo geográfico e as entidades colegiadas responsáveis por aprovar o planejamento de recursos hídricos no Brasil.

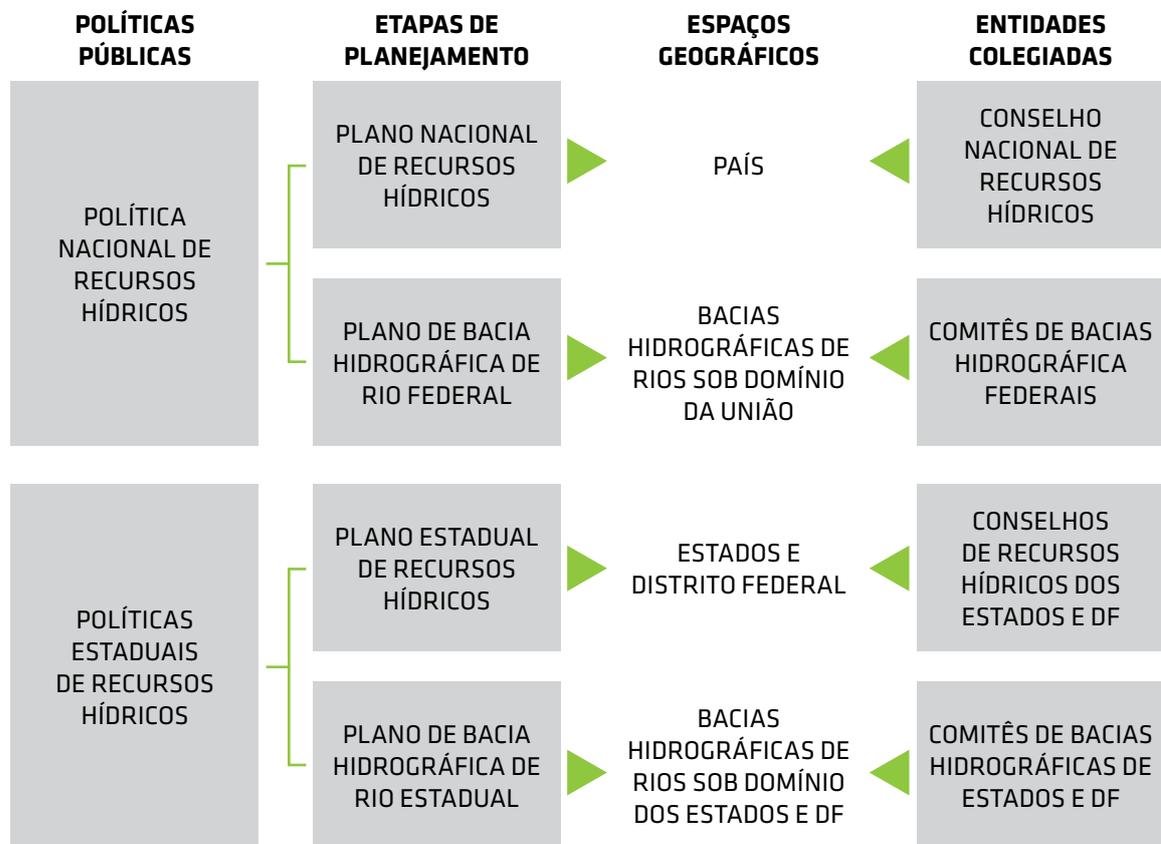


Figura 16 – Políticas públicas, tipos de planos, âmbitos geográficos e entidades coordenadoras no processo de planejamento de recursos hídricos no Brasil

Fonte: Lanna, Pereira e Hubert (2002, p. 110).

Em uma mesma bacia hidrográfica podem coexistir diversas escalas de planos de recursos hídricos: federal, estaduais, de bacias estaduais ou de bacias interestaduais. Dessa forma, tem-se: a) o Plano Nacional de Recursos Hídricos; b) os Planos Estaduais de Recursos Hídricos; e c) os Planos de Bacias Hidrográficas, que se subdividem em duas categorias segundo o tipo de bacia: a) Planos de Bacia Hidrográfica de Rios, sob domínio federal; e b) Planos de Bacia Hidrográfica de Rios, sob domínio estadual (LANNA; PEREIRA; HUBERT, 2002). Cada um desses planos incorpora os aquíferos correlacionados à sua escala de atuação na bacia.



4.1.1 Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)

O primeiro Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foi aprovado em 2006 (Res. CNRH nº 58, de 30 de janeiro de 2006), com vigência até 2020 e revisões periódicas a cada quatro anos, doravante denominado PNRH 2006-2020. Desde a sua concepção foram realizadas duas revisões que estabeleceram as prioridades para os ciclos 2012-2015 e 2016-2020. A vigência desse último ciclo foi postergada para dezembro de 2021 (Res. CNRH nº 216, de 11 de setembro de 2020). A Secretaria Nacional de Segurança Hídrica (SNSH), vinculada ao MDR, com o apoio técnico da ANA e em articulação com o CNRH, têm debatido o novo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH 2022-2040), cuja função é orientar a elaboração dos Planos Plurianuais (PPAs) federal, estaduais ou distrital e seus respectivos orçamentos anuais.

A estrutura do PNRH 2006-2020 é composta por quatro volumes: i) Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil (v. 1), que trata do diagnóstico das águas; ii) Águas para o futuro: cenários para 2020 (v. 2), que traça os cenários de referência para o planejamento; iii) Diretrizes (v. 3); e iv) os Programas Nacionais e Metas (v. 4) (art. 1º da Res. CNRH nº 58/2006).

Em paralelo ao PNRH 2006-2020, a ANA elabora, anualmente, o relatório denominado *Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil*. Esse relatório serve como subsídio para diversas ações governamentais que incluem o acompanhamento do PNRH 2006-2020, o monitoramento do Plano Plurianual do governo federal ou as análises do Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água. O relatório também sintetiza os principais dados sobre as águas superficiais e subterrâneas no país.

O PNRH 2006-2020 possui diversos programas e subprogramas que são discriminados em seu volume 4. Ao todo são previstos sete programas nacionais: Programa I – Estudos Estratégicos de Recursos Hídricos; Programa

II – Programa de Desenvolvimento Institucional da GIRH no Brasil; Programa III – Desenvolvimento e Implementação de Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos; Programa IV – Desenvolvimento tecnológico, capacitação, comunicação e difusão de informações em GIRH; Programa V – Programa de Articulação Intersetorial, Interinstitucional e Intrainstitucional da Gestão de Recursos Hídricos; Programa VI – Programa de usos Múltiplos e Gestão Integrada de Recursos Hídricos; Programa VII – Programas Setoriais voltados aos Recursos Hídricos, além de seis programas regionais. As águas subterrâneas são contempladas nos subprogramas e ações prioritárias desses programas, e fazem parte do Programa Nacional de Águas Subterrâneas (Programa VIII) que, embora tenha abrangência nacional e transfronteiriça, foi incluído no componente de programas regionais de recursos hídricos.

O Programa VIII foi dividido em três subprogramas: i) Ampliação do Conhecimento Hidrogeológico Básico; ii) Desenvolvimento dos Aspectos Institucionais e Legais; e iii) Capacitação, Comunicação e Mobilização Social (CARDOSO, 2009). Segundo o *Plano Nacional de Recursos Hídricos: prioridades 2012-2015*, cada região hidrográfica definiu ações prioritárias para as águas subterrâneas, tais como implantação de redes de monitoramento, elaboração de mapas hidrogeológicos, cadastro de usuários, proteção de áreas de recarga, desenvolvimento de estudos técnicos, etc. (BRASIL, 2011). Espera-se que as ações estabelecidas como prioridades no PNRH 2006-2020 sejam mantidas no PNRH 2022-2040. Um exemplo é o caso da ampliação da Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas, cuja meta era uma expansão de 100%, o que não foi possível por limitações orçamentárias. Apesar disso, a Rede foi ampliada de 369 para 409 poços. Parte desses poços de monitoramento passou a ser operado conjuntamente entre SGB-CPRM e ANA, com inclusão desses dados piezométricos na Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), o que contribui para promover a gestão integrada das águas superficiais e subterrâneas, permitindo análises da relação aquífero e rio, como foi o caso do Sistema Aquífero Urucuia e o Rio São Francisco.



4.1.2 Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERHs)

Os Planos Estaduais de Recursos Hídricos (PERHs) têm jurisdição circunscrita ao âmbito de cada Estado-Membro e do Distrito Federal, cabendo a eles retratar a situação dos recursos hídricos de domínio estadual ou distrital. Seu principal objetivo é nortear a gestão das águas por meio de diretrizes e critérios em escala estadual ou distrital, de forma a contemplar as necessidades expressas nos planos de bacia. Sua elaboração, atualização e implementação é de competência dos órgãos que integram os Sistemas Estaduais de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, conforme prevê a legislação estadual.

Cada Estado, com base na sua Política Estadual de Recursos Hídricos, estabelece as diretrizes e critérios para a elaboração do PERH, de forma a contemplar os seguintes aspectos:

- diretrizes, objetivos, critérios e metas da gestão hídrica estadual;
- prioridades financeiras no fomento a programas regionais para o gerenciamento dos recursos hídricos;
- estratégias para a coordenação de questões sobre interbacias;
- diagnóstico e monitoramento da situação macro dos recursos hídricos no estado (disponibilidade, qualidade, demanda, usos e conflitos);
- programas, projetos e ações estaduais para os recursos hídricos;
- diretrizes para a aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos no âmbito das bacias hidrográficas estaduais.



Em virtude do domínio estadual das águas subterrâneas, os PERHs são peças-chave no estímulo à gestão dos aquíferos. Dentre as informações que deveriam ser contempladas pelo instrumento incluem-se: a) dados sobre a disponibilidade, demanda e qualidade das águas subterrâneas; b) propositura de áreas para a exploração dessas águas ou de medidas protetivas, tais como áreas de restrição ao uso das águas subterrâneas; c) identificação de pontos prioritários para o monitoramento; d) estímulo aos mecanismos de coordenação entre os CBHs que compartilhem um mesmo aquífero; e e) definição de programas estaduais específicos para as águas subterrâneas etc.

4.1.3 Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas

Trata-se do principal instrumento de gestão previsto pelas políticas de recursos hídricos, sendo aplicado a pequenas, médias e grandes bacias hidrográficas. Também é chamado de *Plano Diretor de Água*, *Plano Diretor de Recursos Hídricos*, *Plano Integrado de Recursos Hídricos* e *Plano de Bacia Hidrográfica* – denominação mais comum a partir da implementação das Políticas Estaduais de Recursos Hídricos que se iniciaram no ano de 1991 (SÃO PAULO, 1991), bem como com a edição da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Os Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas podem ser definidos como:

[...] instrumentos de gestão de recursos hídricos de longo prazo, previstos na Lei nº 9.433, de 1997, com horizonte de planejamento compatível com o período de implantação de seus programas e projetos, que visam fundamentar e orientar a implementação das Políticas Nacional, Estaduais e Distrital de Recursos Hídricos e o gerenciamento dos recursos hídricos no âmbito das respectivas bacias hidrográficas. (art. 2º da Resolução CNRH nº 145/2012).

Esse documento estabelece o planejamento estratégico da gestão hídrica, sendo que sua previsão legal e regulamentação se encontra na Lei nº 9.433/1997 e em diversas Resoluções do CNRH, com destaque aos artigos 10 a 13 da Resolução CNRH nº 145/2012, que estabelecem suas etapas e conteúdo mínimo: i) Diagnóstico de situação dos recursos hídricos; ii) Prognóstico; e iii) Plano de ação (Figura 17). O processo de planejamento deve contemplar as diretrizes dos outros planos de recursos hídricos (nacional, estadual ou outros planos de bacia hidrográfica que, eventualmente, se sobreponham). A Resolução CNRH nº 145/2012 apresenta a estrutura mínima dos planos, porém, no âmbito da competência complementar e comum, os estados podem incorporar elementos adicionais.

O Plano de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas deve conter o programa de ação plurianual, cujo período usualmente utilizado é de 12 anos. Nesse documento se estabelece o programa de investimento (curto, médio e longo prazo), que deve conter: i) a denominação da ação planejada; ii) o enquadramento em linhas programáticas do colegiado gestor; iii) a meta estabelecida; iv) o prazo (ano) de execução; v) a área de abrangência da ação; vi) a prioridade de execução; vii) a previsão de responsável pela execução; viii) o executor da ação; ix) o custo estimado para a ação; e x) as fontes dos recursos financeiros necessários. As Resoluções CNRH nº 15/2001, 22/2002, 92/2008, 145/2012 e 202/2018 determinam as informações básicas que os Planos de Bacia devem incorporar sobre os aquíferos (Figura 18). Sem essas análises, a exploração dos aquíferos coloca em risco a disponibilidade hídrica superficial e subterrânea, gerando prejuízos ao ambiente e aos usuários.



Figura 17 – Diretrizes para elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas
 Fonte: CNRH (Resolução nº 145/20120).

<p>Conteúdo mínimo dos Planos de Bacia para as Águas Subterrâneas (AS)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Caracterização espacial. ▶ Cômputo das AS no balanço hídrico. ▶ Estimativa das recargas e descargas e das reservas explotáveis. ▶ Caracterização físico, química e biológica das AS. ▶ Medidas de uso e proteção de aquíferos.
<p>Monitoramento da quantidade e qualidade, com resultados apresentados em mapas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Rede de monitoramento dos níveis d'água dos aquíferos e sua qualidade. ▶ Densidade dos pontos de monitoramento. ▶ Frequência de monitoramento dos parâmetros.
<p>Ações potencialmente impactantes e proteção ou mitigação, incluindo medidas emergenciais</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Descrição e previsão da estimativa de pressões socioeconômicas e ambientais sobre a disponibilidade. ▶ Estimativa das fontes pontuais e difusas de poluição. ▶ Avaliação das características e usos do solo. ▶ Análise de outros impactos da atividade humana relacionadas às AS.
<p>Ações potencialmente impactantes e proteção ou mitigação, incluindo medidas emergenciais</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Áreas de Proteção Máxima ▶ Perímetros de Proteção de Poços ▶ Áreas de restrição e controle de uso de AS <ul style="list-style-type: none"> ■ Disponibilidade de RH considerando a descarga de base dos rios. ■ Risco de instabilidade geométrica e o uso e ocupação do solo ■ Sustentabilidade da exploração em áreas costeiras
<p>Avaliações hidrológicas integradas</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ Delimitação das áreas de recarga e de contribuição dos aquíferos para os rios diretamente conectados. ▶ Contribuição dos aquíferos para a vazão de base dos rios. ▶ Recarga e reservas explotáveis e renováveis. ▶ Disponibilidade hídrica integrada subterrânea e superficial para os diversos usos.

Figura 18 – As águas subterrâneas nos Planos de Bacia, com base nas Resoluções CNRH
 Fonte: CNRH (Resoluções nº 15/2001, 22/2002, 92/2008, 145/2012 e 202/2018).

Os Planos de Bacia são instrumentos fundamentais para inserir os aquíferos na gestão e permitir o uso conjuntivo das águas subterrâneas e superficiais. O uso conjunto dessas águas otimiza as reservas hídricas em virtude da capacidade de armazenamento dos aquíferos que podem prover água nos períodos de estiagem e serem poupados nos períodos de chuvas, de forma a permitir a sua recarga ou, ainda, incentivá-la por meio de mecanismos de recarga (FOSTER; STEENBERGEN, 2011). Os Planos de Bacias Interestaduais têm buscado a interação das águas por meio dos Planos Integrados de Recursos Hídricos, contudo, ainda há um longo caminho a ser percorrido diante da falta de dados ou problemas relacionados à implementação dos instrumentos de gestão.

4.2 Instrumentos de gestão específicos para as águas subterrâneas

A Resolução Conama nº 396/2008 determina que os órgãos ambientais, em conjunto com os órgãos gestores de recursos hídricos, estabeleçam Áreas de Proteção de Aquíferos, Perímetros de Proteção de Poços de Abastecimento e Áreas de Restrição e Controle do Uso das Águas Subterrâneas (arts. 20 e 21). A Resolução CNRH nº 22/2002 expressa que os Planos de Bacia devem prever medidas de uso e proteção dos aquíferos (art. 3, VI). A Res. CNRH nº 92/2008, por sua vez, prevê a definição de zonas de proteção de aquíferos, áreas de restrição e controle, e perímetros de proteção de poços com base em estudos hidrogeológicos (art. 2, I, II e III).

4.2.1 Áreas de Proteção de Aquíferos (APA)

As Áreas de Proteção de Aquíferos (APA) se destinam a proteger as zonas de recarga dos aquíferos, porém, como pressupõem restrições ao uso e ocupação do solo, o instrumento não tem sido utilizado, inclusive se indaga se este poderia ser aplicado sem o apoio dos municípios, que detêm a competência exclusiva para o ordenamento territorial municipal.



4.2.2 Áreas de Restrição e Controle de Uso de Águas Subterrâneas

As Áreas de Restrição e Controle de Uso de Águas Subterrâneas são medidas de caráter excepcional e temporário, que visam a restringir o uso ou a captação da água em situações em que haja comprometimento da qualidade ou quantidade das águas subterrâneas. Segundo a Res. CNRH nº 92/2008 (art. 4º), o órgão estadual de gestão de recursos hídricos, em articulação com o órgão ambiental, pode instituir essas áreas mediante a aprovação do CBH e do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, desde que tecnicamente justificado pela necessidade de proteção, conservação e recuperação de: i) mananciais de abastecimento; ii) ecossistemas ameaçados pela degradação das águas subterrâneas; iii) áreas vulneráveis à contaminação; iv) áreas contaminadas; ou v) áreas sujeitas a ou com identificada superexploração.

O principal objetivo dessas medidas é corrigir distorções no uso dos aquíferos que possam comprometer a qualidade ou quantidade das águas. Sua implantação é um processo complexo que demanda a articulação do Poder Público, colegiados, gestores e usuários, bem como o acompanhamento da evolução da situação do aquífero. Vários estados regulamentaram e implementaram esse instrumento, a exemplo do Estado de São Paulo que, por meio da Deliberação CRH nº 052, de 15 de abril de 2002, regulamentou as diretrizes e procedimentos para a definição dessas áreas.

4.2.3 Perímetros de Proteção de Poços (PPP)

Os Perímetros de Proteção de Poços (PPP) se destinam a proteger a captação de águas subterrâneas e foram regulamentados por vários estados. A legislação mineral obriga que as águas classificadas como minerais ou potáveis de mesa estabeleçam áreas ou perímetros de proteção, conforme estabelecido nos arts. 12 e 13 do Código de Águas Minerais e na Portaria DNPM nº 231/1998.

Proteger o entorno dos poços de abastecimento público é uma estratégia eficiente para minimizar o perigo de contaminação da água subterrânea fornecida à população (NAVARRETE; GARCÍA, 2003). Essa proteção é baseada no controle das atividades que possuem potencial contaminante e na aplicação de restrições ao uso do solo em áreas de recarga do aquífero que contribuem para o poço. Quanto mais próximo da captação, mais restritivas são as medidas adotadas, sendo essa área protegida denominada de Perímetro de Proteção de Poços (PPP) (Figura 19).

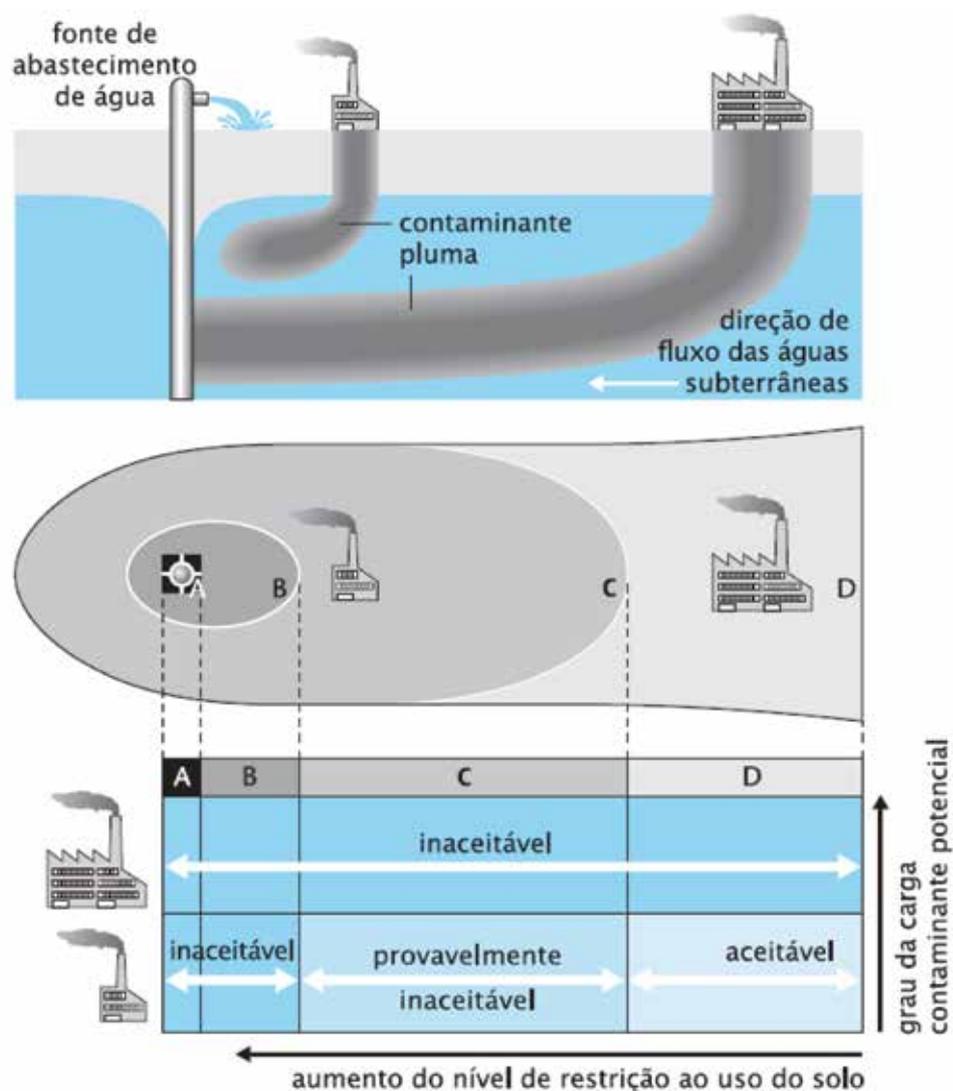


Figura 19 – Conceito de Perímetro de Proteção de Poços

Fonte: Foster *et al.* (2006, p. 9).

Cada poço perfurado define uma Zona de Contribuição (ZC) específica, que é a área em que toda a recarga do aquífero contribui para o poço, com base nas diferentes características do aquífero (permeabilidade, porosidade, espessura e recarga) e das condições construtivas e operacionais do poço (profundidade de penetração no aquífero, vazão e tempo de funcionamento). Os PPPs, portanto, são estabelecidos na ZC do poço (FOSTER *et al.*, 2006).

A delimitação dos perímetros de proteção está baseada em diferentes critérios, sendo os mais utilizados: a) distância longitudinal a partir do poço; ou b) tempo percorrido pela água no aquífero até atingir o poço (denominado de *tempo de trânsito*). Há várias metodologias para a delimitação dos perímetros de proteção, cuja escolha depende, também, da quantidade e da qualidade dos dados existentes, da importância da captação para o abastecimento da população atendida e dos recursos financeiros disponíveis. Além dos fundamentos técnicos, a implantação de áreas de proteção de poços precisa ser um processo participativo com usuários e sociedade em geral. Por exemplo, no Estado de São Paulo, a legislação exige que os PPPs sejam embasados por estudos e aprovados pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

4.3 Enquadramento de corpos de água subterrânea, conforme usos preponderantes

O enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água para os aquíferos, é regulamentado pela Resolução Conama nº 396/2008 e pela Resolução CNRH nº 91/2008. O art. 29 da Resolução Conama nº 396/2008 determina que o enquadramento dos corpos de água subterrânea deverá considerar, pelo menos, os seguintes aspectos:

- I. a caracterização hidrogeológica e hidrogeoquímica;
- II. a caracterização da vulnerabilidade e dos riscos de poluição;
- III. o cadastramento de poços existentes e em operação;

- IV. o uso e a ocupação do solo e seu histórico;
- V. a viabilidade técnica e econômica do enquadramento;
- VI. a localização das fontes potenciais de poluição;
- VII. a qualidade natural e a condição de qualidade das águas subterrâneas.

Com base nesses critérios, as águas subterrâneas são enquadradas em classes, conforme define o art. 3º da Resolução Conama nº 396/2008 (Quadro 4).

Classes	Usos
Classe Especial	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses destinadas à preservação de ecossistemas em unidades de conservação de proteção integral e as que contribuam diretamente para os trechos de corpos de água superficial enquadrados como classe especial.
1	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que não exigem tratamento para quaisquer usos preponderantes devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
2	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, sem alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
3	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, para as quais não é necessário o tratamento em função dessas alterações, mas que podem exigir tratamento adequado, dependendo do uso preponderante, devido às suas características hidrogeoquímicas naturais.
4	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, e que somente possam ser utilizadas, sem tratamento, para o uso preponderante menos restritivo.
5	Águas dos aquíferos, conjunto de aquíferos ou porção desses, que possam estar com alteração de sua qualidade por atividades antrópicas, destinadas a atividades que não têm requisitos de qualidade para uso.

Quadro 4 – Classes para enquadramento das águas subterrâneas, segundo usos preponderantes

Fonte: Conama (Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008).

Segundo a Resolução Conama nº 396/2008, as águas subterrâneas enquadradas na Classe Especial devem “ter suas condições de qualidade naturais mantidas” (art. 5º). Os padrões das Classes 1 a 4, por sua vez, são baseados nos

Valores de Referência de Qualidade (VRQ) e nos Valores Máximos Permitidos (VMPs) para cada uso preponderante (art. 4º), observados os Limites de Quantificação Praticáveis (LQPs) apresentados no Anexo I da Resolução Conama nº 396/2008. Os VRQs devem ser definidos pelo órgão competente, que poderia ser o Conama ou os órgãos estaduais, contudo, tais padrões ainda não foram definidos. O Quadro 5 apresenta os padrões de cada classe:

Classes	Usos
Classe Especial	Deve manter suas condições de qualidade natural.
1	Apresenta, para todos os parâmetros, VRQs abaixo ou igual aos Valores Máximos Permitidos mais Restritivos (VMPr+) dos usos preponderantes (art. 7º da Res. Conama nº 396/2008).
2	Apresenta, em pelo menos um dos parâmetros, Valor de Referência de Qualidade (VRQ) superior ao seu respectivo Valor Máximo Permitido mais Restritivo (VMPr+) dos usos preponderantes (art. 8º da Res. Conama nº 396/2008).
3	Deve atender ao Valor Máximo Permitido mais Restritivo (VMPr+) entre os usos preponderantes para cada um dos parâmetros, exceto quando for condição natural da água (art. 9º da Res. Conama nº 396/2008).
4	Deve atender aos Valores Máximos Permitidos menos Restritivos (VMPr-) entre os usos preponderantes para cada um dos parâmetros, exceto quando for condição natural da água (art. 10 da Res. Conama nº 396/2008).
5	Não terá condições e padrões de qualidade, conforme os critérios utilizados na Resolução Conama nº 396/2008 (art. 11).

Quadro 5 – Padrões para o enquadramento de classe da água subterrânea

Fonte: Conama (Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008).

O procedimento de enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos é definido pela Resolução CNRH nº 91/2008 e se divide nas seguintes etapas: i) diagnóstico; ii) prognóstico; iii) proposta de metas relativas às alternativas de enquadramento; iv) deliberação do Comitê e do Conselho de Recursos Hídricos; e v) efetivação do programa de enquadramento (Figura 20).

As três primeiras etapas possuem natureza técnica, o que exige a participação social por meio de consultas públicas, encontros técnicos, oficinas de trabalho e outros (art. 3º, § 2º, da Resolução CNRH nº 91/2008). O processo de edição das deliberações e a efetivação do programa de enquadramento, por sua vez, apresentam caráter mais político/decisório, que deve ser conduzido pelo CBH, juntamente com a sua Agência Técnica (COSTA *et al.*, 2019, p. 45). Até o momento esse instrumento não foi utilizado para as águas subterrâneas.



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA

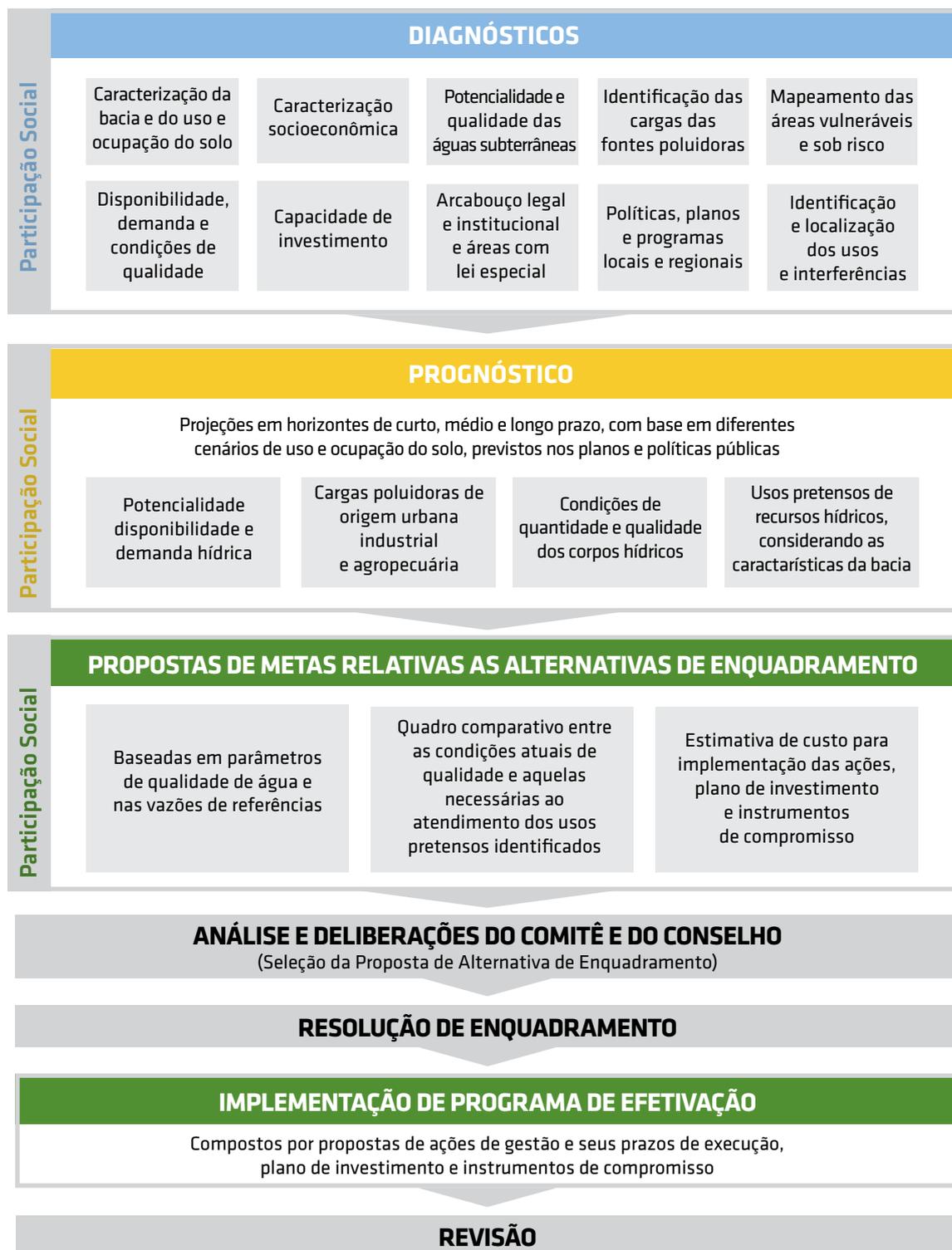


Figura 20 – Etapas do procedimento de enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos, definidas pela Resolução nº 91/2008

Fonte: CNRH (Resolução nº 91, de 5 de novembro de 2008).

4.4 Outorga de direito de uso de recursos hídricos subterrâneos

A outorga de direito de uso dos recursos hídricos foi definida como “o ato administrativo mediante o qual a autoridade outorgante faculta ao outorgado previamente ou mediante o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato, consideradas as legislações específicas vigentes.” (art. 1º da Resolução CNRH nº 16/2001). Esse instrumento permite compatibilizar o caráter público da água com o seu uso particular, por intermédio do papel de gestor do Estado (ANA, 2007).

“A função da outorga será ratear a água disponível entre as demandas existentes ou potenciais de forma a que os melhores resultados sejam gerados para a sociedade” (LANNA, 2000, p. 89). As prioridades de uso para concessão da outorga devem constar nos Planos de Bacia Hidrográfica (art. 7º, VIII, da Lei nº 9.433/1997), aprovados pelos CBHs.

Esse instrumento é reflexo do poder de polícia do Estado, pois disciplina o uso dos recursos hídricos por meio da concessão de autorização formal ao usuário que pretenda utilizá-los de forma privativa, por um prazo determinado e de acordo com as condições estabelecidas (PORTO; PORTO, 2008). O seu prazo máximo de vigência é de 35 anos, contados da data da publicação do respectivo ato administrativo (art. 16 da Lei nº 9.433/1997). Esse prazo, contudo, pode ser prorrogado pela autoridade outorgante desde que se respeitem as prioridades estabelecidas nos Planos de Bacia Hidrográfica (art. 6º, § 1º da Res. CNRH nº 16/2001).

Sua concessão não implica na alienação das águas, mas, sim, em direito de uso (art. 18 da Lei nº 9.433/1997). A outorga objetiva equilibrar a disponibilidade hídrica com a demanda, permitindo ao Poder Público controlar o uso da água de forma a garantir os objetivos da gestão e, ao mesmo tempo, garantir ao usuário o acesso à água (LEAL, 1998). Trata-se de um instrumento de “controle

quantitativo e qualitativo dos usos da água” e condição para o “exercício dos direitos de acesso à água” (Lei nº 9.433/1997, art. 11). Os usos que dependem de outorga foram elencados no art. 12 da mesma lei federal:

Art. 12. Estão sujeitos à outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos:

- I. derivação ou captação de parcela da água existente em um corpo de água para consumo final, inclusive abastecimento público, ou insumo de processo produtivo;
- II. extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo;**
- III. lançamento em corpo de água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não, com o fim de sua diluição, transporte ou disposição final;
- IV. aproveitamento dos potenciais hidrelétricos;
- V. outros usos que alterem o regime, a quantidade ou a qualidade da água existente em um corpo de água. (BRASIL, 1997).

A lei incluiu expressamente a necessidade de outorga de direito de uso para extração de água dos aquíferos (art. 12, inc. II). Em virtude do domínio estadual das águas subterrâneas, os estados e o Distrito Federal serão responsáveis por regulamentar esse instrumento, observando sempre as normas nacionais. Além da extração de água por poços, alguns estados, com base no art. 12, inc. V, exigem esse instrumento para casos de rebaixamento de lençol freático em edificações e obras de construção civil ou para rebaixamento do nível d’água em atividades de mineração

(neste caso, vide Resolução CNRH nº 29/2002). Nessas situações, o foco não é o uso, mas os efeitos que essas atividades podem gerar ao aquífero ou às águas em geral.

Em virtude da competência privativa da União para legislar em matéria de águas, esse instrumento só pode ser dispensado nos casos previstos no art. 12, parágrafo 1º da Lei nº 9.433/1997:

§ 1º. Independem de outorga pelo Poder Público, conforme definido em regulamento:

- I. o uso de recursos hídricos para a satisfação das necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural;
- II. as derivações, captações e lançamentos considerados insignificantes;
- III. as acumulações de volumes de água consideradas insignificantes. (BRASIL, 1997).

Nesses casos, a solicitação da outorga de direito de uso é dispensada, porém, os Estados impõem outras condicionantes administrativas, tais como: inscrição no cadastro de poços ou usuários e obtenção de documento que ateste o caráter de uso isento ou insignificante. Cabe aos CBHs estaduais propor diretrizes e critérios para estabelecer os usos considerados insignificantes para as águas subterrâneas e, então, os CERHs aprová-los. No caso de ausência de determinação desses critérios pelo CBH ou a ausência desse ente, a autoridade outorgante estadual faz a definição em caráter provisório (vide Resolução CNRH nº 184/2016).

Os volumes considerados insignificantes podem variar entre as bacias ou em regiões específicas de uma bacia. Sua definição deve analisar os

seguintes critérios: a) o “percentual da referência volumétrica de determinada porção de aquífero como limite individual de captação”; b) o “limite percentual de comprometimento coletivo quantitativo de porções de aquífero”; e c) o “efeito cumulativo, em um mesmo corpo hídrico, de todas as derivações, captações, lançamentos ou acumulações de volumes de água de pouca expressão, considerados insignificantes.” (art. 6º da Res. CNRH nº 184/2016).

A concessão da outorga de direito de uso de águas subterrâneas deve “evitar o comprometimento qualitativo e quantitativo dos aquíferos e dos corpos de água superficiais a eles interligados.” (art. 3º, inc. III da Res. CNRH nº 15/2001). Para isso, a decisão deve ser fundamentada nos estudos hidrogeológicos descritos na Resolução CNRH nº 92/2008 (art. 2º) (Figura 21).

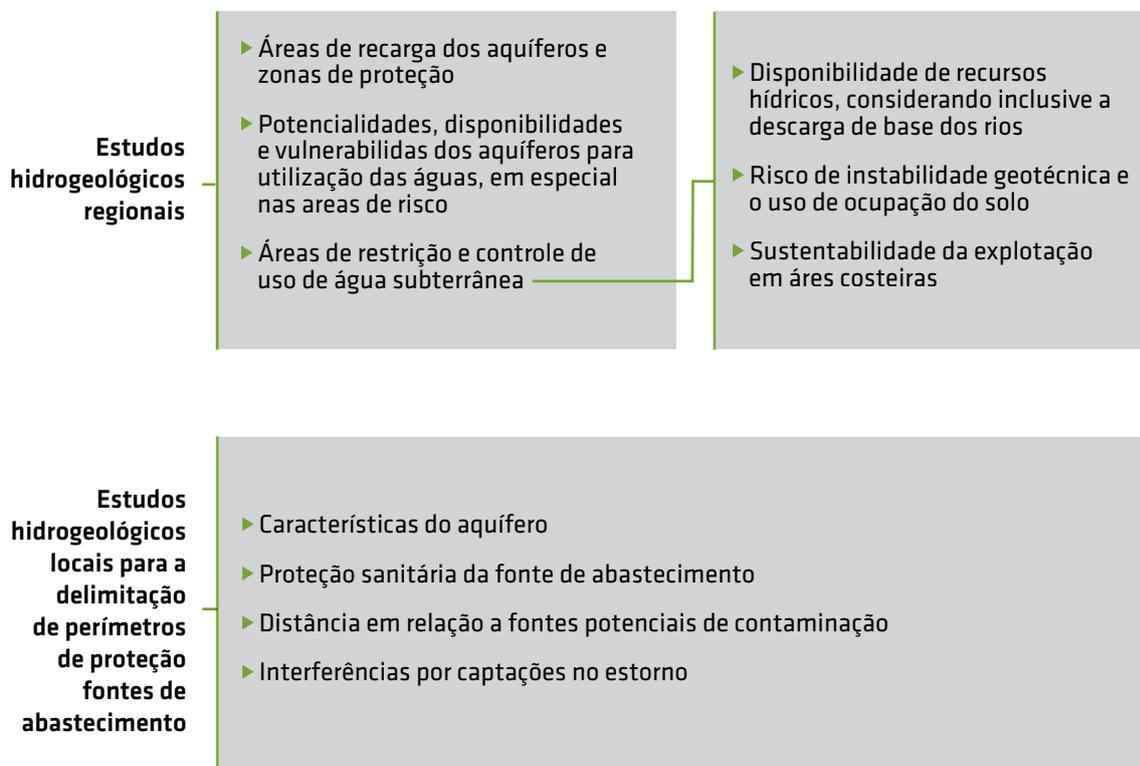


Figura 21 – Estudos hidrogeológicos e outorga de direito de uso das águas subterrâneas
Fonte: CNRH (Resolução nº 92/2008), adaptado pelos autores.

A outorga de direito de uso das águas subterrâneas deve levar em conta os seguintes critérios: a) características dos aquíferos; b) necessidades dos usuários; c) possibilidade de interferência entre poços e níveis máximos de rebaixamentos permitidos; d) risco de intrusão salina; e) gestão da demanda entre os usuários de águas subterrâneas e superficiais; e f) articulação com a gestão do solo (Costa et al., 2011).

O principal desafio para a sua implementação, porém, remete à baixa adesão dos usuários ao instrumento. A maioria absoluta dos poços é ilegal ou irregular. Poços ilegais “são aqueles cuja perfuração e uso das águas subterrâneas não encontra amparo na lei, portanto sua existência é proibida e, conseqüentemente, se o interessado solicitasse um pedido de outorga, este seria negado.” (VILLAR; HIRATA, 2021). Por sua vez, os poços irregulares “são aqueles cuja perfuração e uso das águas subterrâneas encontra respaldo na lei, porém se exige o cumprimento de determinados trâmites ou se impõem restrições ou condicionantes para esse uso, que não foram atendidas pelo proprietário do poço.” (VILLAR; HIRATA, 2021).

A clandestinidade prejudica a aplicação de outros instrumentos, como a confecção dos planos de bacia e a cobrança pelo seu uso. Infelizmente, no caso dos usos legalizados, boa parte das outorgas é emitida sem as avaliações hidrológicas necessárias ou não se fundamenta em metodologias apropriadas. A ANA (2013b, p. 64) recomenda que o cálculo da disponibilidade hídrica subterrânea seja orientado pelos conceitos de:

- **Recarga Potencial Direta (RPD):** é “parcela da precipitação pluviométrica média anual que infiltra e efetivamente chega aos aquíferos livres, constituindo, assim, a reserva renovável ou reguladora”.



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA

- **Coeficiente de Sustentabilidade (CS):** percentual máximo recomendado para explorar a RPD, de forma a evitar efeitos adversos no aquífero ou diminuição das vazões de base dos rios interconectados.
- **Reserva Potencial Explotável estimada (RPE):** corresponde à parcela da RPD indicada pelo CS.

O estado do Mato Grosso do Sul utiliza essa metodologia para delimitar os volumes disponíveis para a outorga. Há, contudo, outras formas para determinar esses valores, tais como: a) vazão média do aquífero; b) percentual da vazão do poço; c) vazão de base da drenagem superficial; d) vazão de segurança; e) rebaixamento disponível; e f) análise qualitativa dos dados de ensaios de bombeamento (Campos; Correa, 2013).

A precariedade da implementação desse instrumento coloca em risco os objetivos da política de águas. Sem o controle do uso não há como assegurar a disponibilidade hídrica para as presentes e futuras gerações ou a utilização racional e integrada, muito menos prevenir e mitigar eventos hidrológicos críticos decorrentes do uso inadequado das águas (VILLAR, 2016). O Quadro 6 sintetiza os principais motivos da ilegalidade dos poços e propõe ações para combater essa prática.

Atores sociais	Fatores facilitadores	Ações mitigadoras
Usuários	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de conhecimento sobre a água subterrânea em relação aos aspectos técnicos e jurídicos; • Não veem problemas nem consequências em utilizar as águas de forma clandestina; • Não conhecem os benefícios de ter o poço regularizado; • Não há incentivos ou compensações financeiras ou de serviços que tornem a regularização do poço atrativa para o usuário; • Não há disposição do usuário em pagar taxas de captação sem ver retorno desse pagamento. • Resistência em aceitar o pagamento da taxa de esgoto proporcional ao volume de água captado no poço; • Há entendimento de que ter um poço não regularizado é um delito menor e não traz prejuízo à sociedade ou para o ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conscientizar os usuários da necessidade e dos benefícios da regularização dos poços. • Disponibilizar informações técnicas e de disponibilidade de água subterrânea consistentes para auxiliar o usuário na prospecção e captação do recurso. • Oferecer compensações pelo uso regularizado. Por exemplo, por meio da orientação técnica operacional, sobre eficiência de bombas e energética, qualidade de água etc. • Buscar formas de incluir o dono do poço como um parceiro na gestão de águas subterrâneas.
Órgãos Gestores	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de vontade política para fiscalizar e controlar os poços; • Ausência de tradição institucional e estabilidade organizacional; • Conhecimento e dados limitados sobre o comportamento dos aquíferos; • Cadastros de poços pouco consistentes e informações de disponibilidade de água subterrânea insuficientes para auxiliar os usuários ou promover a boa gestão; • Baixa capacidade operacional de campo, o que prejudica a fiscalização efetiva; • Raramente há aplicação de sanções aos poços irregulares, em muitos casos se obriga apenas a realizar a regularização; • As águas subterrâneas não são vistas como uma prioridade pelos gestores ou pela sociedade; • Os processos de outorga, muitas vezes, são complexos, burocráticos e morosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar a efetiva fiscalização, identificando os poços irregulares, promovendo a regularização e aplicando a lei e suas penalidades; • Utilizar a fiscalização e a aplicação de penalidades de forma exemplar, inclusive divulgando essas ações para demonstrar a atuação Estatal; Criar programas de regularização de poços, principalmente em áreas com uso intenso, indícios de superexploração e conflitos entre usuários vizinhos.

Atores sociais	Fatores facilitadores	Ações mitigadoras
Perfuradores	<ul style="list-style-type: none"> • Omissão sobre a obrigatoriedade da outorga e dos riscos e consequências decorrentes da falta de autorização; • Conhecimento limitado sobre hidrogeologia para compreender os impactos do uso irregular; • Há perfuradores atuando sem registro no órgão de controle da atividade (CREA) ou cujo responsável técnico dedica menos tempo que o mínimo estabelecido; • Falta de cooperação entre os órgãos gestores e os de controle da atividade de perfuração. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estabelecer uma relação entre o órgão gestor dos recursos hídricos e o CREA, inclusive com o intercâmbio de dados. • Realizar a efetiva fiscalização e o controle da atividade de perfuração de poços. • Conscientizar os perfuradores a executarem somente as perfurações autorizadas e de acordo com as normas técnicas.

Quadro 6 – Por que temos tantos poços irregulares e como mudar essa situação?

Fonte: Foster, Hirata e Custodio (2021), adaptado por Antonio Luiz Pinhatti.

4.5 Cobrança pelo uso de recursos hídricos: meios para promoção da gestão das águas subterrâneas

A cobrança pelo uso de recursos hídricos está prevista no art. 5º, inc. IV da Lei nº 9.433/1997. O art. 19 da referida lei e a Resolução CNRH nº 48/2005 definem que seus objetivos são:

- I. reconhecer a água como bem público limitado, dotado de valor econômico, e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;
- II. incentivar a racionalização do uso da água e a sua conservação, recuperação e manejo sustentável;
- III. obter recursos financeiros para o financiamento de estudos, projetos, programas, obras e intervenções, contemplados nos Planos de Recursos Hídricos, promovendo benefícios diretos e indiretos à sociedade;

- IV. estimular o investimento em despoluição, reuso, proteção e conservação, bem como a utilização de tecnologias limpas e poupadoras dos recursos hídricos, de acordo com o enquadramento dos corpos de águas em classes de usos preponderantes; e,
- V. induzir e estimular a conservação, o manejo integrado, a proteção e a recuperação dos recursos hídricos, com ênfase para as áreas inundáveis e de recarga dos aquíferos, mananciais e matas ciliares, por meio de compensações e incentivos aos usuários. (CNRH, Resolução nº 48/2005, art. 2º).

Esse instrumento econômico e de controle se baseia nos princípios do poluidor pagador e do usuário pagador, sendo que os valores arrecadados possuem natureza de preço público, pois se trata de contrapartida paga pelo uso de bem de domínio público (Granziera, 2015; Villar; Granziera, 2020). A cobrança pode ser federal ou estadual, a depender do domínio sobre o recurso hídrico e da área do comitê em questão. No caso dos CBHs interestaduais, a cobrança foi aplicada às seguintes bacias: do rio Paraíba do Sul; dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí; do rio São Francisco; do rio Doce; do rio Paranaíba; e do rio Verde Grande (ANA, 2019).

Em razão do domínio estadual das águas subterrâneas, as Unidades Federativas são responsáveis por regulamentar e aplicar a cobrança. Com base na legislação, de forma participativa, os CBHs estabelecem os mecanismos de cobrança e sugerem os valores a serem aprovados pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH). Em alguns estados, além dessa aprovação, é necessário um decreto governamental para permitir a efetiva cobrança, que se restringe aos usos outorgados (VILLAR; GRANZIERA, 2020).

A maioria dos estados, infelizmente, não implementou a cobrança de forma plena (Figura 22). Estados com alto índice de exploração das águas subterrâneas e dotadas de CBHs enfrentam dificuldades para aplicar a cobrança, como é o caso do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Mato Grosso

do Sul e Goiás. Além disso, quando aplicada, a situação de não regularidade dos poços prejudica a sua efetividade.

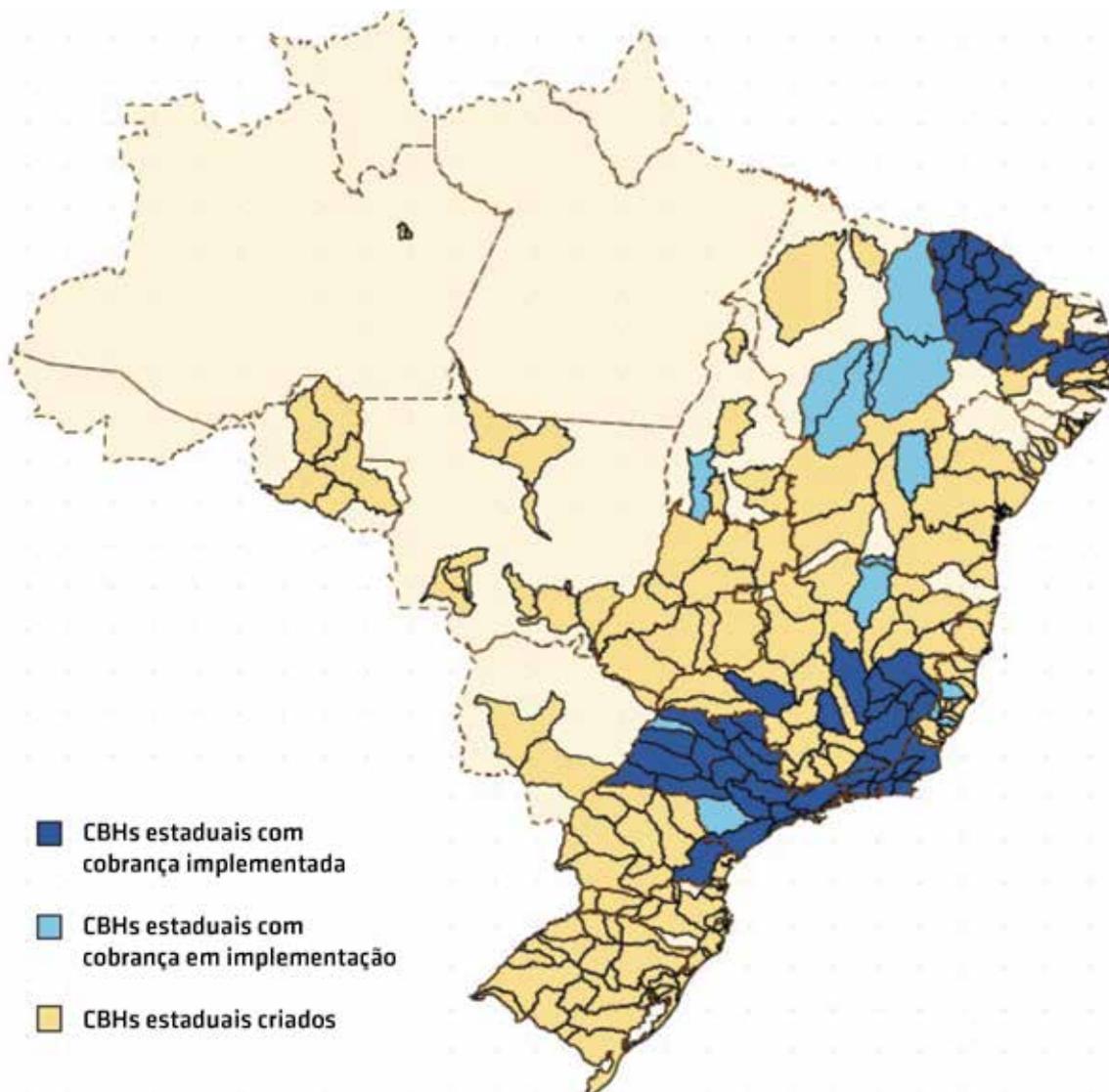


Figura 22 – Cobrança pelo uso de recursos hídricos no Brasil – Comitês Hídricos Estaduais
Fonte: ANA (2019, p. 26).

O Preço Unitário Básico (PUB) aplicado à cobrança da captação das águas subterrâneas oscila, em média, entre R\$ 0,01 a R\$ 0,02 por metro cúbico, variando conforme o tipo de uso e captação. Destaca-se o caso do Ceará, que cobra um valor específico de R\$ 0,85 por metro cúbico para a captação de

águas minerais (vide Comunicado nº 01/2021/GECOM/DIAFI/ COGERH, de 16/02/2021). O PUB não é o preço final pago pelo usuário, obtido a partir de fórmulas matemáticas que aplicam diversos coeficientes ponderadores a esse valor. Apesar da aplicação desses coeficientes, os preços cobrados são baixos e não necessariamente estimulam o uso racional do recurso hídrico (OCDE, 2015). A aplicação da cobrança é fundamental à gestão hídrica, pois contribui para a implementação de diversos programas e projetos destinados à melhoria da gestão hídrica, além de fortalecer a gestão integrada das águas.

4.6 Os Sistemas de Informação e as águas subterrâneas

Os Sistemas de Informação são essenciais para instruir o processo de tomada de decisão. A aplicação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, previstos na Lei nº 9.433/1997, depende da disposição de dados que permitam avaliar as condições das bacias hidrográficas e seus respectivos aquíferos (PORTO; PORTO, 2008). Os sistemas de informação de recursos hídricos podem ser nacionais ou estaduais. No caso das águas subterrâneas pode-se destacar três sistemas de informações: o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH), que é um subsistema do SNIRH, e o Sistema de Informação de Águas Subterrâneas (SIAGAS). Os dois primeiros estão sob a tutela da ANA, sendo que o SNIRH busca agrupar informações gerais sobre os recursos hídricos, enquanto o CNARH tem como foco o uso dos recursos hídricos. Já o SIAGAS opera de forma independente dos sistemas coordenados pela ANA e se configura como uma base de dados de poços reunindo informações sobre os seus aspectos construtivos, geológicos e hidrogeológicos.

A Moção CNRH nº 38, de 7 de dezembro de 2006, recomendou a adoção do SIAGAS pela ANA e pelos órgãos gestores estaduais, Secretarias dos Governos Estaduais e usuários dos recursos hídricos subterrâneos, como base nacional

compartilhada para armazenagem, manuseio, intercâmbio e difusão de informações sobre águas subterrâneas. Além desses sistemas de informação relacionadas às águas, destaca-se, ainda, o Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (SINIMA) e o Sistema Nacional de Informações de Saneamento (SNIS), sendo que a Moção CNRH nº 39, de 7 de dezembro de 2006, recomendou a integração entre todos esses sistemas.

4.6.1 Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)

O SNIRH está previsto nos arts. 5º, inc. VI, e 25 a 27 da Lei nº 9.433/1997, e visa a “coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão” (art. 25). A ANA é a responsável pela organização, implantação e gestão desse sistema que se destina aos entes do Singreh, aos usuários, à comunidade científica e à sociedade em geral⁹. Os dados armazenados fornecem as bases para a elaboração dos Planos de Recursos Hídricos e incluem informações sobre: divisão hidrográfica, quantidade e qualidade das águas, usos de água, disponibilidade hídrica, eventos hidrológicos críticos, planos de recursos hídricos, regulação e fiscalização dos recursos hídricos e programas voltados à conservação e gestão dos recursos hídricos.

4.6.2 Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH)

O CNARH foi estabelecido pela Res. ANA nº 317, de 26 de agosto de 2003, com o objetivo de “conhecer a demanda pelo uso da água no país para dar suporte à implementação dos instrumentos das políticas nacional e estaduais de recursos hídricos, e à fiscalização dos usos e interferências nos recursos hídricos” (art. 1º, § 2º). O Cadastro materializa um “registro dos usuários de recursos hídricos, usos e interferências regularizados pelos Estados e pela União” (art.

⁹ Esse sistema pode ser acessado no site: <https://www.snirh.gov.br/>.

1, § 1º), que faz parte do SNIRH. Desenvolvido pela ANA, em conjunto com as autoridades gestoras de recursos hídricos, o CNARH permite que os estados insiram as suas bases de dados relacionadas aos usos dos recursos hídricos de forma a estabelecer os usuários e usos, tendo como base distintas territorialidades (local, regional ou nacional). Os órgãos ou entidades gestoras de recursos hídricos e outorgantes estaduais e da União são os responsáveis por inserir o registro dos usuários, dos usos e das interferências, acrescidos dos atos de regularização.

A Res. CNRH nº 126/2011 estabeleceu as diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Para esse cadastro classificam-se como usuários “pessoas físicas ou jurídicas, de direito público ou privado, fazendo uso ou interferência nos recursos hídricos, passíveis ou não de outorga, nos termos do art. 12, da Lei nº 9.433, de 1997, e das normas estaduais vigentes” (art. 3º, inc. III, da Res. CNRH nº 126/2011)¹⁰.

4.6.3 Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS)

O SIAGAS foi criado anteriormente à política de águas, em 1996, pelo SGB-CPRM, e constitui o principal acervo de informações sobre os poços no Brasil. Sua base de dados é construída a partir de informações fornecidas pelos órgãos gestores de recursos hídricos, empresas perfuradoras e usuários de águas subterrâneas. Seus principais objetivos são: coletar, armazenar e disponibilizar dados e informações hidrogeológicas georreferenciadas de forma a apoiar a elaboração de mapas hidrogeológicos e contribuir no atendimento às demandas por dados de usuários e gestores de recursos hídricos ou áreas relacionadas. O Sistema fornece uma base de

¹⁰ O sistema pode ser consultado no site: <http://www.snirh.gov.br/cnarh-histo/publico/index.jsf>.

dados que contribui para: a) subsidiar com dados técnicos pesquisas, estudos e projetos de hidrologia e hidrogeologia desenvolvidos pelo Serviço Geológico do Brasil; b) armazenar a base de dados nacionais sobre poços, disponível ao público geral; e c) apoiar a gestão das águas por meio de informação técnica sobre o uso e características das águas subterrâneas e poços registrados. O Sistema é dotado de mecanismos que facilitam a coleta, a consistência e o armazenamento de dados hidrogeológicos, atuando de forma articulada com os órgãos gestores estaduais e as empresas parceiras (públicas e privadas)¹¹.

4.7 Outros instrumentos que contribuem para a governança das águas

A ideia de gestão integrada dos recursos hídricos pressupõe não apenas políticas específicas para o uso e aproveitamento dos recursos hídricos, mas, também, a coordenação das políticas relacionadas ao uso e ocupação do território e de proteção ambiental. A centralidade da água para as atividades econômicas, ecossistemas e qualidade da vida humana faz com que essa substância seja (ou devesse ser) uma variável importante na aplicação de instrumentos de gestão de outras políticas públicas, com destaque àquelas relacionadas ao meio ambiente, saneamento, agricultura e desenvolvimento urbano.

A Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938/1981), a Política Agrícola (Lei Federal nº 8.171/1991), o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Lei Federal nº 9.985/2000), a Política Urbana (Lei Federal nº 10.257/2001), a Política Federal de Saneamento Básico (Lei Federal nº 11.445/2007), a Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal nº

¹¹ O sistema pode ser acessado no site: <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/>.

12.305/2010), a Resolução Conama nº 420/2009 (áreas contaminadas), o “Novo Código Florestal” (Lei Federal nº 12.651/2012) e a Política Nacional de Irrigação (Lei Federal nº 12.787/2013) são exemplos de leis nacionais que preveem instrumentos de gestão correlacionados à gestão hídrica.

Os estados e municípios, na medida de suas competências, devem regulamentar e implementar esses instrumentos, de forma a incluir os aspectos relacionados às águas (superficiais e subterrâneas) e à promoção da segurança hídrica. Segundo Villar e Hirata (2022), os principais instrumentos de gestão que podem influenciar, positiva ou negativamente, as águas são:

- plano diretor;
- legislação relacionada ao parcelamento, uso e ocupação do solo;
- zoneamento ambiental;
- licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras;
- licenciamento ou autorização administrativa para sondagem e perfuração de poços;
- zoneamento econômico ecológico (ZEE);
- unidades de conservação;
- programa estadual de regularização ambiental (PRAs);
- áreas de preservação permanente e reserva legal;

- sistema de informações de meio ambiente;
- planos de mudança climática;
- planos de resíduos sólidos;
- planos de gerenciamento de resíduos sólidos;
- gerenciamento de áreas contaminadas;
- relatório de áreas contaminadas;
- planos de Saneamento Básico;
- sistema de informações sobre os serviços públicos de saneamento básico;
- programas para recuperação de nascentes;
- programa para o manejo adequado de dejetos de animais;
- planos de irrigação (PEI);
- zoneamento agroecológico (ZA);
- sistema de informações sobre irrigação.

Esses instrumentos têm potencial para promover a gestão das águas subterrâneas na medida em que norteiam e otimizam a atuação dos usuários, protegem as águas ou elementos relacionados ao ciclo hidrológico, impõem restrições ou limitam o uso e ocupação do solo ou condicionam a

implementação de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras de recursos naturais. O Poder Público, contudo, apresenta dificuldades em elaborar ou implementar esses instrumentos de planejamento de forma efetiva e eficaz. É o caso dos Planos Estaduais de Irrigação, Zoneamento Agroecológico e Zoneamento Econômico Ecológico. A situação é particularmente preocupante pois o Brasil figura entre os dez países com a maior área equipada para irrigação, sendo a agricultura o principal usuário em termos quantitativos (ANA, 2021). Outro problema é a relação dos aquíferos com o ordenamento territorial municipal, pois não é usual que os municípios incorporem a proteção das áreas de recarga ou considerem a vulnerabilidade dos aquíferos na aplicação dos instrumentos de política urbana.



Foto: Eduardo Gomes de Assis/Banco de Imagens ANA
Surgência de aquífero carstico na Bacia do Pacuí na divisa
de Montes Claros com Coração de Jesus - MG.

5

A GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E O FORTALECIMENTO DA GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA

5 A GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E O FORTALECIMENTO DA GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS

A governança das águas subterrâneas e o fortalecimento da gestão integrada pressupõe o envolvimento de diversos atores, a superação de gargalos jurídico-institucionais, bem como a adoção de estratégias de proteção da sua quantidade e qualidade. Dessa forma, este capítulo pretende apresentar as principais ações recomendadas para a construção desse processo de governança das águas subterrâneas e a efetiva implementação da gestão integrada dos recursos hídricos.

5.1 Estratégias de proteção da quantidade e a superexploração de aquíferos

Os aquíferos têm como principal característica o grande armazenamento de água, assim, retiradas de volumes superiores à recarga podem ser permitidas desde que compensadas no futuro. Os aquíferos, portanto, têm condições de serem usados como uma “conta de poupança”, o que demanda planejamento de

longo prazo, com claras regras de exploração, baseadas em estudos técnicos e no acompanhamento por meio de uma rede integrada de monitoramento, além do engajamento de usuários para cumprir os compromissos pactuados. As extrações nos aquíferos não devem ser reduzidas a uma simples aritmética de entradas e saídas, que desconsidere a capacidade de armazenamento do aquífero ou o fato de que as extrações possam induzir maiores disponibilidades de águas subterrâneas (FOSTER *et al.*, 2006). Ignorar essas ponderações significa perder a oportunidade oferecida pelos aquíferos de prover mais água ou de regular o equilíbrio entre produção e demanda, sobretudo em períodos de estiagens e secas prolongadas.

A elaboração de um planejamento de longo prazo é prejudicada pelos baixos investimentos em estudos, que permitiriam avaliar com precisão a potencialidade dos aquíferos. Adicionalmente, o problema da superexploração está associado ao elevado número de poços irregulares ou desconhecidos, o que dificulta o estabelecimento de um programa realista de gestão dos recursos hídricos.

O gerenciamento adequado das extrações e o aproveitamento de um aquífero, um sistema aquífero ou parte específica de um aquífero, deve compor-se, primeiramente, pela identificação das áreas críticas, ou seja, aquelas em que o uso das águas subterrâneas é mais intenso ou o desempenho dos seus serviços ecossistêmicos se mostrem imprescindíveis. Isso permitirá planejar as ações de uso da água subterrânea e, sobretudo, possibilitar aos gestores a identificação de prioridades entre as áreas críticas.

Os métodos de identificação das áreas críticas devem se basear em: a) cartografias hidrogeológicas de reconhecimento dos aquíferos e suas características hidráulicas, amparadas em um cadastro de poços, com testes e dados hidráulicos; b) identificação de áreas ecologicamente frágeis (pântanos, rios e mangues) do fluxo subterrâneo; c) cadastro de núcleos urbanos dependentes de água subterrânea para o abastecimento público e privado; d) registros



de conflitos entre usuários; e) inventário de áreas com registro de grandes perdas de níveis potenciométricos do aquífero, reportados pelas empresas perfuradoras de poços, usuários ou operadores de sistemas de abastecimento de água; e f) histórico de redução de vazão em rios, drenagens e pântanos secos ou perda de nascentes e lagos.

A partir da identificação e caracterização das áreas críticas é necessário transformar esse conhecimento em ações institucionais, políticas e jurídicas. Normalmente, a ação mais frequente é a criação de áreas de restrição e controle de águas subterrâneas, cujo objetivo é limitar os volumes captados ou novas perfurações. Essa estratégia é prevista na legislação de vários estados brasileiros e do Exterior, tendo sido utilizada, por exemplo, no caso de Ribeirão Preto (SP).

O sucesso dessa medida depende do envolvimento do Poder Público e dos usuários. Os órgãos de gestão precisam monitorar a evolução dos níveis de água do aquífero, engajar os usuários no processo de definição das metas e formas de alocação da água e fiscalizar o seu cumprimento. Para cumprir essas obrigações é necessário construir parcerias entre os vários níveis de governo (local, estadual e federal). Os usuários, por sua vez, precisam se comprometer a reduzir as captações para atingir as metas, monitorar os seus poços e trabalhar em conjunto com o Poder Público para recuperar o aquífero. Outra medida para recuperar um aquífero é a adoção de mecanismos para a recarga artificial do aquífero.

5.1.1 Recarga artificial e manutenção dos aquíferos

No Brasil, a recarga artificial não é usada como política pública, embora esteja prevista na Res. CNRH n° 153/2013. Este diploma define a recarga como a “introdução não natural de água em um aquífero, por intervenção antrópica planejada, por meio da construção de estruturas projetadas para este fim.” (art. 2º). A estrutura dos mecanismos de recarga pode ser construída tanto pelo Poder Público, como pelos usuários ou por modelos



mistos entre Poder Público e usuários. Seus principais objetivos são: armazenar água, estabilizar ou elevar os níveis de água em aquíferos, compensar efeitos de superexploração de aquíferos, controlar a intrusão salina, ou controlar a subsidência do solo (art. 4º).

No seu art. 3º, a Res. CNRH nº 153/2013 determina que a recarga artificial pode ser implantada a partir da superfície ou em profundidade. Na superfície, a infiltração ocorre por meio de barragens, espalhamento de água, canais, valas ou a combinação desses métodos. Em profundidade, a água é injetada diretamente por meio de poços. A literatura aponta, ainda, a possibilidade de recarga em profundidade na zona não saturada por meio de caixas de infiltração (preenchidas ou revestidas), trincheiras de recarga, drenos subsuperficiais ou por galerias drenantes (SEWRPC, 2006).

Segundo a literatura, a água injetada no aquífero pode ser decorrente da chuva, de corpos hídricos superficiais, de outros aquíferos ou de reuso. É importante garantir que essas águas não coloquem em risco a qualidade das águas do aquífero. Por isso, qualquer esquema de recarga artificial deve ser precedido por estudos técnicos, bem como a construção de sistemas pilotos de escala reduzida e monitoramento quali-quantitativo. O órgão gestor estadual de recursos hídricos é o responsável por autorizar a recarga artificial dos aquíferos, que estará condicionada à “realização de estudos que comprovem sua viabilidade técnica, econômica, sanitária e ambiental” (CNRH, Resolução nº 153/2013, art. 5º).

5.2 Estratégias para a proteção da qualidade dos aquíferos

As estratégias para a proteção da qualidade das águas dos aquíferos não devem ser dissociadas daquelas que objetivam a sua quantidade. Os programas de concessão de uso da água devem considerar a qualidade do recurso e o perigo de poluição, de forma a evitar problemas e riscos à saúde dos usuários



ou facilitar a identificação de áreas contaminadas no aquífero. Geralmente, a prevenção contra a perda da qualidade dos recursos hídricos foca em duas estratégias distintas: a) ações voltadas à proteção do aquífero como um todo; e b) ações para a proteção das fontes de água para o abastecimento público (FOSTER *et al.*, 2002).

A proteção do aquífero se dá, principalmente, pelo controle do uso e ocupação do solo, de forma a evitar que sejam geradas cargas contaminantes ou que atinjam o aquífero (zona saturada). Exige-se, portanto, a aplicação de instrumentos que restrinjam determinados usos em áreas de recarga ou mesmo autorizações e permissões de uso que considerem a vulnerabilidade à contaminação do aquífero, bem como a aprovação de procedimentos de gestão do perigo para evitar ou mitigar acidentes que possam gerar contaminação. A legislação brasileira estabeleceu vários instrumentos para isso, como o licenciamento ambiental, o zoneamento ambiental e as leis de uso e ocupação do solo municipal.

A prevenção da contaminação pode ser alcançada pela redução do perigo de contaminação de uma área (FOSTER; HIRATA, 1988; FOSTER *et al.*, 2002). O perigo é definido como a interação entre a carga contaminante e a vulnerabilidade do aquífero à sua degradação. Assim, o maior perigo ocorre quando há elevadas cargas contaminantes em áreas de alta vulnerabilidade, como, por exemplo, os afloramentos de um aquífero livre, sedimentar, arenoso e permeável. Em contraste, o menor perigo está associado ao caso em que há uma carga contaminante reduzida ou inexistente, localizada em uma área de baixa vulnerabilidade (FOSTER; HIRATA, 1988; FOSTER *et al.*, 2002).

O mapeamento da vulnerabilidade do aquífero é uma estratégia de gestão que permite priorizar os recursos para os aquíferos com maior vulnerabilidade. Outro enfoque de gestão é a proteção das fontes de água mais importantes, tais como aquelas usadas para o abastecimento público ou de usuários mais



sensíveis à questão da qualidade, como hospitais, clínicas de saúde e escolas. Neste caso, as principais estratégias são: a) definir os Perímetros de Proteção de Poços ou Mananciais (PPP), e b) impedir que fontes potenciais de contaminação sejam instaladas nas proximidades (CARVALHO; HIRATA, 2012; FOSTER *et al.*, 2002).

5.2.1 Gerenciamento de áreas contaminadas e as águas subterrâneas

No caso de contaminação das águas subterrâneas é necessário recorrer ao Gerenciamento de Áreas Contaminadas (GAC), que é um procedimento regulamentado pela Res. Conama nº 420/2009 e pelas legislações estaduais. O termo contaminação é definido no art. 6º, inc. V, da Resolução Conama nº 420/2009 como:

a presença de substância(s) química(s) no ar, água ou solo, decorrentes de atividades antrópicas, em concentrações tais que restrinjam a utilização desse recurso ambiental para os usos atual ou pretendido, definidas com base em avaliação de risco à saúde humana, assim como aos bens a proteger, em cenário de exposição padronizado ou específico; [...].

Na perspectiva do GAC, a degradação se torna juridicamente relevante quando ultrapassa parâmetros de contaminação previamente estabelecidos pela legislação. Segundo a Res. Conama nº 420/2009, esse procedimento é norteado pelos Valores Orientadores (VOs), os quais se subdividem nas seguintes categorias:

Valor de Referência de Qualidade (VRQ): é a concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo, sendo determinado com base em interpretação estatística de análises físicoquímicas de amostras de diversos tipos de solos (art. 6º, XXII);



Valor de Prevenção (VP): é a concentração de valor limite de determinada substância no solo, tal que ele seja capaz de sustentar as suas funções principais, de acordo com o art. 3º (art. 6º, XXIII);

Valor de Investigação (VI): é a concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana, considerando um cenário de exposição padronizado (art. 6º, XXIV).

A caracterização da contaminação, portanto, pressupõe a existência de determinadas concentrações no solo ou nas águas subterrâneas que, segundo a legislação, gerariam um risco potencial ou efetivo à saúde humana ou ecossistemas. Constatada essa situação, torna-se obrigatória a adoção de uma série de medidas para restringir o uso do solo e das águas subterrâneas, bem como para recuperar e remediar a área contaminada. A Resolução Conama nº 420/2009 regulamenta os VOs, porém, os estados devem regulamentar o GAC, definindo os seus procedimentos, o órgão competente para realizá-lo e os Valores de Referência de Qualidade (VRQ), além de poderem estabelecer VOs mais restritivos.

A proteção das águas subterrâneas deve orientar-se pela prevenção, pois o dano costuma ser irreversível e pode inviabilizar o uso da água. Além disso, o custo da recuperação ou remediação é superior ao das ações para evitá-lo. No Estado de São Paulo, diversas ações judiciais têm discutido se a recuperação das áreas contaminadas deveria se pautar pelos critérios dos VOs ou pelo dever da reparação ambiental integral. As questões de fundo desse debate jurídico se centram na análise de custo e benefício promovida pelo GAC frente ao dano ambiental e à capacidade técnica de descontaminar um aquífero, ou seja, o que seria uma recuperação aceita do ponto de vista ambiental, econômico e social? Infelizmente, há limitações tecnológicas e/ou econômicas que impedem a reparação



integral do dano, isto é, de restaurar as características geoquímicas naturais do aquífero. Em muitos casos, mesmo com altos investimentos e aplicação das melhores técnicas disponíveis só se consegue reduzir os níveis de contaminação.

O foco prioritário do GAC no Brasil é: a) identificação da área contaminada; b) avaliação do risco à saúde humana e ambiental; e c) realização do processo de reabilitação. A lógica desse procedimento é estabelecer metas de limpeza do solo ou aquífero e realizar a sua reabilitação de forma a devolver à sociedade um ambiente que ofereça um nível tolerável de risco. Assim, entende-se como área contaminada aquela que oferece um nível de risco acima do tolerado e não somente uma alteração físico-química ou biológica do meio comparativamente às qualidades naturais originais.

Diante dos custos ambientais e sociais das áreas contaminadas, os órgãos ambientais devem buscar a proteção preventiva do solo e aquíferos por meio das seguintes ações:

- estabelecimento de padrões de qualidade ambiental para o solo, o ar e a água, bem como para as emissões de poluentes;
- licenciamento e fiscalização de fontes potenciais de contaminação, com base em normas legais pré-estabelecidas;
- incentivos para o desenvolvimento e aplicação das melhores práticas tecnológicas que visem a reduzir ou eliminar as emissões de poluentes.

A partir da identificação de áreas com probabilidade de contaminação, o GAC impõe uma sequência de procedimentos e estudos a fim de caracterizar e comprovar tal situação e atuar na remediação do problema. O início desse



procedimento se dá por meio da realização de uma *avaliação preliminar*. O estudo visa a “encontrar evidências, indícios ou fatos que permitam suspeitar da existência de contaminação na área” por meio do levantamento de informações históricas e de visitas ao local (art. 6º, inc. II, Res. Conama nº 420/2009). A partir dele se elabora o plano de investigação confirmatória.

A *investigação confirmatória*, ao contrário da preliminar, exige coleta de amostras de solo e de água subterrâneas, e outras técnicas invasivas ou não invasivas (como a geofísica). O objetivo dessa investigação é confirmar ou não a existência de contaminação. Esse reconhecimento se faz comparando os resultados das análises químicas de solos e da água com os VOs e de referência de qualidade, estabelecidos pelo órgão ambiental.

Confirmada a contaminação, realiza-se uma *investigação detalhada*, cujo objetivo é “entender a dinâmica da contaminação nos meios físicos afetados e a identificação dos cenários específicos de uso e ocupação do solo, dos receptores de risco existentes, dos caminhos de exposição e das vias de ingresso.” (art. 6º, inc. IX da Res. Conama nº 420/2009). Nessa etapa são estabelecidos o nível e os limites da degradação (mapeamento das extensões da pluma contaminante), além da quantificação da massa presente e da dinâmica de transporte dessas substâncias. Essa atividade permitirá avaliar o grau de risco a que estão expostas as pessoas e o ambiente. Uma vez definida a área contaminada e os riscos existentes, inicia-se o processo de reabilitação da área, que deve incluir um *plano de intervenção*. Com a aprovação do órgão ambiental inicia-se a execução da remediação do solo e do aquífero. Se a remediação cumprir seus objetivos, inicia-se o *programa de monitoramento*, cujo objetivo é garantir que as metas acordadas sejam realmente atingidas. Se o relatório do monitoramento constatar o cumprimento das metas, a área será declarada pelo órgão ambiental como *reabilitada para o uso declarado*.



5.3 Governança das águas subterrâneas como meio de garantir o desenvolvimento socioeconômico

A extração de águas subterrâneas tem contribuído para o desenvolvimento social e econômico, além de garantir a segurança hídrica e alimentar em várias partes do Planeta ao longo dos séculos. O uso das águas subterrâneas remonta aos povos da Antiguidade, que desenvolveram técnicas para a sua utilização e garantia de uma fonte de abastecimento de qualidade. As antigas civilizações construíram sistemas de aquedutos para transportar as águas das nascentes até os povoados (DEMING, 2020). O registro de poço mais antigo se encontra na região de *Atlit Yam*, em Israel (ano 8.000 a.C.) (GALILI; NIR, 1993). Desde o ano 5.000 a.C. os chineses já perfuravam poços profundos com varas de bambu (REBOUÇAS, 2006), enquanto os persas desenvolveram sistemas de tuneis horizontais subterrâneos, denominados *canates*, que se espalharam pelos países participantes das antigas rotas de comércio (VILLAR, 2015). Com a colonização espanhola, o sistema de *canates* foi trazido para a América hispânica, sendo utilizado até os dias de hoje em países como Chile, México e Peru (PALERM, 2002; 2004 e 2020).

O crescimento populacional e de consumo, a degradação das reservas superficiais, os avanços no campo do conhecimento da hidrogeologia e das técnicas de perfuração de poços incentivaram e ampliaram o uso dessas águas a partir dos anos 1950 (UN/WWAP, 2003; VILLAR, 2015). A água subterrânea, portanto, foi, é e sempre será importante fonte hídrica para a humanidade. Apesar da sua importância, a percepção sobre a dependência das populações e os benefícios decorrentes de sua exploração só foram destacados pela literatura a partir dos anos 2000 (VILLHOLTH; CONTI, 2018).

As águas subterrâneas foram consideradas pelos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) o meio mais rápido e barato para atingir as metas de acesso à água e de combate à fome (LLAMAS; MARTINEZ-CORTINA, 2002). Sua importância foi reafirmada nos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

(GUPPY *et al.*, 2018). Esses recursos são fundamentais para garantir as metas previstas nos ODS, principalmente no ODS-6, que trata do acesso universal à água potável, saneamento e higiene. Em virtude da transversalidade da água, as reservas subterrâneas são fundamentais para todos os ODS, com destaque aos ODS-1, ODS-2, ODS-3, ODS-5, ODS-8, ODS-9, ODS-10, ODS-11, ODS 12 ODS-13 e o ODS-15 (Figura 23). Essas águas contribuem para o combate à pobreza, para a segurança alimentar, hídrica e sanitária de milhares de pessoas, principalmente nas áreas rurais e nas áridas e semiáridas. Além disso, são menos suscetíveis à variabilidade climática, permitindo fomentar estratégias de mitigação e adaptação à mudança climática, podendo, inclusive, gerar energia geotermal em algumas regiões.



Figura 23 – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Fonte: Nações Unidas Brasil (2021).

O ODS-6 ressalta a necessidade de se cumprirem as metas internacionais relacionadas à ampliação do acesso à água e saneamento. No caso do Brasil, pode-se destacar o Programa Água Doce (PAD), que promove o desenvolvimento socioeconômico e o acesso à água das populações mais vulneráveis da região do semiárido por meio de aquíferos salobros. Esse Programa corrigiu

os erros de gestão do seu antecessor, o Programa Água Boa (PAB), e buscou reaproveitar os poços salobros abandonados.

O PAB foi implementado pelo Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano (MMA/SRHU) no final dos anos 1990, com o objetivo de instalar dessalinizadores em poços salobros ou salinos em áreas consideradas críticas. O Programa, contudo, enfrentou diversos problemas de execução, tais como falhas na destinação dos efluentes salinos, que contribuíram para a desertificação e a erosão dos solos nas áreas próximas às captações, e causaram o seu encerramento. Além disso, a falta de manutenção preventiva ou má gestão dos sistemas de dessalinização acarretou a perda da qualidade da água, causando a desativação de parte dos equipamentos (AZEVEDO, 2015).

Por sua vez, o PAD é uma iniciativa do Governo Federal, promovido pelo MDR em parceria com diversos atores governamentais e sociais, que visa a promover a segurança hídrica por meio da instalação e gestão de pequenas plantas dessalinizadoras no Semiárido Nordeste, permitindo o aproveitamento dos aquíferos salobros ou salinos. Os efluentes gerados são descartados em tanques de contenção ou reaproveitados em outros usos, como irrigação da agricultura bioassalina. O Programa conta com efetiva participação das comunidades e dos municípios por meio dos “acordos de gestão compartilhada”, que estabelecem os direitos e deveres dos atores sociais e das diferentes instâncias de governo envolvidas na gestão. O PAB e PAD comprovam que mesmo águas subterrâneas salobras e aquíferos com baixas vazões podem ajudar a compor as estratégias de garantia à segurança hídrica das populações, especialmente no contexto de escassez das regiões semiáridas. O processo de dessalinização dessas águas é mais simples do que o aplicado às águas marinhas e dispensa grandes infraestruturas. Além disso, elas podem contribuir para a segurança alimentar, seja na manutenção das culturas de subsistência ou por meio do reaproveitamento dos seus efluentes.



5.3.1 A necessidade de conhecer o papel socioeconômico das águas subterrâneas

Faltam, no Brasil, estudos que analisem a dimensão social das águas subterrâneas como, por exemplo, o seu papel no desenvolvimento socioeconômico, principalmente de grupos vulneráveis ou relativos às relações de gênero. A governança precisa incluir na gestão, essa massa de pessoas que usam nascentes, poços escavados ou poços com pequenas vazões. Na maior parte das vezes, esses usos não são regularizados, embora possam ser legalizados e classificados como *isentos* ou *insignificantes*. A gestão hídrica precisa criar espaços para esses *usuários sociais*, previstos no art. 12, § 1º da Lei nº 9.433/1997, pois trata-se de um contingente completamente desconhecido e cuja subsistência depende das águas subterrâneas.

As águas subterrâneas podem e devem ser usadas como forma de garantir o abastecimento, contudo, sua exploração deve se pautar na maximização dos benefícios sociais gerados e pela sustentabilidade, seja mediante extrações compatíveis com a recarga, pela elaboração de planos de extração de longo prazo ou adoção de mecanismos que contribuam para promover a recarga. A exploração sem controle pode gerar danos, culminando, inclusive, no esgotamento do aquífero. De forma geral, a maioria dos aquíferos brasileiros possui condição de exploração adequada, porém, já há registros de situações nacionais preocupantes, como o caso de Ribeirão Preto (SP), Recife (PETELET-GIRAUD *et al.*, 2017), São José do Rio Preto (SP) (HIRATA; FOSTER; OLIVEIRA, 2015) e do Aquífero Urucuia. A literatura internacional traz vários casos de alerta sobre os prejuízos econômicos causados pela exploração insustentável desse recurso.

A perda do aquífero prejudica a qualidade de vida e o sustento de toda uma comunidade, contudo, os efeitos da queda dos níveis hidráulicos não atingem os usuários de forma igualitária. Os grandes usuários são mais



resilientes pois podem perfurar poços mais profundos ou buscar outras fontes hídricas. Já os pequenos usuários são os primeiros a perder o seu acesso à água, sendo que a sua capacidade financeira de conseguir outra fonte é limitada, podendo, inclusive, comprometer a sua permanência no local.

Os efeitos da superexploração podem gerar impactos que vão muito além dos usuários hídricos. A cidade de Jacarta, na Indonésia, é um dos exemplos mais emblemáticos das consequências negativas da exploração descontrolada. O rebaixamento do aquífero e a subsidência, aliados ao regime de moções e à elevação do nível do mar, ameaçam a viabilidade de uma megalópole mundial. Em virtude das taxas de afundamento da cidade, o presidente da Indonésia determinou um plano de transferência da infraestrutura da capital do país para a cidade de Penajam, na Ilha de Kalimantan. Esse processo gerará perdas econômicas bilionárias, calculadas em torno de US\$ 32,7 bilhões, e prejuízos socioambientais incalculáveis. (KLAAS *et al.*, 2018).

Por isso, a governança das águas subterrâneas deve incluir ações no sentido de reconhecer que: a) não é possível pensar a gestão das águas subterrâneas sem levar em conta a gestão das águas superficiais e do solo; b) o perfil dos usuários da água subterrânea é muito variado, pois incorpora desde grandes usuários econômicos até usos de subsistência; c) os *usuários sociais* precisam ser incorporados no processo de gestão, pois são os primeiros a serem prejudicados pela degradação; d) a gestão das águas subterrâneas, principalmente nas áreas críticas, exige um planejamento que busque alternativas econômicas de menor consumo hídrico; e) não há soluções rápidas para os problemas associados à degradação ou esgotamento dos aquíferos, sendo que o processo de recuperação pode levar muitas décadas e demandar altos custos; e f) a prevenção da degradação do aquífero é sempre a melhor alternativa.



5.4 Integrando a sociedade na gestão das águas subterrâneas: a importância da participação social

A participação social é um elemento central da governança das águas e da gestão integrada dos recursos hídricos. Além de ser uma forma de aumentar a eficiência, ela pode ser classificada como um direito fundamental, previsto no ordenamento constitucional brasileiro (PRETTY, 1995; MELO; SCHIER, 2017). Há diversas definições para o processo relacionado à capacidade de os atores sociais interagirem com as agências governamentais, líderes políticos e organizações responsáveis pela criação ou implementação das políticas públicas, bem como o seu engajamento nessas políticas. A participação pode pressupor o envolvimento direto ou indireto (representação) das partes interessadas no processo de tomada de decisões sobre políticas, planos ou programas relacionados às múltiplas dimensões das águas (QUICK; BRYSON, 2016).

A gestão hídrica reúne um número representativo de partes interessadas ou atores sociais, que são todas aquelas pessoas, grupos ou organizações que podem influenciar ou serem afetados pelas decisões políticas que envolvem a proteção ou o uso das águas (QUICK; BRYSON, 2016). Dentre os atores envolvidos na gestão dos aquíferos destacam-se os seguintes: empresas de perfuração de poços; usuários de poços profundos; comunidades ou indivíduos que dependem integralmente do poço ou nascente para a sua subsistência; universidades e institutos de pesquisa; Ministério Público; associações profissionais técnicas, principalmente as relacionadas à Engenharia e Geologia, e as organizações não governamentais relacionadas aos recursos hídricos, com destaque à Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS). A participação social na gestão das águas subterrâneas promove os seguintes benefícios:

- fomenta a compreensão e incentiva a adoção de boas práticas no manejo da gestão das águas subterrâneas (por exemplo, técnicas



adequadas para construir o poço e definir sua localização, adoção de PPPs, etc.) (GARDUÑO; VAN STEENBERGEN; FOSTER, 2010);

- contribui para a implementação das ações de gestão, pois decisões que não incluam os proprietários dos poços dificilmente serão implementadas, especialmente com as limitações do Poder Público em promover a fiscalização (GARDUÑO, VAN STEENBERGEN; FOSTER, 2010);
- cria a oportunidade para que os usuários negociem entre si e com o governo metas de gestão que levem em conta os impactos socioambientais da proteção do aquífero (EMERSON; NABATCHI; BALOGH, 2012);
- permite a construção de acordos cooperativos para a execução de atividades relacionadas à gestão, tais como monitoramento, inspeção e fiscalização (GARDUÑO, VAN STEENBERGEN; FOSTER, 2010);
- facilita a coordenação das decisões relacionadas às águas e ao ordenamento territorial, contribuindo, inclusive, para reduzir as contradições entre as políticas (GARDUÑO, VAN STEENBERGEN; FOSTER, 2010);
- contribui para que indivíduos, grupos e comunidades locais tenham voz no desenho da gestão hídrica, de forma a proteger a sua captação de água subterrânea que, em muitos casos, é a mais vulnerável por se tratar de nascentes e poços escavados (QUEVAUVILLER, 2016).

A legislação brasileira incorpora diversos níveis de participação no exercício da governança hídrica, tais como os processos de consulta na elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040, as discussões realizadas no âmbito dos CBHs ou, ainda, os Acordos de Gestão Compartilhada do Programa Água Doce. Apesar disso, as políticas públicas enfrentam dificuldades em promover



a participação da sociedade e dos usuários de águas subterrâneas, pois não conseguem motivá-los a participar do processo de obtenção de informações, do desenvolvimento das políticas e estratégias para a gestão ou da implementação dessas políticas (PIYAPONG *et al.*, 2019). Isso, em grande parte, se deve aos seguintes aspectos: a) falta de informação e de conhecimento técnico e social sobre o tema; b) caráter extremamente técnico que se dá ao debate de águas subterrâneas; e c) não regularização do uso.

Esse cenário faz com que as águas subterrâneas sejam consideradas um tema restrito aos técnicos e de menor importância na gestão hídrica. Favorece, também, a exploração clandestina que “se dá de forma alheia à disponibilidade hídrica local, desrespeita o direito de uso de terceiros e impede que se arbitrem os seus impactos sobre o abastecimento público, os usuários outorgados e os donos de poços de uso isento.” (VILLAR, 2016, p. 92). A execução de programas de Educação Ambiental e de capacitação para as águas subterrâneas são fundamentais para mudar essa realidade.

Infelizmente, a participação social relativa às águas subterrâneas é um tema pouco explorado no Brasil. Abordagens das Ciências Sociais poderiam contribuir para fomentar o debate sobre o desenvolvimento e aplicação de metodologias e ferramentas que tivessem como objetivo fomentar a divulgação do conhecimento, o engajamento social ou a mediação e negociação no processo de gestão dos aquíferos.

5.5 Cooperação entre os diversos entes administrativos e o enfoque na gestão local das águas subterrâneas

O Brasil é um país federativo que “institui a divisão de responsabilidades e autonomia entre os governos federal, estadual e municipal.” (GRANJA; WARNER, 2006, p. 1101). A existência de competências comuns e concorrentes aponta para um federalismo de cooperação e integração, o que reflete

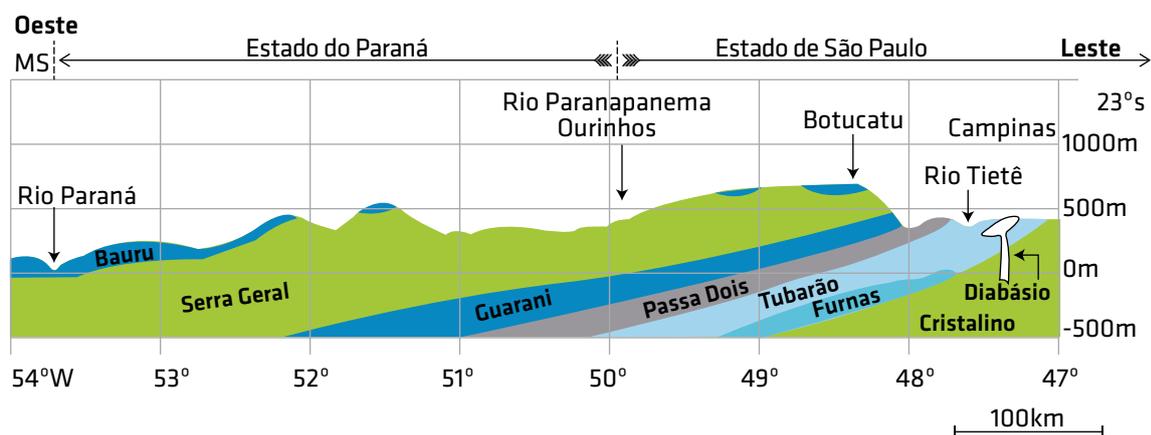


na política de águas e na organização do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, formado por sistemas nacional, estaduais, regionais e locais. A Lei nº 9.433/1997 adota, ainda, a gestão participativa e descentralizada por meio da bacia hidrográfica e operacionalizada pelos CBHs. Dessa forma, o modelo de gerenciamento de águas no Brasil é orientado pelo federalismo e pelo princípio da subsidiariedade, que determina que as decisões, legislativas ou administrativas devem ser tomadas no nível político mais baixo possível, isto é, por aqueles que estão próximos das decisões definidas, efetuadas e executadas (GRANJA; WARNER, 2006).

A bacia hidrográfica como território de gestão das águas não se confunde com a divisão clássica dos entes administrativos: União, estados, Distrito Federal e municípios, mas transcende os limites administrativos clássicos, pois sua territorialidade se conforma com base em aspectos físico-naturais. Ainda que sejam estabelecidos limites jurídicos, subdividindo-os em porções menores como forma de facilitar a gestão, não se pode ignorar que o sistema hídrico é uno. Logo, criou-se uma territorialidade de decisão que exige a construção de arranjos cooperativos e integrativos entre todos esses entes administrativos e, em alguns casos, até com outros países, conforme a escala da bacia ou do aquífero, ou em virtude da correlação entre esses corpos hídricos (GRANJA; WARNER, 2006).

Os aquíferos foram inseridos nessa gestão por bacias, ainda que sua territorialidade nem sempre convirja com ela. Apesar disso, a bacia ainda é o melhor território para geri-los, pois seus principais serviços ecossistêmicos e os impactos do uso de suas águas ou do solo ocorrem na territorialidade da bacia hidrográfica. Como se percebe na Figura 24, em uma mesma bacia há diversos aquíferos sobrepostos, que possuem territorialidades completamente distintas, embora possam interagir entre si e com a bacia. Diante do cenário de aplicação da Lei nº 9.433/1997, pensar na criação de uma territorialidade específica para cada aquífero seria

um desafio de gestão complicado para um país que sequer conseguiu implantar de forma plena a gestão por bacias hidrográficas.



Elaborado por Geraldo H. Oda com base em IGG (1974), IPT (1981). DNPM/CPRM (1983)

Figura 24 – Seção geológica esquemática do Estado de São Paulo com a sequência de sistemas aquíferos

Fonte: São Paulo (2014, p. 29).

O CNRH estabeleceu as principais diretrizes para nortear a atuação das unidades federativas, municípios e CBHs na gestão conjunta de bacias e aquíferos, contudo, faltam estudos que analisem *como* ou *se* isso foi feito. Além disso, seria importante que o CNRH e os Conselhos Estaduais determinassem áreas prioritárias para o controle das extrações dos aquíferos que possam ter efeitos para além da bacia na qual ocorre a gestão. Essa definição contribuiria para estimular a cooperação entre os entes administrativos e os órgãos do Singreh. Tais ações de cooperação poderiam incluir: a) realização de estudos e monitoramento conjuntos; b) adoção de metodologias conjuntas para determinar a disponibilidade hídrica e controlar as extrações; c) criação de salas de situação para aquíferos; ou d) idealização de acordos interbacias ou internacionais. A experiência do Sistema Aquífero Guarani é bastante exemplificativa da importância da coordenação das ações nas diversas escalas de gestão.



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA

5.5.1 Aquíferos transfronteiriços e interestaduais: o caso do Aquífero Guarani

A Res. CNRH nº 202/2018, no art. 2º, assim define os aquíferos transfronteiriços e interestaduais:

III - aquífero interestadual: aquífero distribuído nos territórios de, pelos menos, dois estados, ou entre um estado e o Distrito Federal;

IV - aquífero transfronteiriço: aquífero compartilhado pelo Brasil com, pelo menos, um país vizinho fronteiro.

O Brasil possui diversos aquíferos interestaduais e ou transfronteiriços. Ao todo, o país possui 11 aquíferos transfronteiriços (Figura 25): Amazonas, Aquidauana, Boa Vista, Bauru-Caiuá, Roraima, Pantanal, Permo-Carbonífero, Costeiro, Litorâneo, Serra Geral e Guarani.

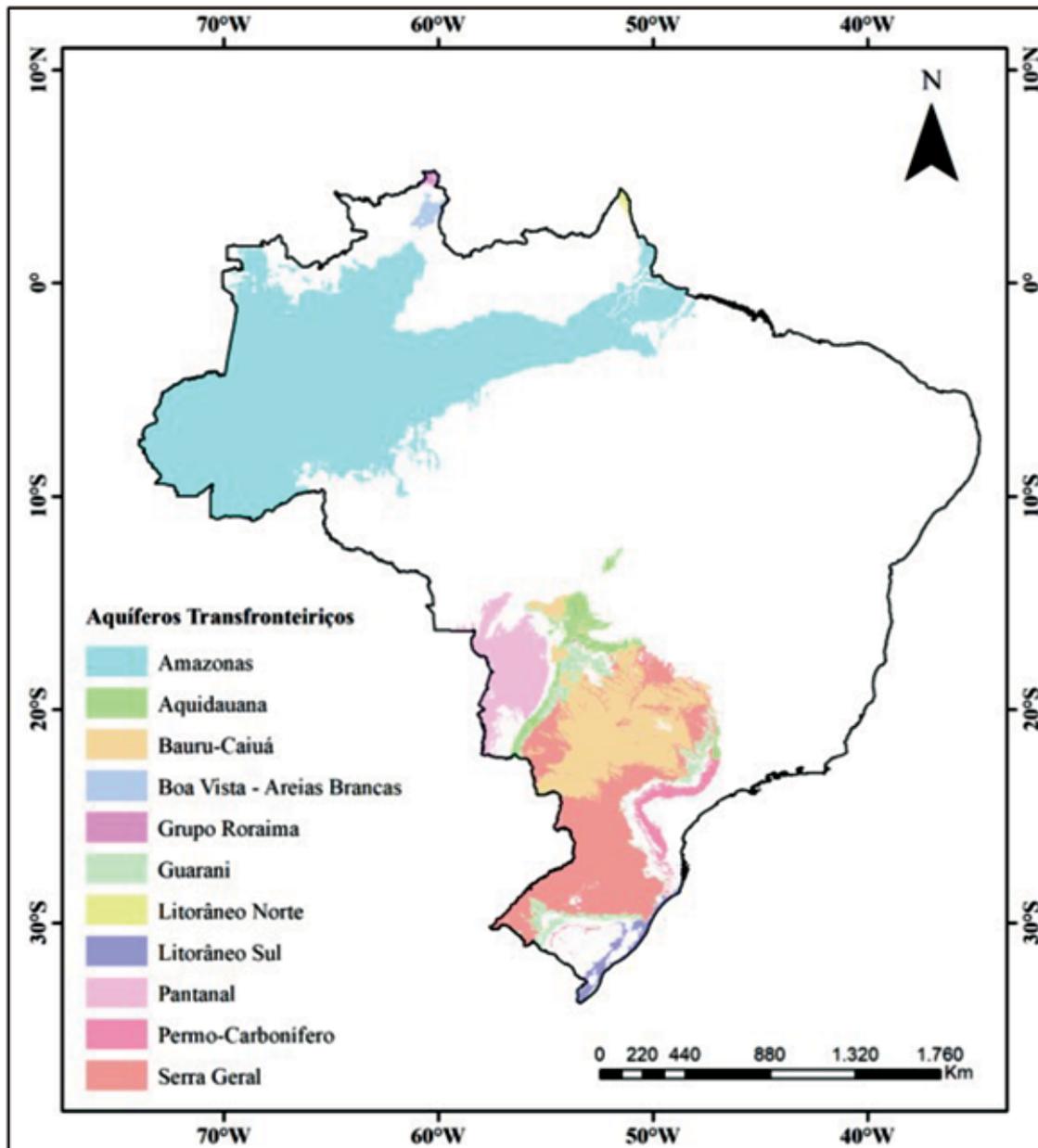


Figura 25 – Aquíferos transfronteiriços no território brasileiro

Fonte: ANA (2017, p. 1), adaptado e cedido por Felipe Nincao.

Dentre esses aquíferos, o mais conhecido é o Sistema Aquífero Guarani (SAG), que é sobreposto por outros dois aquíferos transfronteiriços: o Serra Geral e o Bauru-Caiuá. A área total do SAG é de 1.087.879 km², e compreende o território da Argentina (225.500 km²), Brasil (735.918 km²), Paraguai (71.700 km²) e Uruguai (45.000 km²) (OAS, 2009, p. 62) (Figuras 25 e 26). O Brasil detém



Foto: Roberto Eduardo Kirchheim/Banco de Imagens ANA
Nascente na região de Rurópolis-PA.

a maior porção do aquífero (61,65%), onde também pode ser classificado como um aquífero interestadual, pois se estende por oito estados: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (OAS, 2009). Trata-se de um aquífero sedimentar e confinado em 90% do território, sendo que as zonas de afloramento correspondem apenas a 124.650 km² (LEBAC/UNESP, 2008).

Ao contrário do imaginário popular, o SAG não é uma estrutura uniforme, como uma esponja ou um lago/rio subterrâneo. Pelo contrário, as características geológicas e hidrogeológicas do aquífero são bastante heterogêneas (Figura 26), apresentando áreas de afloramento e regiões cobertas por basaltos de diversas espessuras (OAS, 2009; BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011). O tempo de residência das águas pode ser de meses ou mais de centenas de milhares de anos. A presença de águas antigas e recentes demonstra diferenças no ingresso da recarga e impacta as características geoquímicas da água, que apresenta áreas de excelente qualidade e outras com salinidade elevada ou anomalias naturais (OAS, 2009, p. 66; BORGHETTI; BORGHETTI; ROSA FILHO, 2011).

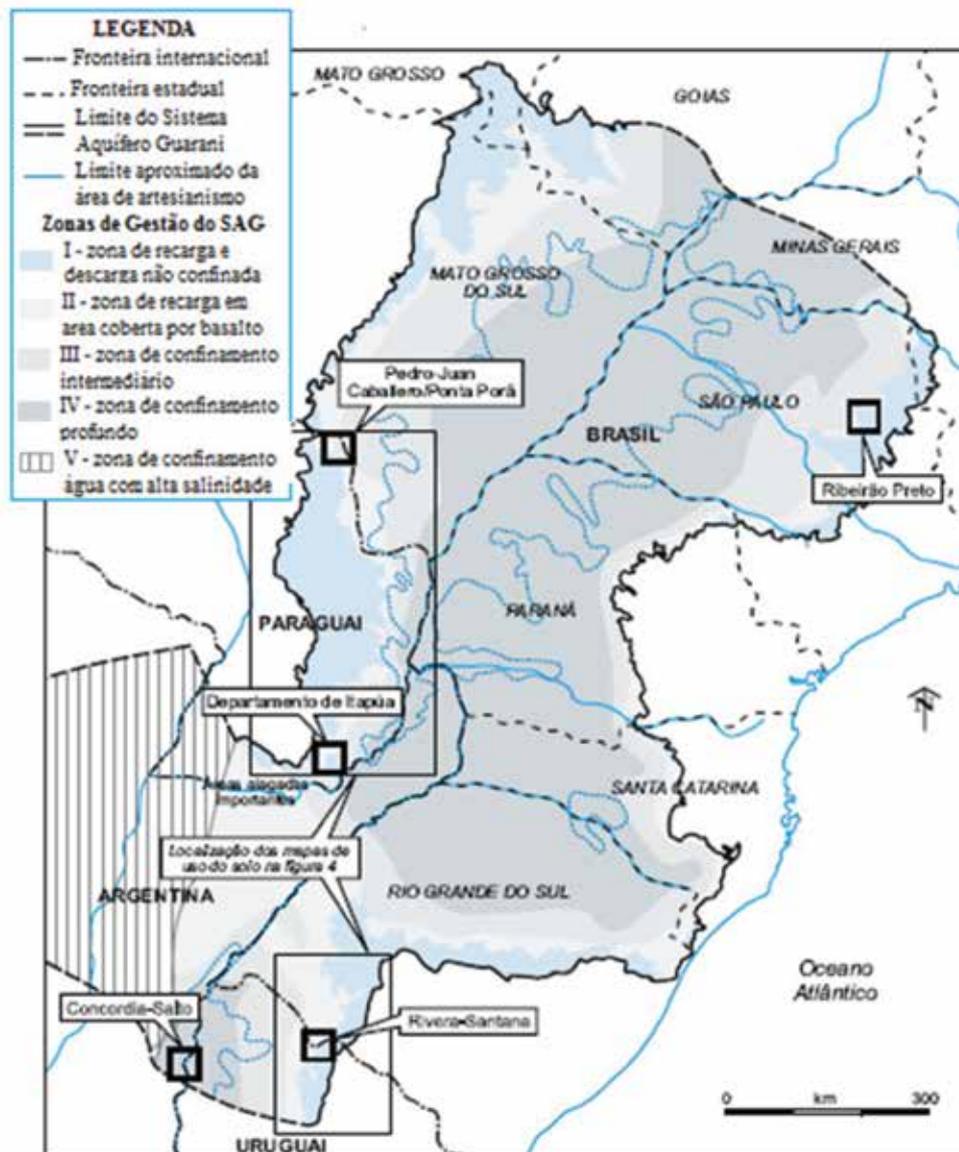


Figura 26 – O Sistema Aquífero Guarani e suas zonas de gestão

Fonte: Foster *et al.* (2009, p. 11), adaptação de Tito Lívio Barcellos Pereira.

A Figura 26 ilustra essa heterogeneidade, propondo cinco zonas de gestão que demonstram a necessidade de abordagens de planejamento distintas (FOSTER *et al.*, 2009):

- i. **zona de recarga e descarga não confinada:** o aquífero aflora na superfície, por isso as águas são reabastecidas continuamente, contribuindo

com os recursos hídricos superficiais. Em contrapartida, a contaminação é frágil;

- ii. **zona de recarga em área coberta por basaltos:** a recarga ocorre por meio das fraturas do basalto, sendo consideravelmente inferior à da zona de afloramento. A conexão com os recursos superficiais precisa ser mais bem estudada;
- iii. **zona de confinamento intermediário:** a área é coberta pelos basaltos da formação da Serra Geral, portanto, não há recarga significativa. As águas têm tempo de residência superior a 10.000 anos e sua extração equivaleria à mineração do aquífero. O risco de contaminação antrópica é muito baixo. Há possibilidade de problemas de qualidade de água decorrentes do tempo de residência e falta de renovação. Em algumas áreas, o teor de sais dissolvidos, incluindo o flúor e o arsênico, pode comprometer a sua potabilidade;
- iv. **zona de confinamento profundo:** similar à zona III, contudo, a camada de basalto que confina o aquífero supera os 400 metros. O custo da extração inviabiliza a exploração, salvo para o uso hidrogeotermal;
- v. **zonas de confinamento com alta salinidade:** além do confinamento, as águas nessa região possuem alta salinidade, podendo ser utilizadas para fins hidrogeotermiais ou após tratamentos, se forem economicamente viáveis.

Apesar dessa divisão sugerir certa homogeneidade, existem heterogeneidades que só poderão ser avaliadas no âmbito local. No município de Ribeirão Preto (SP), por exemplo, é possível encontrar as zonas I, II e III com distâncias que variam de alguns quilômetros. Além disso, considerando o tempo de residência das águas, a maioria dos impactos acaba tendo efeitos locais. A



superexploração de Ribeirão Preto pode comprometer o aquífero nas cidades ao seu redor, todavia, não influencia a exploração dos outros países ou estados brasileiros.

Essa situação ilustra que, embora as formações geológicas se estendam para além dos limites nacionais, o fluxo hídrico subterrâneo tem características locais, portanto, “os efeitos transfronteiriços atuais e potenciais do SAG se restringem a uma faixa estreita de não mais do que algumas dezenas de quilômetros, dependendo das condições hidrodinâmicas locais e específicas” (OAS, 2009, p. 18). Dessa forma, só haveria problemas transfronteiriços no SAG se houvesse intensa e extensa exploração das águas subterrâneas nas áreas de fronteira.

A lógica de fluxos locais se mantém nos estados brasileiros. Por isso, do ponto de vista da cooperação interestadual, é importante delimitar as áreas com extensas e intensas explorações próximas aos limites interestaduais. A definição de áreas em que podem ocorrer danos aos fluxos subterrâneos interestaduais ou interbacias contribuiria para promover ações conjuntas entre as bacias e os estados. O Plano Nacional de Recursos Hídricos e os Planos Estaduais de Recursos Hídricos têm papel destacado na promoção dessa cooperação.

O SAG conseguiu o notável feito de se fazer conhecer pela sociedade e incentivar ações para as águas subterrâneas, apesar de não haver problemas transfronteiriços e a superexploração se restringir a pontos específicos (HIRATA; FOSTER, 2020; HIRATA; KIRCHHEIM; MANGANELLI, 2020). Em grande parte, isso se justificou pela realização do Projeto Proteção Ambiental e Gerenciamento Sustentável Integrado do Sistema Aquífero Guarani (também conhecido como Projeto Sistema Aquífero Guarani – PSAG), entre os anos de 2003 a 2009. Esse projeto internacional contou com a participação dos países do aquífero e o apoio de várias organizações, com destaque ao Banco Mundial, à Organização dos Estados Americanos (OEA) e ao Fundo Global para o Meio Ambiente (GEF)



(VILLAR, 2015; SINDICO; HIRATA; MANGANELLI, 2018). O SAG será alvo de um novo projeto internacional de porte médio chamado Programa Estratégico de Ação do Aquífero Guarani: Viabilizando Ações Regionais ¹², organizado pelos estados, o GEF e o **Banco de Desenvolvimento da América Latina** (CAF).

O fim do PSAG estimulou a assinatura do Acordo sobre o Aquífero Guarani e a criação do Centro Regional para a Gestão de Águas Subterrâneas (CeReGAS). O Acordo sobre o Aquífero Guarani foi firmado pela Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai em 2 de agosto de 2010, e entrou em vigor em novembro de 2020. Esse Acordo foi o primeiro desenhado especificamente para um aquífero na América Latina e um exemplo de diplomacia preventiva, pois não havia conflitos pelo uso das águas subterrâneas (VILLAR; RIBEIRO, 2011). A entrada em vigor do Acordo permite que os Estados aprofundem o processo de cooperação, bem como chama a atenção sobre a necessidade de se estabelecer a Comissão para o Aquífero Guarani, determinando seus poderes e competências para cumprir os princípios e objetivos do pacto (VILLAR, 2020).

O CeReGAs surgiu da necessidade de se estabelecer um escritório de articulação regional dedicado a promover a cooperação em matéria de águas subterrâneas diante do desfazimento da infraestrutura institucional do PSAG. Em 2014 celebrou-se o Acordo entre o Governo da República Oriental do Uruguai e a UNESCO, visando a sua criação como Centro de Categoria II da UNESCO. Sua finalidade é promover capacidades científicas e técnicas que contribuam para a governança dos aquíferos.

¹² Para mais informações, consultar o site: <https://www.thegef.org/project/implementation-guarani-aquifer-strategic-action-program-enabling-regional-actions>.



5.6 O monitoramento dos recursos hídricos subterrâneos

O monitoramento das águas subterrâneas é feito pelo acompanhamento de parâmetros hidráulicos e/ou biofísicoquímicos no tempo e no espaço com objetivos variados, podendo incluir a caracterização inicial de um aquífero ou o desenho de estratégias para a sua proteção ou remediação. Assim, diferentes objetivos vão impor diferentes programas de monitoramento, que deverão considerar: i) localização do ponto que será acompanhado; ii) densidades dos pontos monitorados e perfil construtivo de poços ou das características hidrogeológicas do ponto de água; iii) frequência de medição; iv) parâmetros de análise; v) dados a serem coletados e vi) definição quanto à sua forma de organização e de checagem, entre outros.

A fim de avaliar aspectos de quantidade (disponibilidade do recurso) ou de qualidade (poluição natural e antrópica), o monitoramento das águas subterrâneas apresenta uma restrição fundamental: a baixa capacidade dos poços de monitoramento ou dos poços de produção de água (usados para o monitoramento) em caracterizar os fenômenos que ocorrem no aquífero.

Os fenômenos que atuam em um aquífero, tais como a poluição, geram plumas específicas que dificilmente alcançam mais de 1-2 km de distância da fonte causadora. Já os poços de monitoramento estáticos (em oposição aos poços de bombeamento) apenas podem identificar a pluma que os atinge se esta passar a poucos metros do poço, caso contrário ela não será identificada. Por essa razão, os estudos de áreas contaminadas possuem grande densidade de poços (entre dezenas a centenas de poços por hectare). Outra característica das plumas contaminantes é que elas são entes tridimensionais, ou seja, é quase certo que haja estratificação da qualidade da água do aquífero, ou seja, se o filtro do poço não estiver localizado em frente à pluma, esta não será detectada.



O monitoramento associado à caracterização de eventos de contaminação de fontes pontuais é bem desenvolvido no Brasil. E, embora ele exija grande quantidade de poços para determinar os limites de plumas contaminantes, há diversos procedimentos normatizados para realizá-lo, tais como tecnologias de perfuração de poços, instalação de poços multiníveis e instalação de equipamentos de coleta de amostras de água.

Quando, porém, o monitoramento da qualidade das águas envolve fontes difusas e multipontuais, a área afetada é muito grande, sendo necessária alta densidade de poços para se reconhecer a extensão do dano ao aquífero. Na prática, esse monitoramento se torna pouco assertivo ou gera custos muito elevados. Geralmente, as contaminações desse tipo causam plumas muito heterogêneas em termos de concentração, o que dificulta a interpretação dos dados.

Em muitos estudos regionais, a caracterização da contaminação de aquíferos se faz por poços tubulares de produção de água, ou seja, aqueles em que o posicionamento dos filtros leva em consideração somente a produção do aquífero. Os poços tubulares são estruturas verticais que conectam vários níveis de água em um mesmo aquífero, misturando em seu interior águas de diferentes idades e qualidade química. Muitas vezes, essa mistura de águas acaba mascarando a contaminação mais superficial do aquífero, deixando plumas importantes não detectáveis.

O monitoramento de quantidade apresenta os mesmos problemas, sendo importante acompanhar o nível potenciométrico no tempo, o que exige medições periódicas e sistemáticas para avaliar as variações de longo prazo como, por exemplo, as alterações da recarga devido às mudanças climáticas ou identificar problemas de superexploração. Neste último caso, os poços de monitoramento teriam que ser instalados nas áreas onde se localizam os poços de extração de água. Desta forma, a interpretação dos dados precisa isolar aqueles advindos da interferência hidráulica de uma captação próxima ou do rebaixamento



regional, os quais devem ser quantificados. Essa quantificação não é obtida por medições mensais ou mesmo semestrais, comuns aos programas de monitoramento regional, mas necessita de acompanhamento piezométrico horário ou pelo menos diário, obrigando a instalação de transdutores de pressão e de vários poços em uma mesma região.

A maior limitação do monitoramento está na caracterização regional, quando o objetivo é identificar a superexploração ou as contaminações de carácter disperso advindas da atividade agrícola e urbana. Alguns estados implantaram redes de monitoramento regional de qualidade com o acompanhamento semestral de suas águas. A rede paulista, por exemplo, acompanha a geoquímica de 316 pontos ativos de monitoramento de qualidade da água subterrânea (CETESB, 2020). Considerando que cada poço monitora o que ocorre em um raio de 200 m, a área total avaliada por cada poço é de 0,13 km². Assim, a rede está monitorando apenas 0,02% da área do estado (~41 km²). Constatou-se que há relação entre as concentrações de nitrato nas águas subterrâneas e a ocupação do terreno a um km de raio do poço, indicando que a rede de poços ao invés de monitorar o estado de São Paulo analisa a situação próxima aos 316 poços localizados em diferentes contextos de urbanização (PILEGGI *et al.*, 2021). Esses números dão a dimensão da baixa assertividade das redes regionais de qualidade de água e da necessidade de se repensar redes regionais desse tipo e com esse enfoque.

Para superar as limitações no monitoramento regional é necessário ter clareza dos objetivos pretendidos. A rede paulista é eficiente no sentido de mostrar a forma como as cidades modificam a qualidade das águas no tempo, em séries históricas longas, mas limitada em verificar os impactos nas unidades aquíferas como um todo.

Já a Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS) do Serviço Geológico do Brasil é mais regional e ampla, pois visa a acompanhar



a evolução dos níveis em áreas naturais distantes da ocupação humana, junto às Estações Meteorológicas. Ela pretende traçar a evolução dos níveis potenciométricos no tempo, indicando, por exemplo, as variações esperadas pelas mudanças climáticas globais. Assim, mesmo contando com bem menos poços, a caracterização de *background* e a evolução dos níveis hidráulicos em longo período determina o acerto da escala e da técnica para o objetivo pretendido.

A RIMAS é uma rede automática de registros horários dos níveis d'água que verifica as suas variações naturais a fim de estimar a recarga, os parâmetros hidráulicos e o cálculo do balanço hídrico, bem como acompanhar a variação do nível d'água causado pela exploração da água ou ocupação do solo (MOURÃO; PEIXINHO, 2012). Sua operação e manutenção são conduzidas pelo Serviço Geológico Brasileiro/Companhia Pesquisa de Recursos Minerais (SGB/CPRM). Parte da RIMAS é operada de forma integrada com a Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN), em parceria com a ANA, e ocorre, por exemplo, na área do aquífero Urucuia (oeste da Bahia) e nas bacias dos rios Verde Grande e Carinhanha (divisa entre Bahia e Minas Gerais).

A superação da baixa assertividade dos poços de monitoramento nas redes regionais é um desafio, sobretudo quando há poucos investimentos. Há alternativas que se valem de estratégias diferenciadas. Uma delas é complementar a rede regional de qualidade com os resultados da rede de vigilância sanitária em cidades abastecidas por água subterrânea. A legislação exige que pontos da rede de água de uma cidade sejam periodicamente monitorados e as informações encaminhadas aos órgãos de Saúde. Se os parâmetros indicadores de contaminação regional (incluindo a condutividade elétrica, cloreto, amônio e nitrato) fossem sistematicamente analisados e os pontos de amostragem associados aos poços produtores identificados, ter-se-ia uma extensa rede de milhares de pontos, em que as variações de concentração dos elementos no tempo poderiam indicar a degradação do aquífero ou de parte dele.



Os dados constantes nos relatórios de construção de poços tubulares poderiam ajudar no monitoramento. Por essa razão, as empresas de perfuração de poços deveriam ser obrigadas a realizar a entrega dessas informações, assim como a data da perfuração, a cota do terreno, o nível estático e dinâmico, além da vazão do poço e de sua profundidade total.



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA



6 APRENDIZAGENS E DESAFIOS



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA
Lagoa da Serra, localizada na cidade de Rio da Conceição - Tocantins.

6 APRENDIZAGENS E DESAFIOS

A governança das águas no Brasil concentrou seus esforços em um componente do ciclo hidrológico: as águas superficiais. O Poder Público enfrenta dificuldades para inserir as águas subterrâneas e os aquíferos na gestão, enquanto a integração com as águas estuarinas e costeiras segue no plano dos debates, e a das águas meteóricas não é sequer discutida. A integração das águas superficiais e subterrâneas é o primeiro passo rumo à gestão integrada dos recursos hídricos. Esse tipo de gestão demanda ações conjuntas que contemplem esse movimento cíclico da água, além de ações específicas que considerem as particularidades de cada dimensão, sob pena de a sociedade perder oportunidades sociais, ecológicas e econômicas. O Quadro 7 apresenta as principais distinções entre as águas superficiais e subterrâneas.

ASPECTO	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AQUÍFEROS	ÁGUAS SUPERFICIAIS E RESERVATÓRIOS
Armazenamento	Grande	Pequeno e médio
Área do recurso	Relativamente irrestrita	Restrita aos corpos de água
Velocidade do fluxo	Muito baixo	Médio e alto
Tempo de residência	Geralmente décadas/séculos	Geralmente semanas/meses
Propensão a secas	Baixa	Alta

Quadro 7 – Principais distinções entre as águas superficiais e subterrâneas

Fonte: Tuinhof *et al.* (2006, p. 2).

ASPECTO	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E AQUIFÉROS	ÁGUAS SUPERFICIAIS E RESERVATÓRIOS
Perdas com evaporação	Baixa e localizada	Alta
Avaliação do recurso	Alto custo e incerto	Baixo custo e certo
Impactos da extração	Longo e disperso	Imediato
Qualidade da água	Geralmente boa	Variável
Vulnerabilidade à poluição	Proteção natural variável	Sem proteção
Persistência da poluição	Geralmente extrema	Geralmente transitória

Quadro 7 (Continuação)– Principais distinções entre as águas superficiais e subterrâneas
 Fonte: Tuinhof *et al.* (2006, p. 2).

As águas subterrâneas não são recursos acessórios às águas superficiais, pelo contrário, elas mantêm a disponibilidade hídrica superficial. Além disso, o cenário das mudanças climáticas ou de crises hídricas intensifica o uso dessas águas, que já são fundamentais para abastecimento público, usos econômicos e grupos vulneráveis. Por fim, seu tempo de residência faz com que parte delas não seja considerada um recurso renovável, o que exige debate sobre a prioridade do seu uso, forma de maximização e garantia às futuras gerações.

A falta de conhecimento sobre as águas subterrâneas e aquíferos ou sobre seus usos e papel estratégico é uma ameaça aos recursos hídricos (subterrâneos e superficiais), ecossistemas, seres humanos e futuras gerações. Além disso, perde-se a oportunidade de estimular o desenvolvimento de áreas que poderiam se favorecer desse potencial hídrico. O Brasil enfrenta períodos de secas cada vez mais frequentes, redução da vazão dos rios e da disponibilidade hídrica de reservatórios, o que pode comprometer a segurança hídrica, energética, alimentar e econômica. Esse cenário provoca o incremento do uso dos aquíferos, seja para fins de abastecimento animal e humano, industrial ou para irrigação. Nesse contexto, há três problemas centrais que ameaçam as águas subterrâneas (CONTI, 2017):

- a. **Falta ou ineficiência da gestão e controle das extrações dos aquíferos.** As extrações desordenadas geram prejuízos socioambientais e podem comprometer a única fonte de água disponível, principalmente no caso de populações vulneráveis.
- b. **Falta ou ineficiência das ações para manter a qualidade do aquífero ou recuperá-lo.** As atividades antrópicas podem contaminar os aquíferos e inviabilizar importantes reservas hídricas.
- c. **Falta de planejamento estratégico na gestão dos aquíferos que incorpore as pressões decorrentes da relação global-local e local-global.** As mudanças climáticas, a perda das grandes florestas e o mercado internacional constroem novas realidades de oferta e demanda das águas subterrâneas que precisam ser enfrentadas. Conforme a estruturação desse planejamento, as águas subterrâneas podem ser utilizadas como estratégia à adaptação e mitigação ou degradação.

A solução desses problemas se faz por meio de uma governança pautada pelo conhecimento, coordenação interinstitucional e participação dos múltiplos atores (institucionais e sociais) envolvidos no uso e gestão do recurso hídrico e no planejamento territorial, ambiental e socioeconômico. As particularidades das águas subterrâneas reforçam a importância da governança, principalmente diante da necessidade de avançar para além das ações setorializadas de gestão e engajamento dos usuários.

O conhecimento hidrogeológico existente no Brasil é incipiente frente às necessidades impostas pela gestão de recursos hídricos, porém, somente por meio dele é possível *visualizar* os aquíferos. As águas subterrâneas se movimentam por estruturas geológicas heterogêneas e complexas, o que dificulta o acesso à informação e à formação dos processos de tomada de decisão participativa e fundamentada. A invisibilidade e o desconhecimento

também decorrem dos conflitos entre os usuários e entre os setores de recursos hídricos, ambiente, agricultura, saneamento, mineração e desenvolvimento econômico. Os usuários não correlacionam que perdas de produtividade de poços ou a sua contaminação possam ser causadas por terceiros que utilizam os poços de forma incorreta (ou irregular) ou pela proximidade de atividades capazes de contaminar o solo e os aquíferos. Sem a compreensão das causas desses problemas, não há pressão social frente ao Poder Público gestor (VILLAR, 2016; CONICELLI *et al.*, 2021).

No Brasil, os instrumentos de comando e controle são a base da gestão das águas, contudo, mostram limitações no caso dos recursos hídricos subterrâneos. A prova contundente é o elevado grau de poços não regularizados. Se o descumprimento da lei, em si, é um problema, outro é o desconhecimento da existência do número real de poços. No Brasil, 90% das captações são particulares e apenas 10% abastecem as redes públicas urbanas (HIRATA *et al.*, 2019). A maioria das captações são invisíveis às políticas públicas e os Estados não têm ideia da dimensão econômica e do papel socioambiental dessas águas.

Essa fonte se torna cada vez mais popular para o abastecimento de diversas atividades no campo e na cidade em virtude da facilidade de exploração, que se fundamenta nos seguintes pontos: baixo custo de exploração; rapidez na perfuração de poços (em alguns casos em menos de uma semana); novas tecnologias associadas à operação de poços, permitindo que as captações funcionem quase autonomamente; e disponibilidade em praticamente todo o território brasileiro. O poço é a solução no local onde está o problema, prescindindo de adutoras.

Nesse contexto, a governança precisa construir, de forma conjunta, as respostas às seguintes perguntas: Como proteger um recurso invisível e não conhecido pela sociedade? Quem extrai essas águas e como controlar essa

extração de forma a compatibilizar o uso individual com os interesses coletivos? Como estimular ações de proteção dos aquíferos? Como revelar e equacionar os conflitos existentes pelo uso? Não há respostas certas para essas questões, pois em cada aquífero, dentro do contexto da própria bacia hidrográfica, há necessidade de um processo de governança que defina a forma como se dará o seu uso frente aos serviços socioeconômicos e ecossistêmicos desempenhados.

O Poder Público e os órgãos de gestão de recursos hídricos têm papel fundamental nesse processo, porém, é necessário mobilizar outros atores e interessados. A boa governança propicia avançar de forma mais holística em relação aos desafios enfrentados pela gestão das águas subterrâneas. Muito mais do que as águas superficiais, o uso das águas subterrâneas se pulveriza em centenas a milhares de captações em apenas uma localidade. Não existirá, portanto, uma gestão adequada se os usuários não tiverem consciência de suas responsabilidades e direitos e, sobretudo, se não participarem desse processo. Dessa forma, a governança das águas subterrâneas precisa superar as seguintes fragilidades:

- **Falta de conhecimento hidrogeológico e/ou dificuldade de incorporar esse conhecimento na aplicação da governança das águas.** A hidrogeologia tem papel fundamental na governança dos aquíferos na medida em que essa Ciência é a responsável por espacializar os aquíferos e determinar os aspectos centrais da gestão, tais como: a) quanta água pode ser outorgada; b) como a extração impacta o aquífero e os recursos hídricos dependentes; c) qual a qualidade da água; d) como conservar o aquífero; e e) como recuperar um aquífero. Em muitos casos, mesmo com a existência de dados demonstrando situações de risco, há dificuldade de incorporar os aquíferos nas políticas públicas e nos instrumentos de gestão.

- **Falta de estudos sobre as dimensões social, econômica e política da governança, gestão, apropriação, uso e importância das águas subterrâneas.** O debate deve ir além das questões técnicas de Geologia e Engenharia e incorporar temas como: arquitetura institucional e jurídica da governança das águas subterrâneas; valor dessas águas; relações sociais e estruturas de poder por trás da lógica da clandestinidade, desconhecimento e invisibilidade; processos de participação social em relação a essas águas; conflitos sociais e apropriação desigual do recurso; estratégias de Educação Ambiental etc.
- **Fragilidades institucionais e jurídicas para promover a governança das águas subterrâneas.** As instituições responsáveis por organizar a gestão dos recursos hídricos enfrentam problemas relacionados à falta de recursos para promover estudos técnicos e campanhas institucionais, bem como dificuldades operacionais e técnicas para implementar os instrumentos de gestão ou ações de fiscalização. Paralelamente, a falta de regulação ou suas limitações dificultam a implementação da gestão e de seus instrumentos, criando conflitos jurídicos ou simplesmente impedindo a sua operacionalização.
- **Falta de coordenação horizontal e vertical¹³ entre os órgãos gestores para a implementação das políticas públicas relacionadas às águas subterrâneas.** O federalismo brasileiro e a repartição de competências em matéria de águas, solo, exploração mineral e desenvolvimento econômico exige a coordenação entre os diversos setores e escalas de governo para promover políticas efetivas à gestão das águas subterrâneas. Apesar

¹³ Coordenação horizontal se dá entre “organizações e atores políticos e burocráticos que compõem o mesmo nível de governo”, enquanto a vertical é composta por “diferentes níveis de governo (SOUZA, 2018, p. 16).

disso, faltam iniciativas que promovam essa coordenação entre União, estados, Distrito Federal e municípios, bem como correlacionem recursos hídricos subterrâneos, meio ambiente, ordenamento territorial, águas minerais e políticas setorializadas, como é o caso de saneamento, agricultura e desenvolvimento.

- **Falta de engajamento e participação dos usuários na gestão das águas subterrâneas.**

Os usuários de águas subterrâneas não se envolvem de forma proativa na gestão e monitoramento do aquífero, pelo contrário, a grande maioria deles está à margem dessa gestão, pois utiliza as águas de forma não regularizada. A legislação brasileira não incentiva a formação de organizações de usuários, como ocorre em outros países, restringindo o papel dos usuários à participação nos colegiados (CBH, CERH e CNRH). Na maioria das vezes esses usuários não participam ou são sub-representados.

- **Desconhecimento social sobre os aquíferos e águas subterrâneas.**

A sociedade civil, usuários e até o Poder Público não promovem o debate sobre os aquíferos. Nos órgãos colegiados, as discussões e investimentos priorizam os recursos hídricos superficiais. A maioria das organizações não governamentais que atua no setor foca a sua atuação nas águas superficiais. O desconhecimento sobre as águas subterrâneas impede a participação, já que os atores sociais não entendem a importância de gerir o recurso ou as consequências de não o fazer. O desconhecimento não permite que se estabeleça na coletividade um senso de relevância, urgência ou prioridade para essas águas.

Nesse sentido, a governança, governabilidade e gestão dos recursos hídricos subterrâneos passa pela seguinte agenda mínima:

- reconhecimento regional dos potenciais aquíferos e suas principais funções ecossistêmicas por meio de estudos que saiam do óbvio e incorporem os vários papéis que a água subterrânea desempenha, incluindo a sua importância econômica (quantificando-a) e ecológica (reconhecendo-a);
- estudo sobre a relação dos aquíferos com outros corpos hídricos, quantificando as descargas de águas subterrâneas na perenidade dos rios, lagos, mangues e pântanos a partir de análises de bacias hidrográficas e modelações numéricas regionais;
- identificação das áreas críticas dos recursos hídricos subterrâneos, ou seja, aquelas com maior uso das águas, tanto para o abastecimento público como para o privado, ou aquelas onde se identifique maior perigo de contaminação (na acepção de FOSTER; HIRATA, 1988), a partir do cadastramento de fontes potenciais de contaminação e vulnerabilidade de aquíferos à contaminação;
- identificação dos atores envolvidos no uso e na gestão dos recursos hídricos, tanto territorial como ambiental;
- identificação das comunidades e grupos vulneráveis que dependem das águas subterrâneas;
- criação de grupos específicos de hidrogeologia em Comitês de Bacia Hidrográfica e outras instâncias que contribuam para refletir sobre o aproveitamento das águas nas bacias, sobretudo nas áreas críticas. Esses grupos devem definir uma agenda particular de investimentos para identificar as áreas prioritárias e estudos que busquem as soluções;

- realizados os estudos básicos hidrogeológicos, os órgãos de gestão de recursos hídricos, especialmente os colegiados, deveriam estabelecer grupos interdisciplinares para pensar ações estratégicas para uma gestão comprometida com as necessidades da sociedade e do ambiente, que considere, inclusive, temas como equidade e responsabilidade social;
- criação de linhas de pesquisa interdisciplinares de fomento às águas subterrâneas nas universidades e centros de pesquisa, empresas privadas e de consultoria, além de grupos organizados da sociedade civil;
- realização de treinamento técnico em vários níveis para diversos públicos, sempre alinhado às políticas de gestão dos recursos hídricos subterrâneos e de governança;
- promoção de iniciativas de Educação Ambiental e Comunicação Social sobre águas subterrâneas e aquíferos nas escolas, sindicatos, associações de bairro etc., priorizando as áreas críticas, de forma a reduzir a irregularidade das captações e o risco de utilização de águas subterrâneas contaminadas. Entidades como o CREA e a Vigilância Sanitária deveriam ser envolvidas nessas iniciativas;
- inclusão de cláusulas contratuais para os prestadores de serviço de saneamento, prevendo ações de Educação Ambiental relacionadas às águas subterrâneas, sobretudo buscando identificar o usuário privado irregular, conscientizando-o da importância do bom uso, da proteção e manutenção da sua captação;
- busca por mecanismos de incentivo para promover a regularização de poços;

- fomento de organizações de usuários que ajudem o Poder Público no monitoramento e fiscalização das águas;
- fomento de parcerias com universidades e centros de pesquisa, OAB e Ministério Público no sentido de monitorar o avanço das políticas públicas estaduais relacionadas às águas subterrâneas;
- integração dos sistemas de informação relacionados à água, ambiente e setores de usuários, dando mais visibilidade às águas subterrâneas;
- inclusão das águas subterrâneas nas políticas urbanas, nos planos de saneamento, de irrigação, de gestão de resíduos sólidos e de irrigação;
- produção de indicadores de águas subterrâneas que alimentem um processo de comunicação com a sociedade sobre os avanços e falhas na gestão de águas, bem como as ações realizadas, ponderando o planejado, o executado e os cursos de longo prazo para a melhora do uso dos recursos hídricos, incluindo os subterrâneos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA
Fervedouro Rio Sono - Jalapao - Tocantins.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após mais de duas décadas da sua instituição, a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) ainda não se tornou plenamente operativa do ponto de vista institucional ou da aplicação dos instrumentos de gestão em várias bacias do território brasileiro. Esse cenário impacta a gestão das águas. As águas subterrâneas assumiram papel coadjuvante na gestão, apesar de sua importância na manutenção das águas superficiais e ecossistemas, e do seu caráter estratégico no abastecimento público e privado, incluindo a segurança hídrica de grupos sociais vulneráveis.

Gradualmente, os órgãos do Singreh buscam incentivar a inclusão dos aquíferos e fornecerem diretrizes à gestão das águas. Faltam, porém, dados e acompanhamento quanto à forma como os estados – titulares do domínio do recurso – têm promovido essa gestão. A aplicação dos instrumentos de gestão de águas no âmbito estadual enfrenta graves dificuldades para incluir as águas subterrâneas. Em muitos casos, a abordagem dos aquíferos nos planos de bacia se dá de forma superficial, sem a definição das áreas prioritárias à gestão. Os poços outorgados são a exceção, pois a absoluta maioria dos usuários é não regularizada e não vê nenhum benefício na legalização. Em contrapartida, há tolerância do Poder Público em relação a essa situação diante das dificuldades enfrentadas pelos órgãos gestores em promover a fiscalização. Em muitos casos, as outorgas têm sido concedidas sem as avaliações hidrogeológicas necessárias para determinar a vazão explorável dos aquíferos, de forma a protegê-los da superexploração. O enquadramento dos corpos de águas subterrâneas não saiu do papel, inclusive falta regulamentação estadual para a

sua aplicabilidade. A cobrança, por sua vez, quando existente, é pouco efetiva diante do cenário de não regularização dos poços.

No aspecto geral, o país possui um quadro jurídico-institucional capaz de promover a gestão integrada dos recursos hídricos, contudo, é necessário melhorar o ambiente de governança das águas de forma a aprimorar: i) a coordenação entre os diferentes entes administrativos e das gestões setorializadas (meio ambiente, saneamento, desenvolvimento econômico, ordenamento territorial etc.); ii) o envolvimento e apoio dos atores sociais, principalmente dos proprietários de poços e empresas perfuradoras; iii) a capacitação dos técnicos que atuam na gestão; iv) a promoção do conhecimento técnico e social sobre o tema; e v) a efetiva inclusão dessas águas nos instrumentos de gestão. A partir dessa governança será possível fomentar um planejamento estratégico das águas subterrâneas que leve em conta a relação sociedade e aquífero, e aquífero, rio e ecossistemas.

8 REFERÊNCIAS

ALY JÚNIOR, O. **O valor da água subterrânea**. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Resolução nº 317, de 26 de agosto de 2003**. Dispõe sobre o Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) para registro obrigatório de pessoas físicas e jurídicas de direito público ou privado usuárias de recursos hídricos. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2003/317-2003.pdf>.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil e fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil**.

Supervisão geral de João Gilberto Lotufo Conejo; coordenação geral de Francisco Lopes Viana e Gisela Damm Forattini. Brasília: ANA, 2007.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Atlas Brasil: abastecimento urbano de água – panorama nacional**. Brasília: Engecorps/Cobrape, 2010.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Sistemas aquíferos**. Mapa das áreas aflorantes dos aquíferos e sistemas aquíferos do Brasil, escala 1:1.000.000. Hidrografia. **Atlas Geográfico de Recursos Hídricos do Brasil**. 2013a. Disponível em: <http://portal1.snirh.gov.br/atlasrh2013/>.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades-Piloto (escala 1:50.000)**. Hidrogeologia e modelo numérico de fluxo da PHA no Brasil, tomo I, v. III, 2015a. 330 p. Disponível em: <https://metadados.inde.gov.br/geonetwork/srv/api/records/07c7cf8f-6e81-4040-b405-8361f6b4cdf9>.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Portaria nº 149, de 26 de março de 2015**. Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos. 2015b. Disponível em: http://efaidnbmnnnibpcajpcgglefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Farquivos.ana.gov.br%2Fimprensa%2Fnoticias%2F20150406034300_Portaria_149-2015.pdf&clen=131815&chunk=true.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Relatório Técnico de séries históricas e outorgas vigentes em julho de 2016 emitidas pela ANA e Unidades da Federação**. 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/a13c9093-34bd-403f-88db-6ffbad2069e6>.

ANA. Estudos Hidrogeológicos e de Vulnerabilidade do Sistema Aquífero Urucuia. Proposição de Modelo de Gestão Integrada e Compartilhada. 2017a.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017b.

ANA. Agência Nacional de Águas. Atlas esgotos : despoluição de bacias hidrográficas / Agência Nacional de Águas, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: ANA. 2017c.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Cobrança pelo uso dos recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2019.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020**: informe anual. Brasília: Ana, 2020.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2. ed. Brasília: ANA, 2021.

ANDJELKOVIC, I. Guidelines on non-structural measures in urban flood management. **International Hydrological Programme (IHP)**. Paris, France, 2001.

ANDRADE, A. M. de; ALMEIDA, L. de. Aquífero Termal de Caldas Novas: Monitoramento realizado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. **Águas Subterrâneas**, [S. l.], v. 26, n. 1, 2012. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/25048>. Acesso em: 12 mar. 2022.

ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o antropoceno? **Revista da USP**, v. 103, n. 13, 2014.

ASSIRATI, D. M. Sumário mineral. **Águas minerais**. Agência Nacional de Mineração (ANM), 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/publica-coes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/agua-mineral>.

AZEVÊDO, A. C. Verso e reverso das Políticas Públicas de Água para o Semiárido Brasileiro. **Revista Política e Planejamento Regional**. Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, jul./dez. 2015, pp. 373-392. ISSN 2358-4556.

AZEVEDO, J. H. **Fluxos subterrâneos e recarga do Sistema Aquífero Alter do Chão em lateritos amazônicos**: estudo de caso em Porto Trombetas, Pará. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas e Geodinâmica) – Universidade de Brasília, UnB. Brasília, 2019. 139p.

BARBI, F.; JACOBI, P. R. Democracia e participação na gestão dos recursos hídricos no Brasil. **Revista Katálysis**. Florianópolis, v. 10, n. 2, jul./dez. 2007, pp. 237-244.

BERGKAMP, G.; CROSS, K. **Groundwater and Ecosystem Services: towards their sustainable use**. Switzerland: IUCN (The World Conservation Union), ISGWAS, 2015.

BISWAS, A. K. Integrated Water Resources Management: is it working? **International Journal of Water Resources Development**, v. 24, n. 1, 2008, pp. 5-22.

BRASIL. IBGE/PNSB 2008. Disponível em : <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/multidominio/meio-ambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=o-que-e>

BORGES, G. B. C. Avaliação de Tecnologias para o Monitoramento de Recursos Hidrominerais: o caso do Sistema Aquífero São Lourenço em Minas Gerais/ Gilze Belém Chaves Borges.-- Itajubá,(MG): UNIFEI, 2006

BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R.; ROSAFILHO, E. F. **A integração das águas: revelando o verdadeiro aquífero Guarani**. Curitiba: Edição da Autora, 2011.

BOSON, P. H. G. Quem é responsável pelas águas minerais? **Água de minas II**. 2002. Disponível em: <http://www.almg.gov.br/RevistaLegis/Revista34/patricia34.pdf>.

BRASIL (Constituição, 1988). **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm.

BRASIL. **Decreto-Lei nº 7.841, de 08 de agosto de 1945.** Código de Águas Minerais. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/1937-1946/del7841.htm.

BRASIL. **Lei nº 9.433/1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm.

BRASIL. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, integrante do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh) e responsável pela instituição de normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9984.htm.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recursos Hídricos.** Prioridades 2012-2015. Brasília: CNRH, 2011.

BRASIL. **Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018.** Regulamenta o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967, a Lei nº 6.567, de 24 de setembro de 1978, a Lei nº 7.805, de 18 de julho de 1989, e a Lei nº 13.575, de 26 de dezembro de 2017. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9406.htm.

BUDDS, J.; LINTON, J.; McDONNELL, R. The hydrosocial cycle. **Geoforum**, n. 57, 2014, pp. 67-169.

CABRAL, J. J. S. P. Movimento das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A (Orgs.). **Hidrogeologia** – conceitos e aplicações. 3. ed. rev. e ampl. Curitiba: CPRM, 2008, pp. 77-91.

CAMARGO, E.; RIBEIRO, E. A proteção jurídica das águas subterrâneas no Brasil. *In*: RIBEIRO, W. C. **Governança da água no Brasil: uma visão interdisciplinar**. São Paulo: Annablume, FAPESP, CNPq, 2009.

CAMPOS, J. E. G.; CORREA, P. M. Critérios para determinação de vazões outorgáveis em mananciais subterrâneos: aplicação no Distrito Federal. São Paulo: UNESP, Geociências, v. 32, n. 1, 2013, pp. 23-32.

CARDOSO, I. Programa Nacional de Águas Subterrâneas – PNAS. **Meio Ambiente Brasil**. 2009. Disponível em: <https://sites.google.com/site/aabrasilma/Home/planos-de-acao/ds/dsrh/recursos-hidricos/programanacionaldeaguassubterraneas-pnas>.

CARVALHO, A. M.; HIRATA, R. Avaliação de métodos para a proteção dos poços de abastecimento público do Estado de São Paulo. **Geologia USP**, v. 12, n. 1, 2012, pp. 53-70. (Série Científica).

CASAGRANDE, R.; ABREU, K. **Parecer da Comissão de Constituição, Justiça e Cidadania (CCJ) nº 1.283, de 2010, sobre a Proposta de Emenda à Constituição nº 43, de 2000**. Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=3910063&ts=1593983836886&disposition=inline>.

CAUBET, C. G. Os contextos normativos brasileiros em matéria de águas subterrâneas. *In*: RIBEIRO, W. C. (Org.). **Governança da água no Brasil: uma visão interdisciplinar**. São Paulo: Annablume, 2009.

CETESB. Qualidade das águas subterrâneas no estado de São Paulo: boletim 2020. São Paulo: CETESB, 2021. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/publicacoes-e-relatorios/>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 5, de 10 de abril de 2000**. Estabelece diretrizes para a formação e funcionamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica. Disponível em: <https://conexaoagua.mpf.mp.br/arquivos/legislacao/resolucoes/resolucao-cnrh-005-2000.pdf>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 15, de 11 de janeiro de 2001**. Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas. Disponível em: <https://www.sema.df.gov.br/wp-content/uploads/2017/09/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA-15-de-2001.pdf>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 16, de 8 de maio de 2001**. Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=97757>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 22, de 24 de maio de 2002**. Estabelece diretrizes para inserção das águas subterrâneas no instrumento Planos de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/67-resolucao-n-22-de-24-de-maio-de-2002/file>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH nº 48, de 21 de março de 2005**. Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/institucional/sag/CobrancaUso/Legislacao/Resolucao_CNRH_n_048-2005.pdf.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 58, de 30 de janeiro de 2006**. Aprova o Plano Nacional de Recursos Hídricos, e dá outras

providências. Disponível em: <https://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Resolu%C3%A7%C3%A3o-CNRH-n%C2%BA-582006.pdf>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 76, de 16 de outubro de 2007**. Estabelece diretrizes gerais para a integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de águas minerais, termiais, gasosas, potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/aguas-subterraneas/17-resolucao-n-76-de-16-de-outubro-de-2007/file>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH nº 91, de 5 de novembro de 2008**. Dispõe sobre procedimentos gerais para o enquadramento dos corpos de água superficiais e subterrâneos. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CNRH%20n%C2%BA%2091.pdf>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 92, de 5 de novembro de 2008**. Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=107829>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 126, de 29 de junho de 2011**. Estabelece as diretrizes para o cadastro de usuários de recursos hídricos e para a integração das bases de dados referentes aos usos de recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-126-2011_114624.html.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 145, de 12 de dezembro de 2012**. Estabelece diretrizes para a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas e dá outras providências. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20145.pdf>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 153, de 17 de dezembro de 2013**. Estabelece critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território Brasileiro. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/aguas-subterraneas/1715-resolucao-153-recarga/file>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 184, de 7 de dezembro de 2016**. Estabelece diretrizes e critérios gerais para definição das derivações e captações de recursos hídricos superficiais e subterrâneos... Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/resolucoes/1978-resolucao-n-184-de-07-de-dezembro-de-2016/file>.

CNRH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº 202, de 28 de junho de 2018**. Estabelece diretrizes para a gestão integrada de recursos hídricos superficiais e subterrâneos que contemplem a articulação entre a União, os Estados e o Distrito Federal com vistas ao fortalecimento dessa gestão. Disponível em: https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/56128847/do1-2018-12-20-resolucao-n-202-de-28-de-junho-de-2018-56128598.

COCKELL, C.; CORFIELD, R.; EDWARDS, N.; HARRIS, N. **Sistema Terra-Vida** – uma introdução. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 360 p.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008**. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLU%C3%87%C3%83O%20CONAMA%20n%C2%BA%20396.pdf>.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para

o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/wp-content/uploads/sites/17/2017/09/resolucao-conama-420-2009-gerenciamento-de-acr.pdf>.

CONICELLI, B. P.; HIRATA, R.; GALVÃO, P.; ARANDA, N.; TERADA, R.; GUZMAN-GUTIERREZ, O. Groundwater governance: the illegality of exploitation and ways to minimize the problem. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021, pp. 9-16.

CONTI, K. I. **Norms in Multilevel Groundwater Governance & Sustainable Development**. Faculty of Social and Behavioural Sciences (PhD thesis). Amsterdam Institute for Social Science Research (AISSR), 2017.

COSTA, D. A.; ASSUMPÇÃO, R. S. F. V.; AZEVEDO, J. P. S.; SANTOS, M. A. **Dos instrumentos de gestão de recursos hídricos** – o enquadramento como ferramenta para reabilitação de rios. Rio de Janeiro, v. 43, n. especial 3, dez. 2019, pp. 35-50.

COSTA, M. L. M.; RIBEIRO, M. M. R.; REGO, J. C.; ALBUQUERQUE, J. P. T. Proposição de critérios de outorga para águas subterrâneas. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 16, n. 1, jan./mar. 2011, pp. 105-113.

DARCY, H. **Les fontaines publiques de la Ville de Dijon**. Paris: Dalmont, 1856.

DEMING, D. The aqueducts and water supply of ancient Rome. **Groundwater**, v. 58, n. 1, Jan./Feb. 2020, pp. 152-161.

DINIZ, E. **Crise, reforma do Estado e governabilidade**. Brasil, 1985-1995. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1999. 228 p.

DINIZ, J. A. O.; MONTEIRO, A. B. O.; SILVA, R. C.; FEIJÓ, P. T. L. **Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo**. Instruções Técnicas. Rio de Janeiro: CPRM, 2014. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Estudos-Hidrologicos-e-Hidrogeologicos/Mapa-Hidrogeologico-do-Brasil-ao-Milionesimo-756.html>.

EHRlich, P. R.; EHRlich, A. H. **Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species**. New York: Random House, 1981.

EMERSON, K., NABATCHI, T.; BALOGH, S. An integrated framework for collaborative governance. **Public Adm Res Theory**, v. 22, n. 1, 2012, pp. 1-29.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Global framework for action to achieve the vision on groundwater governance**. Rome, Italy, 2016.

FEITOSA, F. A. C.; FEITOSA, E. C.; DEMÉTRIO, J. G. A. (Eds.). **Hidrogeologia: conceitos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 812 p.

FERNANDES, L. C. S. Panorama do arcabouço legal das águas subterrâneas do Brasil. **Revista de Direito Ambiental**, v. 94, 2019, pp. 339-378.

FERREIRA JÚNIOR, V. O. C. A gestão das águas minerais e subterrâneas à luz da Constituição Federal de 1988. **Revista de Doutrina da 4ª Região**. Porto Alegre, n.18, jun. 2007. Disponível em: https://revistadoutrina.trf4.jus.br/index.htm?https://revistadoutrina.trf4.jus.br/artigos/Edicao018/Valter_Junior.htm.

FOSTER, S.; AIT-KADI, M. Integrated Water Resources Management (IWRM): how does groundwater fit in? **Hydrogeology Journal**, n. 20, 2012, pp. 415-418.

FOSTER, S.; HIRATA, R. **Determinación del riesgo de contaminación de aguas subterráneas**. Una metodología basada en datos existentes. Lima, Peru: CEPIS – Technical Report (OPS/OMS/HPE), 1988.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; CUSTODIO, E. Waterwells: why is legality not more attractive? **Hydrogeology Journal**, v. 29, 2021, pp. 1365-1368. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02319-x>.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Groundwater quality protection**. A guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. Washington: The World Bank, 2002. 103 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'ELIA, M.; PARIS, M. **Proteção da qualidade da água subterrânea**: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. Washington: Banco Mundial, 2006, 104 p.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; VIDAL, A.; SCHMIDT, G.; GARDUÑO, H. **The guarani aquifer initiative** – towards realistic groundwater management in a trans-boundary context. System. Briefing notes series. Note 15. The World Bank, GWMATE. 2009. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/case-studies/americas-and-caribbean/transboundary.-groundwater-management-issues-for-guarani-aquifer-368-english.pdf>.

FOSTER, S.; STEENBERGEN, F. Conjunctive groundwater use: a 'lost opportunity' for water management in the developing world? **Hydrogeology Journal**, n. 19, 2011, pp. 959-962.

FREEZE, R. A.; CHERRY, J. A. **Groundwater**. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1979. 604 p.

GALILI, E.; NIR, Y. The submerged pre-pottery neolithic water well of Atlit-Yam, northern Israel and its palaeoenvironmental implications. **Holocene**, v. 3, n. 3, 1993, pp. 265-270.

GARDUÑO, H.; VAN STEENBERGEN, F.; FOSTER, S. **Stakeholder participation in Groundwater Management**. GW Mate Briefing Note Series. World Bank: Washington DC, USA, 2010.

GENARO, D. T.; PEIXINHO, F. C.; MOURÃO, M. A. A Rede Integrada de Monitoramento das Águas Subterrâneas (RIMAS): 10 anos de implementação e operação. Poster. XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. **Anais...** Foz do Iguaçu-PR, 24 a 28 de novembro de 2019.

GOLDSCHIEDER, N.; DREW, D. **Methods in Kart Hydrogeology**. ed. Taylor & Francis, London, 2007.

GONÇALVES, A. F. O conceito de governança. XIV Congresso Nacional Conpedi. **Anais...** Fortaleza, 2005. Disponível em: <http://efaidnbmnnnibpcajpcggle-findmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Fwww.publicadireito.com.br%2Fconpedi%2Fmanaus%2Farquivos%2Fanais%2FXIVCongresso%2F078.pdf&clen=180447&chunk=true>.

GRANJA, S. I. B.; WARNER, J. A hidropolítica e o federalismo: possibilidades de construção da subsidiariedade na gestão das águas no Brasil? **Revista de Administração Pública**, v. 40, n. 6, dez./2006, pp. 1097-1121.

GRANZIERA, M. L. M. **Direito ambiental**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

GRIEBLER, C.; AVRAMOV, M. Groundwater ecosystem services: a review. **Freshwater Science**, v. 34, n. 1, Mar. 2015, pp. 355-367.

GRIGG, N. **Water resources management: principles, regulations and cases.** New York: McGrawHill, 1996. 540 p.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra.** 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 738 p.

GUPPY, L.; UYTENDAELE, P.; VILLHOLTH, K. G.; SMAKHTIN, V. **Groundwater and Sustainable Development Goals: analysis of interlinkages.** United Nations University Institute for Water, Environment and Health. Hamilton, Canada, 2018 (UNU-INWEH Report Series, Issue 04).

GWP. Global Water Partnership. **Integrated Water Resources Management.** TAC Background Papers n. 4. GWP. Stockholm, Sweden. 2000. Disponível em: http://www.gwp.org/Global/GWP-CACENA_Files/en/pdf/tec04.pdf.

HEALY, R. W. **Estimating Groundwater Recharge.** Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2010. 244 p.

HIRATA, R.; FOSTER, S. Guarani Aquifer System: from regional reserves to local use. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 53, 2020, p. 91.

HIRATA, R.; FOSTER, S.; OLIVEIRA, F. **Águas subterrâneas urbanas no Brasil: avaliação para uma gestão sustentável.** São Paulo: Ed. da Fapesp e IGc-USP, 2015. 111 p.

HIRATA, R.; KIRCHHEIM, R.; MANGANELLI, A. Diplomatic advances and setbacks of the Guarani Aquifer System in South America. **Environmental Science & Policy**, v. 114, 2020, pp. 384-393.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A. V.; MARCELLINI, S. S.; VILLAR, P. C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2019.

HIRATA, R.; VARNIER, C. Águas subterrâneas e agronegócios. *In*: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. **Anais...** São Paulo: Revista Águas Subterrâneas, v. 10, 1998.

HIRATA, R.; CONICELLI, B. Groundwater resources in Brazil: a review of possible impacts caused by climate change. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, 2012, pp. 297-312.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/>.

JACOBSON, C. R. Identification and quantification of the hydrological impacts of imperviousness in urban catchments: a review. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 6, 2011, pp. 1438-1448.

JARVIS, T. W. *et al.* International borders, groundwater flow and hydroschizophrenia. **Groundwater**, v. 43, n. 5, 2005, pp. 764-770.

KENNEDY, K.; SIMONOVIC, S.; TEJADA-GUIBERT, A.; DORIA, M. F.; MARTIN, J. L. **IWRM implementation in basins, sub-basins and aquifers: state of the art review**. The United Nations World Water Assessment Programme. Unesco, 2009.

KLAAS D.K.S.Y; IMTEAZ M. A; ARULRAJAH, A; SUDIAYEM, I; KLAAS, E.M.E; KLAAS, E.C.M (2018). Evaluation of the effects of surface slope in discretization of groundwater models. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 151, 012012. DOI: 10.1088/1755-1315/151/1/012012

LANNA, A. E. L. A gestão dos recursos hídricos no contexto das políticas ambientais. *In*: MUÑOZ, Héctor Raúl (Coord.). **Interfaces da gestão dos recursos hídricos: desafios da Lei de Águas**. Brasília: MMA/SRH, 2000, pp. 75-108.

LANNA, A. E. L.; PEREIRA, J. S.; HUBERT, G. Os novos instrumentos de planejamento do Sistema Francês de Gestão de Recursos Hídricos: II - Reflexões e propostas para o Brasil. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 2, abr./jun. 2002, pp. 109-120.

LEAL, M. S. **Gestão ambiental de recursos hídricos: princípios e aplicações**: Rio de Janeiro: CPRM, 1998.

LEBAC/UNESP. Laboratório de Estudos de Bacias/Universidade Estadual Paulista. **Informe Final de Hidrogeologia** – Projeto para a Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Consórcio Guarani. Rio Claro, SP: Departamento de Geologia Aplicada (DGA) do Instituto de Geociências e Ciências Exatas (IGCE). Universidade Estadual Paulista (UNESP). São Paulo, 2008.

LINTON, J.; BUDDS, J. The hydrosocial cycle: defining and mobilizing a relational-dialectical approach to water. **Geoforum**, n. 57, 2014, pp. 170-180.

LLAMAS, M. R.; MARTINEZ-CORTINA, L. Groundwater irrigation and poverty alleviation. **Proc. IWRA Regional Symposium: Water for Human Survival**, 27-30 Nov. New Delhi: Central Board for Irrigation and Power, v. 2, 2002, pp. 134-143.

MADANI, K.; DINAR, A. Non-cooperative institutions for sustainable common pool resource management: application to groundwater. **Ecological Economics**, v. 74, 2012, pp. 34-45.

MANOEL FILHO, J. Ocorrência das águas subterrâneas. *In*: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. (Orgs.). **Hidrogeologia – conceitos e aplicações**. 3. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: CPRM, 2008, pp. 53-75.

MEGDAL, S. B.; GERLAK, A. K.; VARADY, R. G.; HUANG, L.-Y. Groundwater Governance in the United States: common priorities and challenges. **Groundwater**, 2014, v. 53, n. 5, pp. 677-684. doi:10.1111/gwat.12294.

MELO, J. A. M. H.; SCHIER, A. C. R. O direito à participação popular como expressão do Estado Social e Democrático de Direito. **A&C Revista de Direito Administrativo & Constitucional**. Belo Horizonte, ano 17, n. 69, jul./set. 2017, pp. 127-147. DOI: 10.21056/aec.v17i69.825.

MILARÉ, E. **Direito do ambiente**. 12. ed. São Paulo: Thomson Reuters Brasil, 2020.

MIRANDA; G. M.; REYNARD, E. Integrated water resources management in federations: the examples of Brazil and Switzerland. **Water**, v. 12, n. 7, 2020.

MOURÃO, M.A.A.; PEIXINHO, F.C. (2012). A Rede de Monitoramento de Águas Subterrâneas do Serviço Geológico do Brasil: Desafios e Estágio Atual de Implantação. **Águas Subterrâneas** [S.l.], 2012. Disponível em: <https://aguasubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/27659>. Acesso em:12/01/2021.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>.

NAVARRETE, C. M.; GARCÍA, A. G. **Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano**. Metodología y aplicación al territorio. Madrid: IGME, 2003, 273 p. (Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas).

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia**. São José dos Campos, SP: ARA/INPE/ INPA, 2014.

OAS. Organization of American States. **Guarani Aquifer: strategic action program**. Acuífero Guaraní: programa estratégico de acción. Bilingual edition. Brazil: OAS, 2009. Disponível em: http://iwlearn.net/iw-projects/Fsp_112799467571/reports/strategic-action-program/view.

OECD. **Water Resources Governance in Brazil**, OECD Studies on Water, OECD Publishing, Paris, 2015.

OKI, T.; ENTEKHABI, D.; HARROLD, T. I. The global water cycle. *In*: SPARKS, R. S. J.; HAWKESWORTH, C. J. (Eds.). **State of the planet: frontiers and challenges in geophysics**, geophysical monograph series. AGU Publications, v. 150, n. 414, 2004, pp. 225-257.

OLIVEIRA, F. R.; PRETO, L. A.; LIMA, K. J.; CARDOSO, F. B. F.; GASPAR, M. T. P.; MARRA, C. F. Methodology for the selection os priority areas to recharge the aquifers to implementing conservationist practices in watersheds. 47th IAH Congress. Brazil 2021

PALERM, J. **Cuadro localización galerías filtrantes (qanats) en México**. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/324165405_Cuadro_localizacion_galerias_filtrantes_qanats_en_Mexico.

PALERM, J. Las galerías filtrantes o qanats en México: introducción y tipología de técnicas. **Agricultura, sociedad y desarrollo**, v. 1, n. 2, Jul./Dic. 2004, pp. 133-145. Disponível em: <http://www.colpos.mx/asyd/volumen1/numero2/asd-02-010.pdf>.

PALERM, J. Las galerías filtrantes o qanats. *In*: PALERM, J. (Ed.). **Antología sobre pequeño riego**. Sistemas de riego no convencionales. Colegio de Postgraduados, v. III, 2002, pp. 257-290.

PETELET-GIRAUD, E.; CARY, L.; CARY, P.; GIGLIO-JACQUEMOT, A.; BERTRAND, G.; HIRATA, R.; ALVES, L.; MARTINS, V.; MELO, A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CHATTON, E.; FRANZEN, M.; AUROUET, A. Multi-layered water resources, management, and uses under the impacts of Global Changes in a Southern Coastal Metropolis: when will it be already too late ? Crossed analysis in Recife, NE Brazil. **Environmental Science & Policy**, v. 13, 2017.

PILEGGI, F.; HIRATA, R. C. A.; CONICELLI, B.; ARANDA, N. Support method for interpretation of regional groundwater monitoring in urban areas. **Brazilian Journal of Geology**, v. 51, 2021, pp. 1-10.

PITT, R. *et al.* Infiltration through compacted urban soils and effects on biofiltration design. **Journal of Water Management Modeling**, v. 6062, 2003.

PIYAPONG, J.; THIDARAT, B.; JARUWAN, C.; SIRIPHAN, N.; PASSANAN, A. Enhancing citizens' sense of personal responsibility and risk perception for promoting public participation in sustainable groundwater resource management in Rayong Groundwater Basin, Thailand. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 9, 2019.

POETER, E.; FAN, Y.; CHERRY, J.; WOOD, W.; MACKAY, D. **Groundwater in our water cycle** – getting to know Earth's most important fresh water source. Guelph, Ontario, Canada: The Groundwater Project, 2020, 136 p. ISBN:978-1-7770541-1-3.

POMPEU, C. T. **Direito de águas no Brasil**. São Paulo: Revista dos Tribunais, 2006.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**. São Paulo: USP, v. 22, n. 63, 2008, pp. 43-60. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/10292>.

PRETTY, J. N. Participatory learning for sustainable agriculture. **World Development**, v. 23, n. 8, 1995, pp. 1247-1263.

QUEIROZ, E. T.; PONTES, C. H. C. **Estudo diagnóstico das águas minerais e potáveis de mesa do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional de Produção Mineral, Diretoria de Fiscalização da Atividade Minerária, 2015.

QUEVAUVILLER, P.; BATELAAN, O.; HUNT, R. J. Groundwater regulation and integrated water planning. *In*: JAKEMAN, A. J.; BARRETEAU, O.; HUNT, R. J.; RINAUDO, J. D.; ROSS, A. (Eds). **Integrated Groundwater Management**. Springer, Cham, 2016, pp. 197-227.

QUICK, K. S.; BRYSON, J. Theories of public participation in governance. *In*: TORBING, J.; ANSELL, C. **Handbook of Theories of Governance**. Edward Elgar, 2016, pp. 1-12.

REBOUÇAS, A. C. Águas subterrâneas. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006, pp. 111-144.

RIBEIRO, N. B.; JOHNSON, R. M. F. Discussions on water governance: patterns and common paths. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 21, 2018.

RODELL, M. et al., 2015. The observed state of the water cycle in the early 21st century. *J. Clim.* 28, 8289–8318, 2015.

ROGERS, P.; HALL, A. W. **Effective water governance**. Stockholm: Global Water Partnership, 2003.

SÃO PAULO. **Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991**. Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: <https://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/lei/1991/lei-7663-30.12.1991.html>.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente. Governo do Estado de São Paulo. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**, 2014. Disponível em: <http://arquivo.ambiente.sp.gov.br/cea/2014/11/01-aguas-subterraneas-estado-sao-paulo.pdf>.

SCALON, M. G. B. Águas minerais e recursos hídricos: uma perspectiva de gestão integrada. **Revista de Direito, Estado e Recursos Naturais**, v. 1, n. 1, 2011, pp. 131-160.

SERRA, Silvia Helena. **Águas minerais do Brasil**. Campinas, SP: Millennium, 2009. 277 p.

SEWRPC. 2006. "State-of-the-Art of Water Supply Practices". Southeastern Wisconsin Regional Planning Commission (SEWRPC). Technical Report N.º 43, Chapter VI – Artificial Groundwater Recharge and Management (preliminary Draft) (Disponível em URL http://www.sewrpc.org/watersupplystudy/pdfs/tr-43_chapter-6_preliminary_draft.pdf).

SHIKLOMANOV, I. A.; RODDA, J. C. **World water resources at the beginning of the twenty-first century**. Unesco International Hydrology Series. Cambridge: University Press, 2003.

SINDICO, F.; HIRATA, R; MANGANELLI, A. The Guarani Aquifer System: from a beacon of hope to a question mark in the governance of transboundary aquifers. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 20, 2018, pp. 49-59.

SINGHAL, B. B. S.; GUPTA, R. P. **Applied hydrogeology of fractured rocks**. Springer Science & Business Media, 2010.

SOUZA, C. **Coordenação de políticas públicas**. Brasília: Enap, 2018.

STJ. Superior Tribunal de Justiça. **Recurso Especial nº 1.296.193 - RJ** (2011/0288207-8). Relator: Ministro Hermam Benjamin. Brasília: DJe, 07 nov. 2016a.

STJ. Superior Tribunal de Justiça. **Recurso Especial nº 1.306.093 – RJ** (2011/0145236-6). Relator: Ministro Hermam Benjamin. Brasília: DJe, 07 nov. 2016b.

TANG, Z. *et al.* Forecasting land use change and its environmental impact at a watershed scale. **Journal of Environmental Management**, v. 76, n. 1, 2005, pp. 35-45.

TÓTH, J. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. **Journal of Geophysical Research**, n. 68, 1963, pp. 4795-4812.

TOVAR, J. Conceito e propriedade das nascentes. **Revista do Serviço Público**, v. 67, n. 1, 1955, pp. 96-105. Disponível em: <https://www.revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/5154>.

TUINHOF, A.; DUMARS, C.; FOSTER, S.; KEMPER, K.; GARDUÑO, H.; NANNI, M. **Groundwater resource management an introduction to its scope and practice**. Sustainable groundwater management concepts and tools. Briefing Note Series,

Note 1. The World Bank, 2006. Disponível em: http://siteresources.worldbank.org/EXTWAT/Resources/4602122-1210186362590/GWM_Briefing_1.pdf.

UN-WAAP. United Nations – World Water Assessment Programme. **Water for people, water for life**. Paris: Unesco, 2003. Disponível em: <http://www.unesco.org/publishing>.

USGS. United States Geological Survey. **O ciclo d'água**. The water cycle. Portuguese. 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-d-gua-water-cycle-portuguese>.

VILLAR, P. C. **Aquíferos transfronteiriços: governança das águas e o Aquífero Guarani**. Curitiba: Juruá, 2015.

VILLAR, P. C. As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise. **Ambiente & Sociedade**. São Paulo, v. 19, n. 1, jan./mar. 2016, pp. 83-102. Disponível em: http://www.scielo.br/pdf/asoc/v19n1/pt_1809-4422-asoc-19-01-00085.pdf.

VILLAR, P. C. International cooperation on transboundary aquifers in South America and the Guarani Aquifer case. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v. 59, 2016, pp. 1-20.

VILLAR, P. C. The agreement on the Guarani Aquifer enters into force: what changes now? 2020. **International Water Law Project Blog**. Disponível em: <https://www.internationalwaterlaw.org/blog/2020/11/16/the-agreement-on-the-guarani-aquifer-enters-into-force-what-changes-now/>.

VILLAR, P. C.; GRANZIERA, M. L. M. **Direito de águas à luz da governança**. Brasília: ANA, 2020.

VILLAR, P. C.; HIRATA, R. **A interpretação dos tribunais frente ao artigo 45 da Lei 11.445/2007 e a perfuração de poços como fontes alternativas de abastecimento de água**. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2021. Disponível em: <https://aguassubterra neas.abas.org/asubterraneas/article/view/29420>.

VILLAR, P. C.; HIRATA, R. Groundwater Governance and the Construction of Legal Indicators for Brazilian States. **Ambiente e Sociedade**, v. 25, 2022.

VILLAR, P. C.; RIBEIRO, W. C. The agreement on the Guarani Aquifer: a new paradigm for transboundary groundwater management? **Water International**, v. 36, n. 5, 2011, pp. 646-660.

VILLHOLTH, K. G.; CONTI, K. I. Groundwater governance: rationale, definition, current state and heuristic framework. *In*: VILLHOLTH, Karen G.; LOPEZ-GUNN, E.; CONTI, K.; GARRIDO, A.; VAN DER GUN, J. (Eds.). **Advances in groundwater governance**. Leiden, Netherlands: CRC Press, 2018, pp. 3-31.

WINTER, T. C.; HARVEY, J. W.; FRANKE, O. L.; ALLEY, W. M. **Groundwater and surface water: a single resource**. Denver: U.S. Geological Survey Circular 1139, 1999. 79 p.

WOESSNER, W.W. **Groundwater-surface water exchange**. Ontario: The Groundwater Project, 2020. 136 p.



Foto: AdobeStock/Banco de Imagens ANA

Em cooperação



MINISTÉRIO DAS
RELAÇÕES EXTERIORES 



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

ISBN 978-658810126-1



9 786588 101261