

MANUAL DE  
USOS  
CONSUNTIVOS  
DA ÁGUA  
NO BRASIL



**República Federativa do Brasil**

Luiz Inácio Lula da Silva

*Presidente da República*

**Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional**

Waldez Gões

*Ministro*

**Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico**

**Diretoria Colegiada**

Veronica Sánchez da Cruz Rios (Diretora-Presidente)

Filipe de Mello Sampaio Cunha

Ana Carolina Argolo

Marco Neves (Interino)

Nazareno Araújo (Interino)

Marcelo Medeiros (Interino)

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO  
MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL



MANUAL DE  
USOS  
CONSUNTIVOS  
DA ÁGUA  
NO BRASIL  
2ª edição

BRASÍLIA - DF  
ANA  
2024

© 2024, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

Setor Policial Sul, 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>

## COMISSÃO DE EDITORAÇÃO

Joaquim Gondim (Coordenador)

Humberto Cardoso Gonçalves

Ana Paula Fioreze

Mateus Monteiro de Abreu (Secretário-Executivo)

## EQUIPE EDITORIAL

Thiago Henriques Fontenelle

Ana Paula Fioreze

### Texto e Supervisão editorial

Ferdnando Cavalcanti da Silva Albuquerque

Marco Vinícius Castro Gonçalves

### Revisão dos originais

Vanessa da Silva Cardoso

### Projeto gráfico, editoração, capa e infografia

Banco de imagens da ANA

### Fotografias

As ilustrações, tabelas e gráficos sem indicação de fonte foram elaborados pela ANA.

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

Catálogo na fonte - CEDOC/Biblioteca

### A265m

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil).  
Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil / Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. – 2. ed. – Brasília: ANA, 2024.

109 p. : il.

ISBN: 978-65-88101-64-3

1. Água - uso. 2. Água - consumo. I. Título.

**CDU 628.1(035)**

**Ficha catalográfica elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864**

## Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

### Coordenação Geral

Ana Paula Fioreze  
Flávio Hadler Troger

### Coordenação Técnica

Thiago Henriques Fontenelle  
Marco Vinícius Castro Gonçalves  
Daniel Assumpção Costa Ferreira  
Ferdnando Cavalcanti da Silva Albuquerque

### Colaboradores

Adalberto Meller  
Ana Catarina Nogueira da Costa Silva  
Carlos Alberto Perdigão Pessoa  
Marcela Ayub Brasil  
Marcus André Fuckner  
Paulo Marcos Coutinho dos Santos  
Rodrigo Alexandre Ribeiro Ferreira  
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares  
Wagner Martins da Cunha Vilella

## Colaboradores da 2ª edição (2024)

### Universidade Federal do Paraná

#### Coordenação

Irani dos Santos<sup>1</sup>

#### Equipe Técnica

Cesar Augusto Crovador Siefert<sup>1</sup>  
Cynthia Roberti Lima  
Fernando Helmuth Syring Marangon<sup>1</sup>  
Gilson Bauer Schultz<sup>1</sup>  
Nelson Luís da Costa Dias

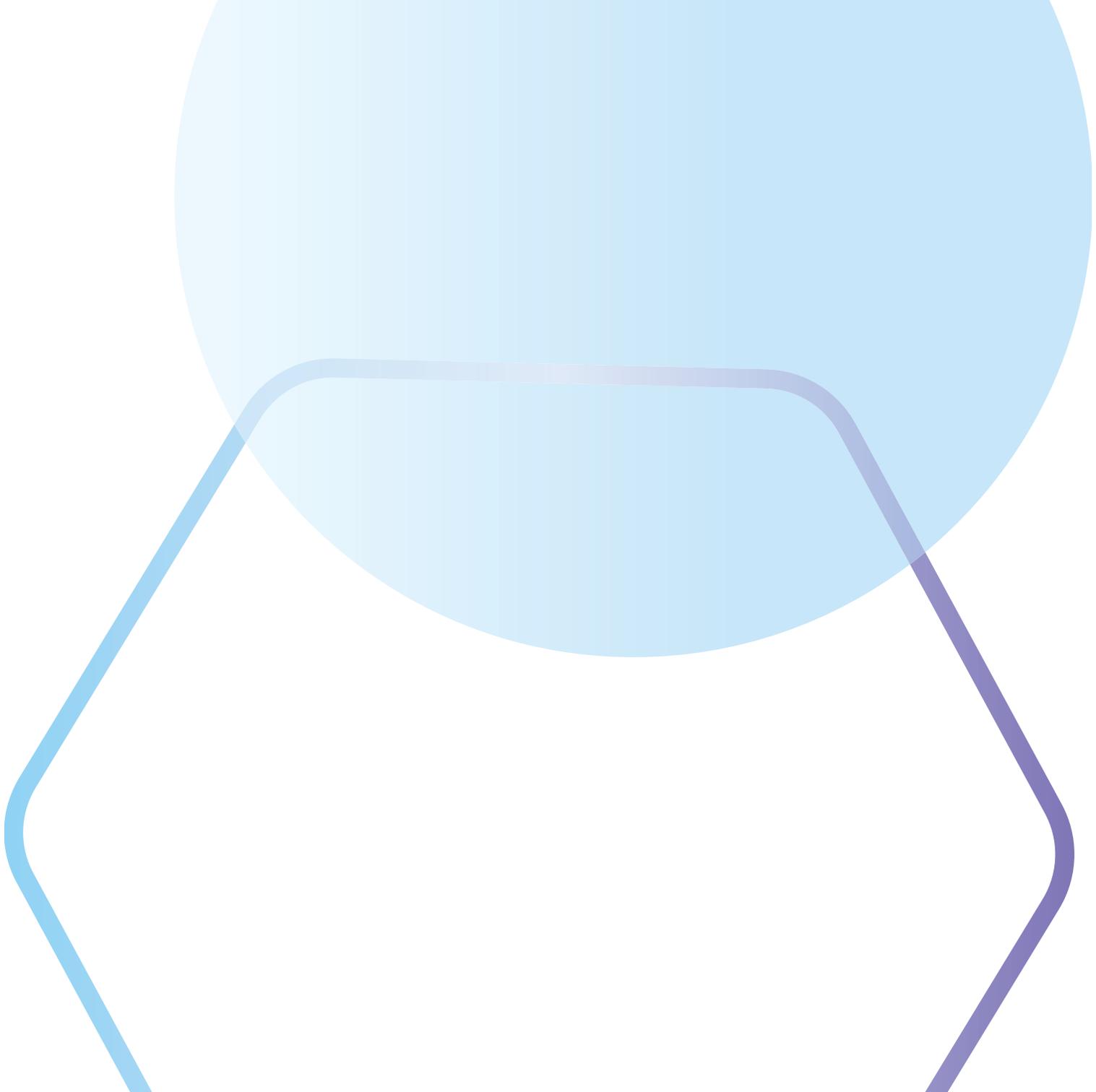
#### Outras Instituições

Élvio Giasson (UFRGS)  
Eusímio Felisbino Fraga Júnior (UFU)  
Jefferson Vieira José (UFAC)  
José Antônio Louzada (UFRGS)  
Timóteo Herculino da Silva Barros (USP)

<sup>1</sup> Colaboradores também da 1ª edição (2019)

## Colaboradores da 1ª edição (2019)

Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira (ANA)  
Bogodar Szpak  
Bolivar Antunes Matos (ANA)  
Bruna Daniela de Araujo Taveira  
Candice Schauffert Garcia  
Daniele Félix  
Elizabeth Siqueira Juliatto (ANA)  
Eloy Kavisky  
Fabiano Saraiva  
Fernando Falco Pruski (*in memoriam*)  
Isabela Raquel Ramos Iensen  
João Augusto Bernaud Burnett (ANA)  
Laertes Munhoz da Cunha  
Laisi Bellon Cesconetto  
Luiz Fujio Kamogawa  
Renata Del Giudice Rodriguez  
Rodolpho Humberto Ramina  
Wesley Nelson Antal



# SUMÁRIO

**APRESENTAÇÃO**

PG 07

**1 CONTEXTUALIZAÇÃO**

PG 09

**ABASTECIMENTO HUMANO**

**2**

PG 17

PG 29

PG 37

**4**

PG 45

**ABASTECIMENTO ANIMAL**

**3**

**INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO**

**5**

**AGRICULTURA IRRIGADA**

**6**

**MINERAÇÃO**

**7**

**TERMoeLETRICIDADE**

**8**

**EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DE RESERVATÓRIOS**

**9**

**SÍNTESE E APLICAÇÕES**

**10**

**CONSIDERAÇÕES FINAIS**

PG 105

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

PG 89

PG 103



# APRESENTAÇÃO

O Brasil é privilegiado quanto à disponibilidade hídrica – no entanto, a ocorrência da água é desigual no território e no tempo. A demanda por água e a infraestrutura hídrica para captação e distribuição também se encontram desigualmente distribuídas. A perspectiva de crescimento dos usos em meio a mudanças do clima impõe desafios adicionais ao planejamento e à gestão.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA é a entidade responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e pela coordenação da gestão compartilhada e integrada no âmbito do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH). Dentre suas atribuições, a ANA deve elaborar e manter atualizados o diagnóstico e o prognóstico da oferta e da demanda de recursos hídricos no Brasil.

A 1ª edição do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, lançada em 2019, consolidou e aprimorou as metodologias disponíveis, em escala nacional, para estimar os usos consuntivos (usos que consomem água), como uma forma de monitoramento indireto do uso da água. As estimativas

consideraram as principais categoriais de usos, acompanhando a evolução da malha territorial brasileira desde 1931 (1.365 municípios) até a atualidade (5.570 municípios), além de projeções tendenciais dos usos.

Em sua segunda edição, o Manual de Usos Consuntivos atualiza o diagnóstico e o prognóstico das demandas hídricas no Brasil de 1931 a 2040, consolidando uma nova versão da Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água (BD-Usos). Métodos e bases de dados foram revisitados, incorporando melhorias e ajustes. A publicação foi aprimorada visualmente e aprofunda os conceitos e as aplicações dos resultados na implementação das políticas de recursos hídricos.

Como forma de monitoramento indireto, a BD-Usos passa por atualizações periódicas para incorporar novos anos-diagnóstico, novos horizontes de projeção e aprimoramentos em métodos e bases de dados disponibilizadas pela ANA e por outras fontes. O Manual, portanto, é a referência metodológica cujos resultados são atualizados periodicamente no relatório de Conjuntura

dos Recursos Hídricos e no portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH).

Ao fornecer dados consistentes sobre as demandas hídricas para todo o território nacional, o Manual e a BD-Usos são referência para as estimativas do balanço hídrico entre oferta e usos – informação de base para a implementação das políticas de recursos hídricos e para tomadas de decisão em temas como: planos de recursos hídricos, áreas especiais de gestão (ou bacias críticas), outorga de direito de uso, cadastro de usuários, alocação negociada, planejamento setorial, cobrança, fiscalização, automonitoramento, operação de infraestruturas e regularização de usuários.

Para os setores usuários, as estimativas de usos auxiliam na análise de riscos de balanço hídrico desfavorável, no planejamento da expansão e na formulação das políticas públicas setoriais, dentre outras aplicações.

O primeiro capítulo do Manual de Usos contextualiza os principais conceitos e o históri-

co de estimativas sobre demandas da água no Brasil, assim como os principais números e tendências observados.

Os capítulos seguintes (2 a 7) detalham, por tipo de uso setorial da água, as metodologias, bases de dados e principais resultados. O capítulo 8 trata das perdas por evaporação líquida de reservatórios que devem ser contabilizadas no balanço hídrico. O penúltimo capítulo (9) apresenta a síntese integrada dos resultados e exemplos de aplicações na gestão e regulação dos recursos hídricos, e é seguido pelas considerações finais (10).

Resultados desagregados das séries de vazões e suas atualizações, assim como conteúdos adicionais como tabelas, mapas interativos e painéis de indicadores, devem ser acessados no portal do SNIRH, em: [www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) > Usos da Água.

Boa Leitura!

*Diretoria Colegiada da ANA*

# CONTEXTUALIZAÇÃO

## Conceitos

O balanço entre oferta e a demanda por água – histórico, atual e projetado – é informação crucial para a garantia da segurança hídrica para o desenvolvimento sustentável do Brasil. Tema transversal por natureza, a água contribui e é afetada por diver-

sas políticas públicas – como saneamento, desenvolvimento regional, meio ambiente, conservação e biodiversidade, uso da terra e ordenamento urbano – e pelas agendas dos setores econômicos.



1

## AGENDA AZUL E AS AGENDAS SETORIAIS

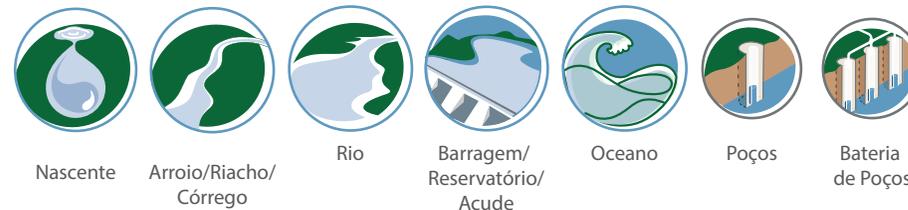


Um uso é considerado consuntivo quando a água é retirada e consumida, parcial ou totalmente, no processo a que se destina, não retornando diretamente ao corpo d'água. As razões para esse consumo podem ser evapotranspiração, infiltração no solo, incorporação em produtos, dentre outras formas. A água sempre retornará ao ciclo hidrológico – o uso consuntivo representa uma indisponibilidade da água naquele manancial e naquele tempo para qualquer outro uso.

**“Uso consuntivo” é uma tradução livre do termo técnico em inglês “consumptive use” (ou “non-consumptive use” para “uso não consuntivo”). O adjetivo “consuntivo” (= que consome) é, portanto, um neologismo que surgiu no meio técnico e se disseminou.**

Normalmente os usos consuntivos são caracterizados em três componentes: retirada ou captação (montante captado no corpo hídrico), consumo (fração da retirada que não retorna ao corpo hídrico) e retorno (fração da retirada que retorna diretamente ao corpo hídrico). A retirada (ou captação) é um processo mais palpável, base para a gestão dos recursos hídricos, enquanto a definição de consumo e retorno pode ser mais subjetiva e variar em função da escala espacial, temporal e da aplicação pretendida.

Os mananciais de água (ou fontes hídricas) podem ser classificados em superficiais (rios, represas, açudes) ou subterrâneos (minas, poços, bateria de poços). O mar também pode ser manancial em situações específicas, como no abastecimento de ilhas. Já o retorno (pontual e concentrado) da água pode ocorrer nas mesmas categorias (águas superficiais, subterrâneas e marítimas) ou no solo.

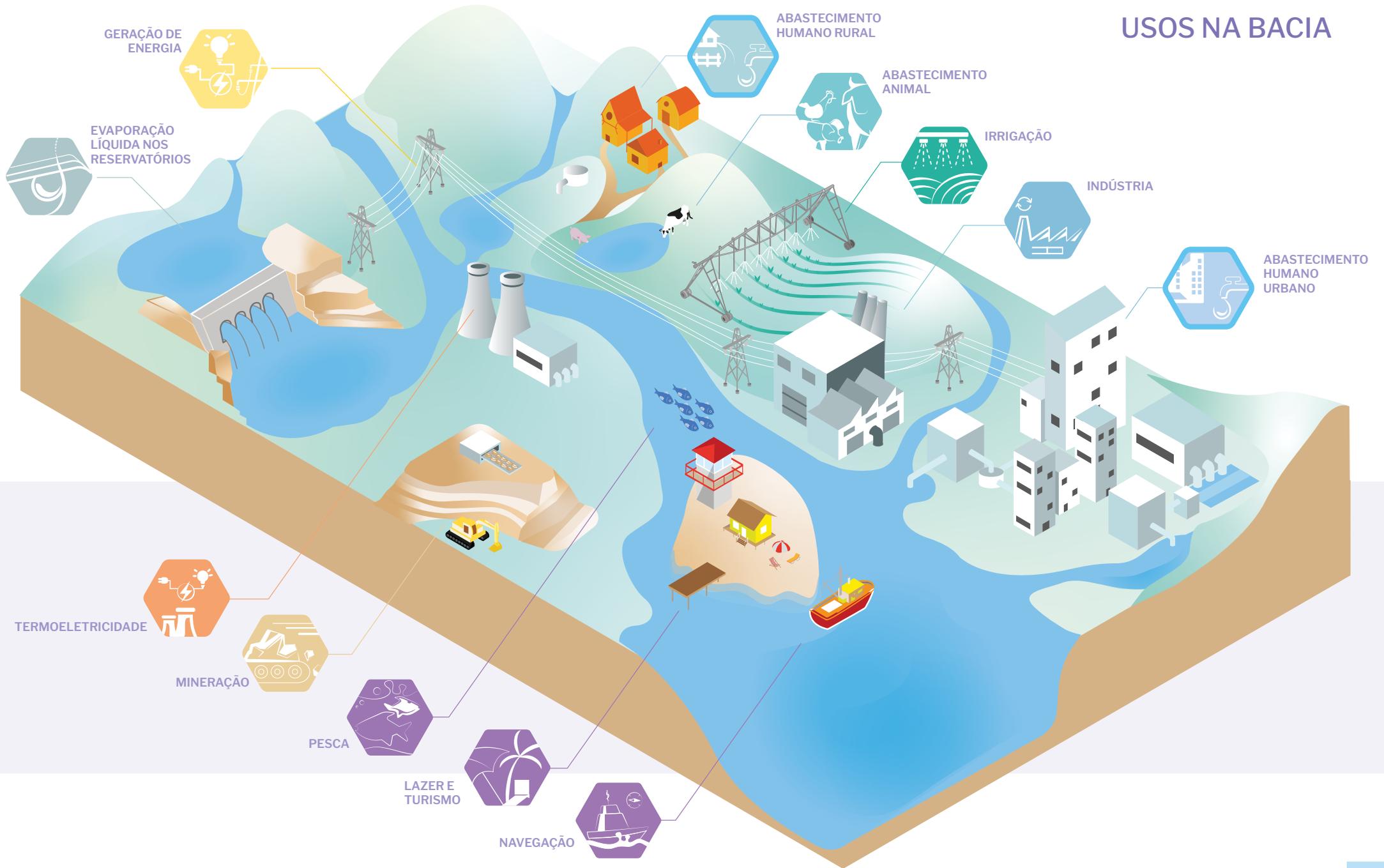


Em síntese, os usos podem ser classificados em consuntivos, quando há impacto direto na disponibilidade local de água, e não consuntivos, quando não há retirada direta, como na geração hidrelétrica, na navegação, na pesca, na aquicultura em tanque-rede, no turismo e no lazer. Usos não consuntivos estão interligados na bacia hidrográfica ou em sistemas hídricos específicos aos demais usos, já que também dependem de água em quantidade e qualidade por meio da manutenção das condições naturais e/ou da operação da infraestrutura hídrica (reservatórios, canais, adutoras).

Os principais usos consuntivos setoriais da água no Brasil são o abastecimento humano (urbano e rural) e animal, a indústria de transformação, a mineração, a termoelectricidade e a agricultura irrigada. A evaporação líquida de reservatórios artificiais não é atribuída a um setor específico - essas infraestruturas beneficiam não apenas usuários ou proprietários, mas toda a região de influência (que pode exceder a bacia natural em casos de transferências de água e de energia).



# USOS NA BACIA



## Histórico dos Estudos

Estudos mais abrangentes sobre usos da água no Brasil remontam ao Plano Nacional de Recursos Hídricos de 1985, elaborado pelo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE, e o Diagnóstico dos Recursos Hídricos Nacionais, de 1998, elaborado pela Fundação Getúlio Vargas – FGV por força de convênio firmado com a Secretaria de Recursos Hídricos do MMA.

O Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), com acompanhamento da ANA, do MME e da ANEEL, realizou dois estudos sobre usos da água a montante de aproveitamentos hidrelétricos (AHes) – o primeiro foi concluído em 2003 para um grupo de bacias onde estava instalada a maior capacidade de geração de energia hidrelétrica do País; e o segundo em 2005 para um grupo complementar de bacias com usinas hidrelétricas. Os diagnósticos mensais foram, respectivamente, de 1931 a 2001, e de 1931 a 2003, além de projeções até 2010. Foram abordados os seguintes usos: urbano, rural, criação animal, indústria e irrigação. Os títulos completos dos estudos foram *Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água nas Principais Bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN* e *Estimativa das Vazões para Atividades de Uso Consuntivo da Água em Bacias do Sistema*

### *Interligado Nacional – SIN.*

Nesses estudos do ONS, os métodos foram desenvolvidos por município cobrindo quase todo o Brasil, com a posterior alocação espacial em bacias e a montante de AHes. Assim, a aplicabilidade das metodologias consolidadas e das bases de dados extrapolaram o escopo original, sendo referência para estudos posteriores.

Além das estimativas setoriais, o ONS estimou nesses trabalhos 12 valores médios mensais de altura de evaporação líquida, para cada aproveitamento hidrelétrico avaliado, gerados pelo programa Sistema para Cálculo da Evaporação Líquida para os Reservatórios do Sistema Elétrico Brasileiro (SisEvapo) (ONS, 2003b; 2004). Ou seja, a metodologia considerou os reservatórios do setor e taxas fixas de evaporação, baseadas em normais ou médias climatológicas, aplicando-as às áreas observadas diária ou mensalmente dos reservatórios. No subsistema Nordeste, entretanto, os valores mensais foram determinados por balanço hídrico devido a inconsistências dos resultados do método operacionalizado pelo SisEvapo, conforme expresso na Nota Técnica ONS nº 074/2003 – Vetores de Evaporação Líquida para o Subsistema Nordeste.

Os resultados das estimativas de usos a montante de aproveitamentos hidrelétricos (estudos do ONS) foram formalizados pela ANA em nove Resoluções emitidas em 2004 e em 2007 (nº 209/2004, nº 210/2004, nº 211/2004, nº 212/2004, nº 213/2004, nº 214/2004, nº 215/2004, nº 216 e nº 096/2007), recentemente substituídas pelas Resoluções ANA nº 92/2021 e nº 93/2021 que formalizaram a BD-Usos em recorte para aplicações pelo setor elétrico.

Cabe ressaltar que manuais de procedimentos para a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, tanto na esfera federal quanto das unidades federativas, também buscaram consolidar coeficientes técnicos de uso da água como referência para análise de pedidos de regularização, a exemplo das edições da ANA (2013a) e do Paraná (SUDERHSA, 2006).

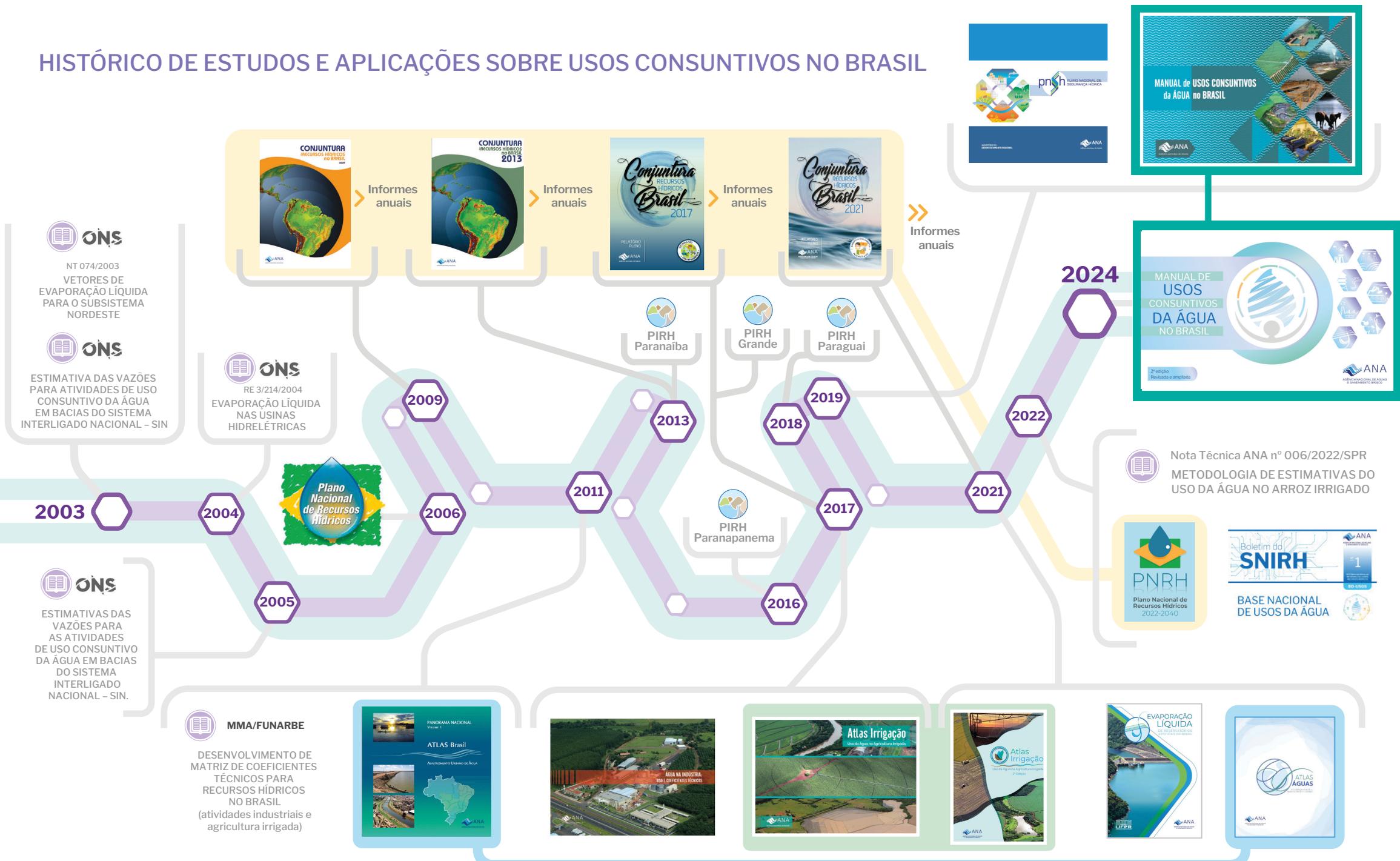
Em 2011, a Fundação de Apoio à Universidade Federal de Viçosa (Funarbe) concluiu para o MMA o estudo *Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil*, especificamente para as atividades industrial e agricultura irrigada, revisitando metodologias e procedimentos nacionais e internacionais. Para a irrigação, a metodologia proposta foi similar a dos trabalhos do ONS (2003; 2005). Para a indústria foram levantados diversos intervalos de coeficientes técnicos por unidade produzida, entretanto, com baixa aplicabilidade para estimar demandas efetivas pela ausência de dados detalhados e abrangentes

de produção industrial, assim como a dificuldade de compatibilização de unidades de medida para algumas atividades.

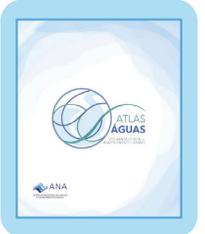
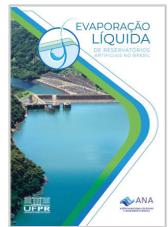
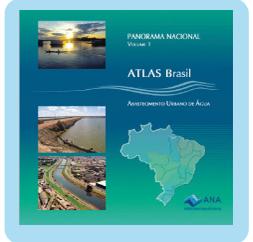
Na ANA, os primeiros levantamentos de demandas em escala nacional foram consolidados a partir de 2002 para o documento base de referência para o Plano Nacional de Recursos Hídricos, posteriormente desenvolvido até sua aprovação em 2006. Novos aprimoramentos das estimativas ocorreram para o primeiro Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2009) e nos Informes e Relatórios de Conjuntura subsequentes. Notas Técnicas e Planos de Recursos Hídricos de Bacias Interestaduais elaborados pela ANA também realizaram estimativas de usos partindo do conhecimento existente e procurando aprimoramentos, destacando-se os mais recentes PRH Paranaíba, PIRH Paranapanema, PIRH Grande e PIRH Paraguaçu. Publicações setoriais foram sendo desenvolvidas, tais como Atlas Brasil: abastecimento urbano de água (2011), Água na Indústria: uso e coeficientes técnicos (2017) e Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (2017).

O Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil apresenta o panorama da situação e da gestão das águas no Brasil, incluindo as atualizações e estudos sobre os usos. O Relatório Pleno é publicado a cada quatro anos (desde 2009) – a edição 2021 integra o PNRH 2022-2040 – e os informes anuais atualizam as principais informações nos anos entre relatórios.

# HISTÓRICO DE ESTUDOS E APLICAÇÕES SOBRE USOS CONSUNTIVOS NO BRASIL



**MMA/FUNARBE**  
DESENVOLVIMENTO DE MATRIZ DE COEFICIENTES TÉCNICOS PARA RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL  
(atividades industriais e agricultura irrigada)



Em 2019, a ANA lançou a primeira edição do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil, que consolidou e aprimorou as metodologias disponíveis, em escala nacional, reunindo os estudos anteriores e iniciativas internacionais aplicáveis à realidade brasileira. Além dos aprimoramentos em bases de dados e métodos, o Manual captou a dinâmica de crescimento dos usos das primeiras décadas do século XXI, quando houve o maior crescimento da história, além de realizar projeções futuras.

A primeira edição do Manual e da BD-Usos foi então adotada no Plano Nacional de Segurança Hídrica – PNSH (ANA, 2019). Uma segunda edição da BD-Usos foi concluída ainda em 2019 com atualizações pontuais e incorporação de novos estudos, além da atualização para a base hidrográfica ottocodificada (BHO) 2017 5K – sendo aplicada em estudos de planejamento e para análise de outorgas na ANA e por instituições parceiras.

A terceira edição da BD-Usos foi concluída em 2021, sendo a base do relatório pleno de Conjuntura 2021, que integra o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) 2022-2040. Essa edição foi também divulgada em 2022 por meio do 1º Boletim do SNIRH, com a extensão das projeções de 2030 para 2040 e incorporação de resultados de três estudos nacionais lançados pela ANA em 2021: Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada (2ª ed.), Atlas Águas: segurança hídrica do abastecimento urbano (2ª ed.) e Evaporação Líquida de Reser-

vatórios Artificiais no Brasil. Essa edição também incorporou os resultados da Nota Técnica ANA nº 006/2022 sobre a revisão da metodologia e dos coeficientes técnicos para estimativas de uso da água pelo arroz irrigado por inundação.

Esta 2ª edição do Manual de Usos apresenta e consolida a quarta edição da BD-Usos, somando às melhorias da terceira edição a complementação de dados até o ano-diagnóstico 2022, melhorias de alocação espacial, preenchimento e interpolação de dados e novas projeções até 2040. Além dos dados de entrada das estimativas, foram executadas melhorias em métodos que serão exploradas ao longo da publicação.

## Escopo do Manual de Usos

O Manual de Usos investigou os métodos e bases de dados até então adotados no Brasil e internacionalmente, propondo mudanças expressivas para refinamento das demandas hídricas, em todos os usos considerados. A estimativa do uso da água é um desafio, especialmente considerando a escala espacial (nacional, por município) e temporal (mensal, de 1931 a 2040).

Inventários de medições de uso da água são escassos no Brasil, mesmo na escala de um único município ou de uma pequena bacia hidrográfica. O inventário de cadastros e outorgas (autorizações) de uso da água é

útil para diversas aplicações, mas também não garante precisão quanto aos volumes efetivamente utilizados, visto que o valor outorgado tende a um limite máximo de abastecimento, a exemplo de uma indústria operando com 100% da capacidade instalada ou de um município que visa atender sua crescente população em um horizonte futuro. As vazões médias efetivas tendem a ser inferiores, especialmente para médios e grandes usuários.

Adicionalmente, a maior parte das outorgas é emitida pelos Estados e o Distrito Federal, que estão em diferentes estágios de implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, ou seja, com diferentes níveis de cobertura e consistência das outorgas e do cadastro frente ao universo de usuários.

Com isso, o monitoramento indireto dos usos efetivos da água, padronizado metodologicamente para todo o Brasil, emerge como crucial para diversas aplicações, inclusive para monitoramentos dos próprios cadastros de usuários. No desenvolvimento desse estudo, foram analisados os métodos e as bases de dados utilizadas em trabalhos anteriores, incorporando os procedimentos considerados relevantes e propondo avanços consequentes da disponibilidade de novas bases de dados e de progressos tecnológicos para o processamento de informações. Dentre esses estudos prévios destacam-se, em escala nacional, os primeiros levantamentos elaborados para o Plano Nacional de Recursos

Hídricos (ANA, 2005; Brasil, 2006) e para o primeiro relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2009), além de importantes esforços de estimativas de usos da água conduzidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2003; 2005) e pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA (Brasil, 2011), além de estudos setoriais e Planos de Recursos Hídricos, conforme abordado no item anterior.

Quanto às bases de dados para aplicação de coeficientes, novas fontes e tipos de dados também foram pesquisados e adotados, sempre na busca constante de aprimoramento do resultado final, que retrata as ações humanas intervenientes na demanda hídrica e, conseqüentemente, no balanço hídrico nacional. Bases de dados históricas também foram recuperadas em documentos analógicos, revistas, consistidas e preenchidas utilizando critérios técnicos atuais. Esses critérios incluíram maior precisão na agregação e desagregação de dados municipais, acompanhando a evolução da malha territorial brasileira, que passou por profundas transformações no período analisado.

Quanto aos métodos, nesse estudo foram investigados os coeficientes técnicos disponíveis na literatura e sua aderência aos dados disponíveis, resultando em revisões expressivas de coeficientes até então adotados. No caso da indústria, do abastecimento urbano, da irrigação e da evaporação de reservatórios, que respondem por mais de 95% do uso da água no País, o Manual

## LÓGICA DAS ESTIMATIVAS



apresenta coeficientes e métodos inéditos, com elevado grau de detalhamento.

Para fins de apresentação dos resultados, o diagnóstico tem como ano-base 2022, e o prognóstico o horizonte 2040 – compatível com o PNRH 2022-2040. As séries de vazões de usos consuntivos foram geradas em consonância com a evolução da malha municipal, tendo como insumo as variáveis que influenciam as demandas, selecionadas por sua disponibilidade e representatividade, bem como as matrizes de coeficientes técnicos e outras informações associadas. A base territorial da maior parte das informações é o município. A modelagem dos dados municipais em microbacias também foi aprimorada e é apresentada no Capítulo 9.

O Manual apresenta a maior parte das estimativas na unidade metro cúbico por segundo ( $m^3/s$ ).  $1 m^3$  equivale a 1.000 litros. A unidade “por segundo” não significa que a vazão é utilizada continuamente, mas representa uma média dentro da escala temporal analisada (hora, dia, mês, ano), podendo haver flutuações para mais e para menos na vazão de operação, incluindo períodos de suspensão da operação. A sazonalidade do uso é notadamente importante na agricultura irrigada, em algumas agroindústrias, na evaporação líquida de reservatórios e na termoelectricidade – setores mais dependentes da variabilidade climática.

## CONVERSÃO DE UNIDADES

MULTIPLICAR	POR	PARA OBTER
metro(s) cúbico(s)	1.000	litro(s)
metro(s) cúbico(s) por segundo ( $m^3/s$ )*	3.600	metro(s) cúbico(s) por hora ( $m^3/hr$ )
	31.536.000 ou 31.622.400 (ano bissexto)	metro(s) cúbico(s) por ano ( $m^3/ano$ )
	3.600.000	litros(s) por hora (L/hr)
	86.400.000	litro(s) por dia (L/dia)
	86.400.000 x (nº de dias no mês)	litro(s) por mês (L/mês)
	31.536.000.000 ou 31.622.400.000 (ano bissexto)	metro(s) cúbico(s) por ano ( $m^3/ano$ )
Hectare (ha)	10.000	metro(s) quadrado(s) ( $m^2$ )
	0,01	quilômetro quadrado ( $km^2$ )
	2,47105	acres (ac)
Milímetro(s) (mm)(por dia, mês, ano etc.)	1	litro(s) por $m^2$ (por dia, mês, ano etc.)
	0,001	metro(s) cúbico(s) por $m^2$ (por dia, mês, ano etc.)

## PANORAMA DOS USOS

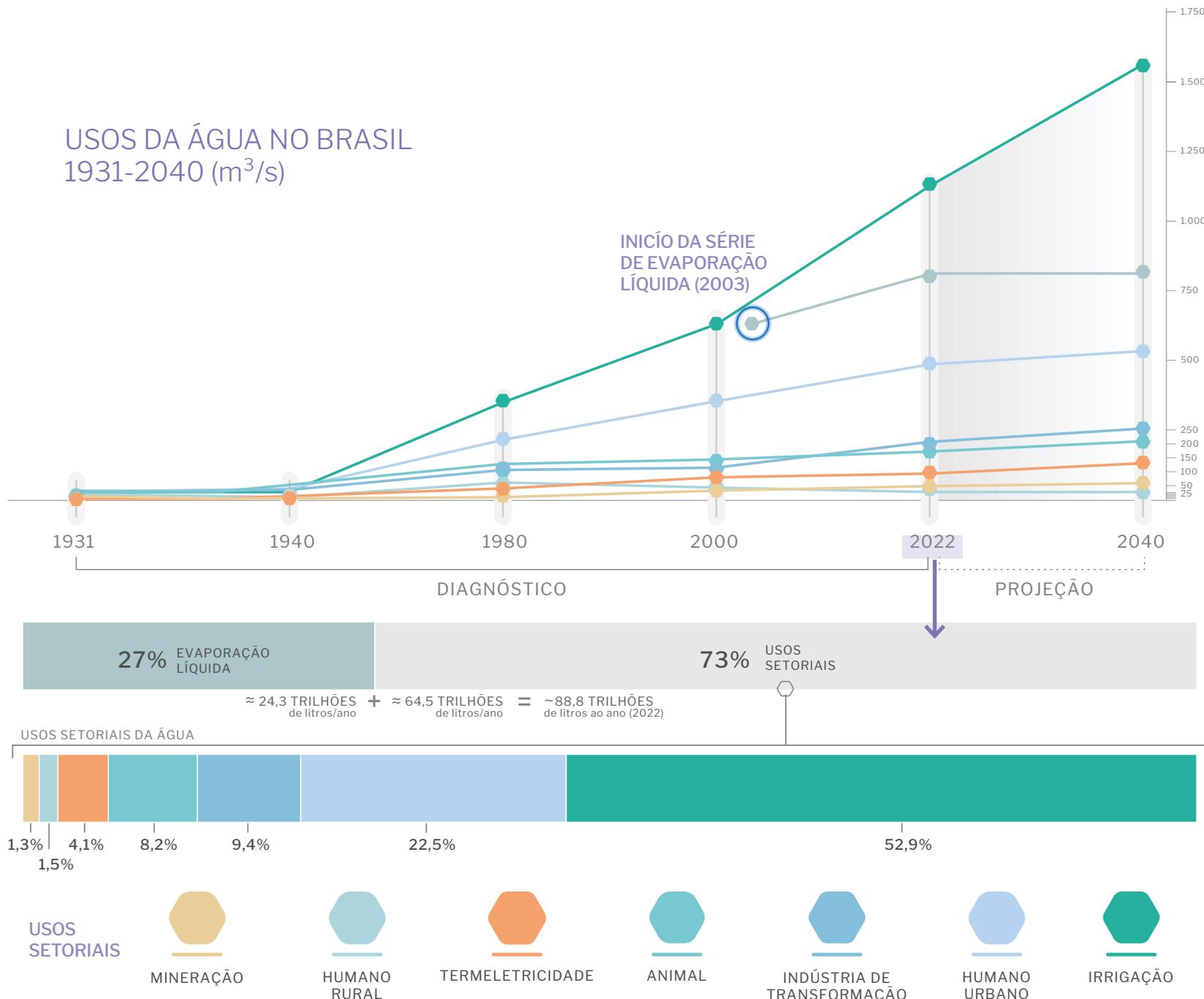
Atualmente, a retirada total de água no Brasil é de 88,8 trilhões de litros ao ano (2.816 m<sup>3</sup>/s) – 27% de evaporação líquida e 73% por setores específicos (usos setoriais). Dentre os setores, a agricultura irrigada, o abastecimento urbano e a indústria de transformação somam cerca de 85% do total.

A evolução dos usos da água foi expressiva nas últimas décadas – a retirada para os usos setoriais expandiu em 550 bilhões de litros médios anuais entre 1940 e 1980, acelerando para 830 bilhões entre 1980 e 2000 e para 1 trilhão e 30 bilhões entre 2000 e 2021.

Mesmo com a menor retomada das atividades econômicas na década 2011-2020, somada aos impactos da pandemia da COVID-19, estima-se expressivo incremento dos usos de 1 trilhão e 166 bilhões de litros ao ano até 2040 – expansão de 30% das retiradas em relação a 2022.

Os Capítulos 2 a 8 detalham, para cada categoria de uso, as etapas e critérios da estimativa atual de uso da água, além de principais resultados. O Capítulo 9 apresenta a síntese integrada dos resultados e exemplos de aplicações do Manual de Usos e da BD-Usos no planejamento e na gestão dos recursos hídricos brasileiros.

## USOS DA ÁGUA NO BRASIL 1931-2040 (m<sup>3</sup>/s)



# ABASTECIMENTO HUMANO

## Introdução

A Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997) reconhece o abastecimento humano e a dessedentação animal como usos prioritários em situações de escassez. O abastecimento engloba o uso doméstico ou residencial (urbano e rural) e nos setores comercial e de serviços.

Além de sua importância como o segundo maior uso do País, o abastecimento urbano ocorre de forma concentrada no território, acarretando em crescente pressão sobre os sistemas produtores de água. As crises hídricas em mananciais de abastecimento, como as enfrentadas na última década nas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, assim como pelo Distrito Federal, ampliaram a discussão sobre a segurança hídrica de áreas de concentração populacional abastecidas por sistemas complexos.

A demanda de abastecimento rural, por outro lado, vem decrescendo nacionalmente em função da retração da população no campo. Entretanto, ainda responde pelo abastecimento de cerca de 30 milhões de pessoas, que muitas vezes se concentram

em regiões de baixa disponibilidade hídrica.

Estudos realizados anteriormente foram desenvolvidos, de forma geral, com base em métodos semelhantes entre si, variando de acordo com a disponibilidade de dados. Aplicou-se, sobretudo, levantamentos ou estimativas de população e coeficientes de uso per capita (litros por habitante por dia) como variável explicativa para as estimativas. A diferença entre os métodos varia principalmente pela forma como foram calculados esses dados (população e coeficientes) e no nível de desagregação territorial (Brasil, Estados, municípios).

Importante fonte anual de dados, o Sistema Nacional de Informações em Saneamento (SINISA, antes denominado SNIS) foi implementado em 1995. Trata-se de um sistema de coleta, tratamento, consolidação e disponibilização de informações dos sistemas de água, esgoto, águas pluviais e resíduos sólidos. O SINISA vem evoluindo sua cobertura e abarca atualmente cerca de 98% dos municípios brasileiros e 99% da população urbana com informações sobre água (Brasil, 2023).



2

## Método e Base de Dados

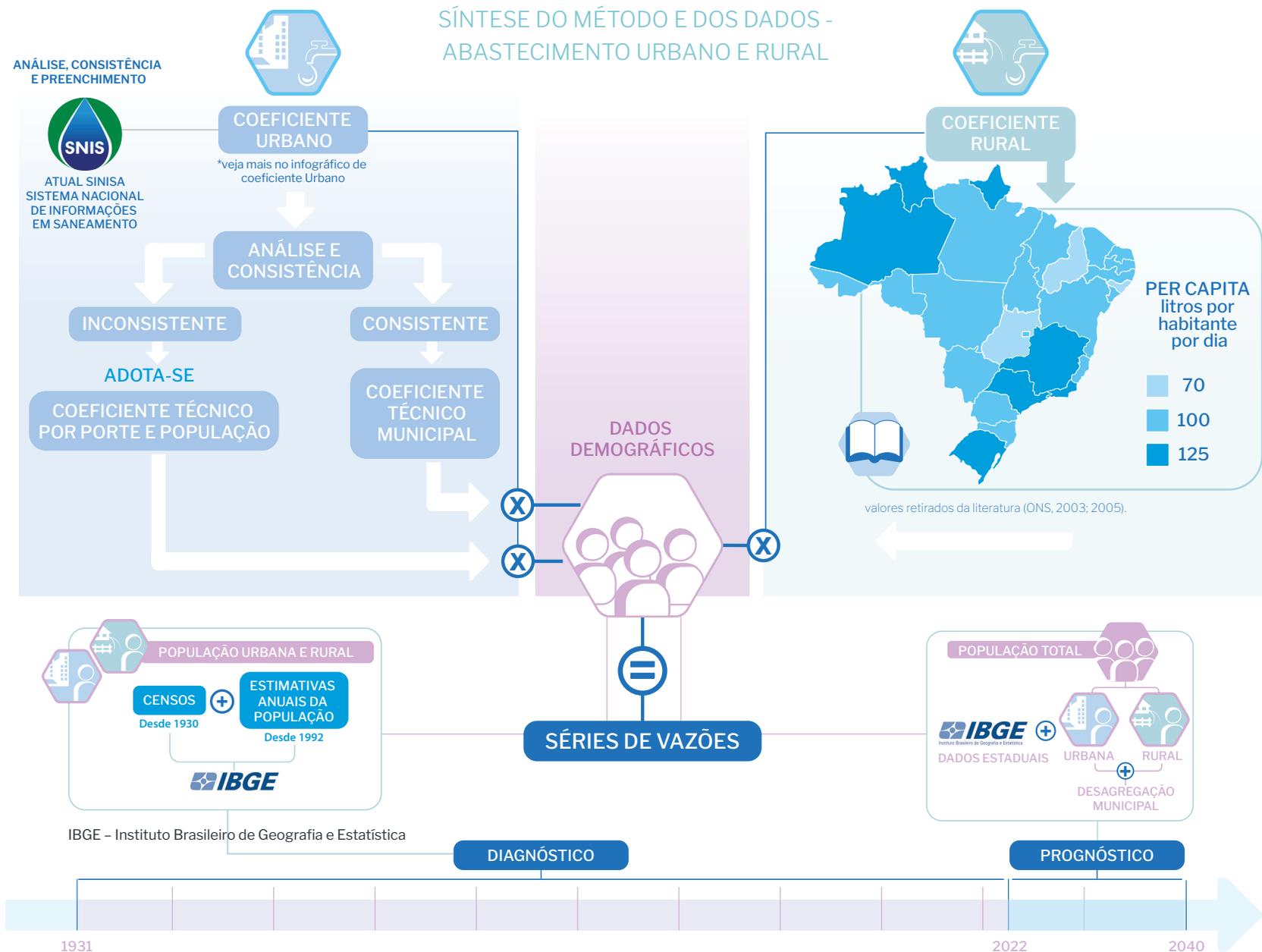
O método para estimativa do abastecimento urbano baseia-se na aplicação de coeficientes técnicos às contagens e estimativas populacionais. O Manual de Usos adota dados municipais para ambas as variáveis, a partir de critérios de consistência, preenchimento e interpolação de dados.

Os coeficientes urbanos são gerados a partir do tratamento de dados inventariados no SINISA, e a população (urbana e rural) a partir das contagens e estimativas oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

O SINISA disponibiliza anualmente informações gerais de água e esgotos, além de indicadores operacionais. As informações gerais dizem respeito aos valores brutos obtidos na operação das prestadoras. Denotados com o prefixo “AG” para informações pertinentes à operação de água, estes valores são utilizados de maneira combinada para obtenção de indicadores operacionais (“IN”).

As informações e indicadores, com suas respectivas descrições, que são utilizados para geração ou análise de consistência dos coeficientes de uso da água municipais são apresentados nas próximas páginas, assim como o infográfico que detalha o tratamento dessas informações. A utilização de infor-

## SÍNTESE DO MÉTODO E DOS DADOS - ABASTECIMENTO URBANO E RURAL



mações desagregadas do SINISA para a definição de coeficientes urbanos per capita amplia a sua aplicabilidade e confiabilidade para estimativas no Manual.

Diferente de outros usos, no abastecimento humano urbano os valores de retirada são estimados a partir de outros dois indicadores: o uso per capita (água que potencialmente chega aos usuários) e as perdas nas redes de distribuição (água perdida entre a captação e o usuário final). O uso corresponde aos volumes distribuídos que efetivamente são disponibilizados aos habitantes (volumes hidrometrados nas residências + volumes estimados para habitantes sem medição). A perda corresponde a parcela do volume de retirada que não é convertido em uso, decorrente potencialmente de falhas e vazamentos na rede de distribuição (perda física), mas que também pode incorporar parcelas de perda aparente (água usada, mas não contabilizada por falhas de medição ou ligações clandestinas).

Para obtenção dos indicadores municipais de uso e de perdas, a primeira verificação dos dados do SNIS visa garantir a representatividade da amostra: a hidrometração (IN009) deve ser superior a 50%, garantindo que os dados informados pelo prestador tenham parcela maior de medição do que de

estimativa; o atendimento urbano de água (IN023) deve cobrir mais de 80% da população do município, garantindo boa representatividade do coeficiente; e a participação das economias residenciais (IN043) deve ser superior a 70%, diminuindo a influência dos setores comercial e de serviços e algumas indústrias de menor porte que possam impactar de forma mais expressiva os valores municipais.

Para os municípios que atendem aos critérios, os valores de uso per capita e perda são calculados (Equações 2.1A e 2.2), verificando se os valores são consistentes com os limites mínimo e máximo estabelecidos.

Para os municípios que não atenderam aos critérios anteriores, é avaliado o uso do IN022 (Equação 2.1B) como indicador de uso per capita (consumo médio per capita de água, calculado pelo SINISA).

Após essas etapas de análise, concluiu-se que para 85% dos municípios brasileiros, abrangendo cerca de 95% da população urbana, foram obtidos indicadores do próprio município, sem a necessidade de adotar coeficientes teóricos ou médios (do Estado ou do prestador).

Para preenchimento dos dados de uso per capita e/ou perda média dos municípios

que não informaram dados ao SNIS ou não atenderam aos critérios de consistência, foi elaborada, com base nos municípios com dados, uma tabela de referência. Essa matriz agrupa os indicadores por faixa populacional e grupos de UFs com características similares de uso e de perdas.

Com os dados completos, por município, de uso per capita e de perdas, a retirada de água para abastecimento urbano é calculada conforme apresentado na Equação 2.3.

Cabe registrar que os coeficientes obtidos são representativos das populações atendidas pela rede pública de distribuição de água. Entretanto, para estimativa da demanda, foi considerada a população urbana total, assumindo que a demanda e as perdas per capita das populações não atendidas pela rede são iguais às da população atendida. Ademais, registra-se que cerca de 95% da população urbana brasileira era atendida por rede em 2022.

Quanto aos coeficientes de consumo e de retorno, na presente publicação o retorno corresponde a 80% da retirada, com base na recomendação da NBR 9649 da ABNT. Assim, o consumo corresponde a 20% da retirada. Retorno e consumo são, então, calculados conforme as Equações 2.4 e 2.5.

Destaca-se, por outro lado, que a desagregação dos coeficientes municipais em uso per capita e perdas permite que, para diferentes aplicações, sejam adotados percentuais de consumo/retorno diferenciados. Na geração de efluentes, por exemplo, as perdas na rede de distribuição não possuem impacto expressivo na qualidade da água e o consumo pode ser calculado apenas sobre a água que chega aos usuários e, portanto, é parcialmente convertida em efluente.

INFORMAÇÕES E INDICADORES DISPONIBILIZADOS PELO SINISA,  
RELEVANTES PARA A ESTIMATIVA DE COEFICIENTES PER CAPITA

## ➤ AG001

**População total atendida com abastecimento de água (Habitantes)**

Valor da população total atendida com abastecimento de água pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população urbana que é efetivamente atendida com os serviços acrescida de outras populações atendidas localizadas em áreas não consideradas urbanas. Essas populações podem ser rurais ou mesmo com características urbanas, apesar de estarem localizadas em áreas consideradas rurais pelo IBGE. Caso o prestador de serviços não disponha de procedimentos próprios para definir de maneira precisa essa população, o mesmo poderá estimá-la utilizando o produto da quantidade de economias residenciais ativas de água, multiplicada pela taxa média de habitantes por domicílio do respectivo município

## ➤ AG002

**Quantidade de ligações ativas de água (Ligações)**

Quantidade de ligações ativas de água à rede pública, providas ou não de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.

## ➤ AG003

**Quantidade de economias ativas de água (Economias)**

Quantidade de economias ativas de água, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.

## ➤ AG004

**Quantidade de ligações ativas de água micro medidas (Ligações)**

Quantidade de ligações ativas de água, providas de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.

## ➤ AG006

**Volume de água produzido (1.000 m<sup>3</sup>/ano)**

Volume anual de água disponível para consumo, medido ou estimado na (s) saída (s) da (s) ETA (s) ou UTS (s). Inclui tam-

bém o volume de água captada pelo prestador de serviços ou de água bruta importada (AG016), que seja disponibilizado para consumo sem tratamento, medido na (s) respectiva (s) entrada (s) do sistema de distribuição. Esse volume pode ter parte dele exportada para outro (s) municípios (s) atendido (s) ou não pelo mesmo prestador de serviços.

## ➤ AG008

**Volume de água micro medido (1.000 m<sup>3</sup>/ano)**

Volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações ativas de água. Não deve ser confundido com o volume de água consumido, identificado pelo código AG010, pois nesse último incluem-se, além dos volumes medidos, também aqueles estimados para os usuários de ligações não medidas.

## ➤ AG010

**Volume de água consumido (1.000 m<sup>3</sup>/ano)**

Volume anual de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micro medido (AG008), o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado (AG019) para outro prestador de serviços.

## ➤ AG013

**Quantidade de economias residenciais ativas de água (Economias)**

Quantidade de economias residenciais ativas de água, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.

## ➤ AG014

**Quantidade de economias ativas de água micro medidas (Economias)**

Quantidade de economias ativas de água, cujas respectivas ligações são providas de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.

## ➤ AG018

**Volume de água tratada importado (1.000 m<sup>3</sup>/ano)**

Volume anual de água potável, previamente tratada em ETA (s) ou em UTS (s), recebido de outros agentes fornecedores. Não deve ser computado nos volumes de água produzido (AG006)

## ➤ AG019

**Volume de água tratada exportado (1.000 m<sup>3</sup>/ano)**

Volume anual de água potável, previamente tratada em ETA (s) ou em UTS (s), transferido para outros agentes distribuidores. Deve estar computado nos volumes de água consumido (AG010).

## ➤ IN009

**Índice de hidrometração (%)**

(AG004 / AG002) x 100

## ➤ IN022

**Consumo médio per capita de água (L/Hab.dia)**

((AG010 - AG019) / AG001) x 106 / 365

## ➤ IN023

**Índice de atendimento urbano de água (%)**

(População Urbana Atendida (AG026) / População Urbana Total) x 100

## ➤ IN043

**Participação das economias residenciais de água no total das economias de água (%)**

(AG013 / AG003) x 100





# COEFICIENTE URBANO - COEFICIENTES MÉDIOS PER CAPITA DE RETIRADA, USO, CONSUMO E RETORNO.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO

Atual SINISA



INDICADOR DE CONSISTÊNCIA MUNICIPAL

**IN009**

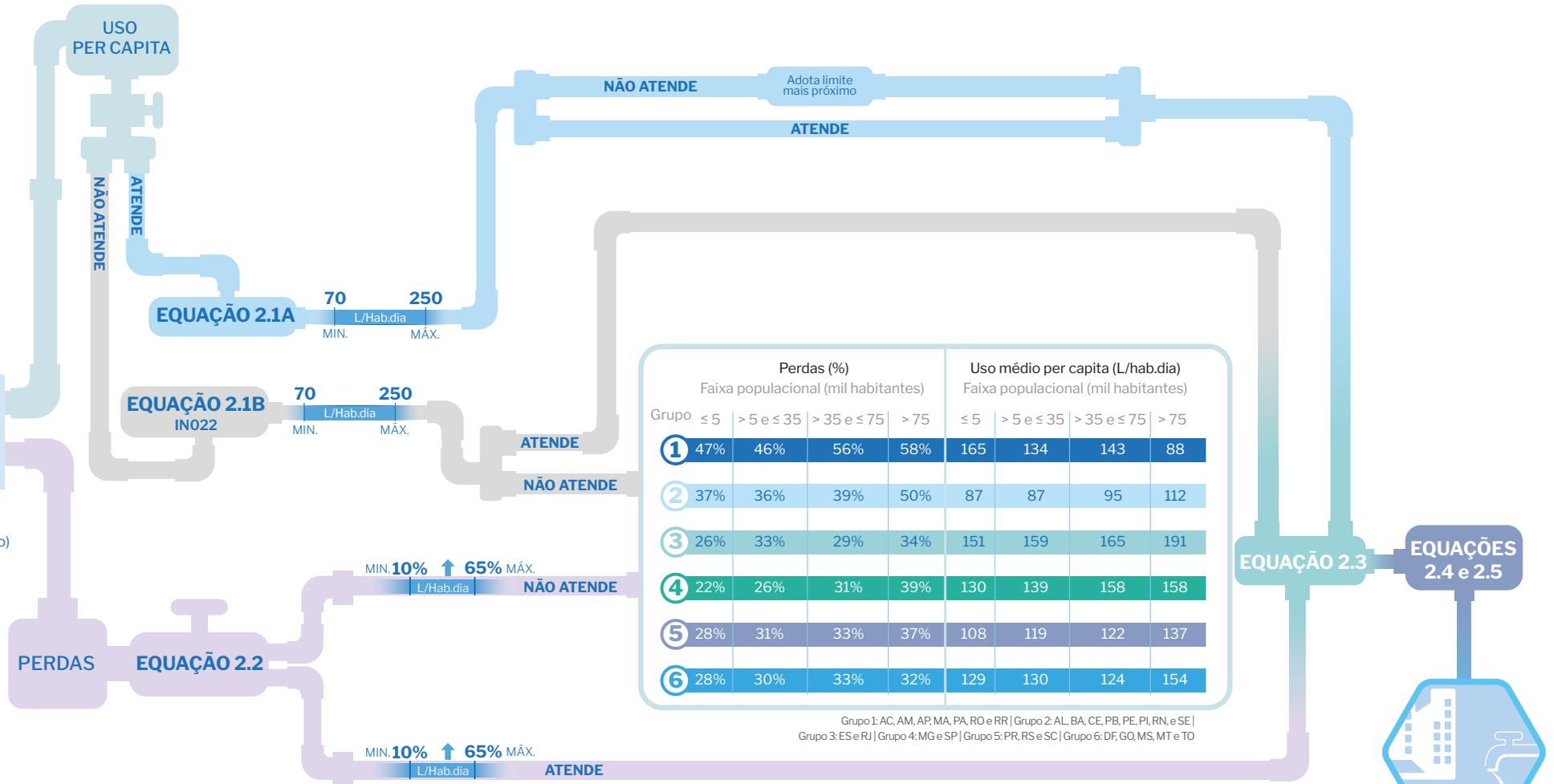
(índice de hidrometração)  $\geq 50\%$

**IN023**

(índice de atendimento urbano de água)  $\geq 80\%$

**IN043\***

(participação das economias residenciais de água no total das economias de água)  $\geq 70\%$



**EQUAÇÃO 2.1A**

Coefficiente que define o uso médio per capita, em L/Hab.dia.

$$USO_{percapita} = \{AG_{008} \div [AG_{014} \cdot (AG_{001} \div AG_{013})]\} \cdot 10^6 / 365$$

**EQUAÇÃO 2.1B IN022**

Consumo médio per capita de água em L/Hab.dia

$$CONSUMO_{percapita} = [(AG_{010} - AG_{019}) \div AG_{001}] \cdot X 10^6 / 365$$

**EQUAÇÃO 2.2**

Proporção que representa a porção captada que não é utilizada, em porcentagem.

$$PERDA_{média} = [(AG_{006} + AG_{018} - AG_{019}) - AG_{010}] / (AG_{006} + AG_{018} - AG_{019})$$

**EQUAÇÃO 2.3**

Coefficiente de retirada média per capita, em L/Hab.dia.

$$RETIRADA_{percapita} = USO_{percapita} \cdot (1 - PERDA_{média})^{-1}$$

**EQUAÇÃO 2.4**

Consumo médio per capita, em L/hab.dia.

$$CONSUMO_{percapita} = USO_{percapita} \cdot (1 - C) + (RETIRADA_{percapita} - USO_{percapita}) \cdot (1 - C)$$

**EQUAÇÃO 2.5**

Retorno per capita, em L/hab.dia.

$$RETORNO_{percapita} = (RETIRADA_{percapita} - USO_{percapita}) \cdot C + (USO_{percapita} \cdot C)$$

**C** Coeficiente de retorno (adotado C = 0,8 para vazões associadas às populações urbanas e rurais).



Quanto à demanda rural, optou-se pela estimativa com coeficientes de retirada adotados em estudos anteriores (ONS, 2003; 2005), que variam de 75 a 125 litros por habitante por dia, de acordo com a unidade da federação (UF). O consumo foi também estimado em 20% da retirada (80% de retorno).

Em função da indisponibilidade de dados em escala nacional e da incerteza em modelos de regressão relacionados ao uso da água pelas populações, os valores per capita obtidos para o diagnóstico foram utilizados nos cenários passados e futuros. Embora se espere o aumento per capita do uso da água com a modernização e o aumento da renda, por exemplo, outros fatores intervmem no processo, como o próprio aumento da eficiência (diminuição de perdas), escassez hídrica, impacto de políticas públicas e mudanças de hábito de consumo.

Para aplicações específicas e em escala de tempo e de espaço mais restritas, a análise mais detalhada dos coeficientes técnicos, a partir da metodologia do Manual, poderá ser realizada para observar eventuais tendências de variação dos coeficientes per capita.

No que tange à quantificação das populações municipais consideradas no cálculo da demanda de abastecimento humano por água, as informações para o período analisado são oriundas dos levantamentos censitários, contagens e estimativas da população divulgadas pelo IBGE, principalmente por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA.

Entre 1930 e 1991, a principal fonte de dados populacionais corresponde aos Censos Demográficos decenais. Populações municipais urbanas e rurais em anos sem dados censitários foram interpoladas a partir dos registros disponíveis.

De 1992 em diante há disponibilidade de dados anuais: contagens da população em 1996 e 2007; Censos Demográficos em 2000, 2010 e 2022; e estimativas populacionais para os demais anos. Entre os dois últimos Censos (2010 e 2022), o dados foram interpolados, em função da descontinuidade entre as estimativas anuais entre esses dois anos censitários.

Em parte dos dados das contagens e nas estimativas anuais o IBGE divulga apenas

a população total nos municípios, sendo necessária a desagregação em população urbana e rural. Para tanto, foram aplicadas as tendências observadas no município nos anos censitários de 2000 e de 2010, onde consta a divisão da população em urbana e rural. Até a conclusão do Manual, ainda não havia a distinção de população total em urbana e rural no Censo Demográfico 2022.

Para a projeção populacional futura até 2040, foram utilizadas inicialmente as taxas observadas em estimativas do IBGE por UF (IBGE, 2018). Posteriormente, foi realizada a distribuição da população de cada UF entre seus municípios componentes, considerando a tendência municipal de 2000 a 2022, com base na metodologia *mutatis-mutandi*.

Essa metodologia trata da alocação da variável desejada (população municipal) por meio do grau de participação relativa projetado de seus agregados maiores, que são: região imediata < região intermediária < UF. Assim, o grau de participação relativa de cada município no total da UF varia, ano a ano, em função da continuidade da tendência verificada de 2000 a 2022.

Estação de Tratamento de Água - ETA  
Banco de Imagens/ANA



## Resultados - Urbano

Destaca-se inicialmente que as vazões de retirada para abastecimento humano totalizaram 491 m<sup>3</sup>/s em 2022, sendo 94% no meio urbano (460,0 m<sup>3</sup>/s) e 8% no meio rural (31,2 m<sup>3</sup>/s).

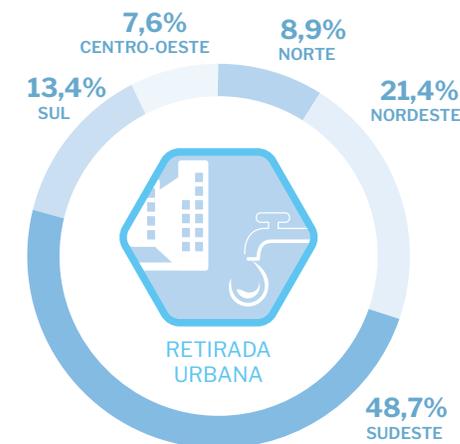
As séries de vazões de retirada de água para abastecimento urbano (1931-2040) revelam que ocorreu incremento significativo do uso a partir da década de 1950, em consonância com a movimentação da população do meio rural para as cidades. A demanda aumentou 220% entre 1980 e a atualidade.

No período recente e nas projeções futuras, nota-se a perspectiva de estabilização populacional, quando a demanda hídrica tenderá a ser mais afetada por mudanças nos sistemas de abastecimento e no padrão de consumo das famílias do que por incrementos populacionais ou fluxos migratórios. As projeções futuras indicam um crescimento de 10,5% das vazões para o abastecimento urbano, alcançando 508,2 m<sup>3</sup>/s em 2040.

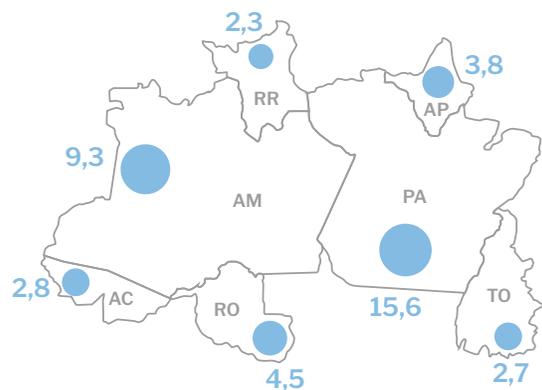
Os dados destacam a concentração do uso da água nos estados mais popu-

los, como São Paulo (26%), Rio de Janeiro (11%), Minas Gerais (17%) e Rio Grande do Sul (5%). Entre as regiões, o Sudeste concentra 49% da retirada de água para as cidades, seguido por Nordeste (21%), Sul (13%), Norte (9%) e Centro-Oeste (8%). Nesse aspecto, destaca-se o exemplo comparativo entre Norte e Centro-Oeste, onde a segunda região possui maior população, mas menor demanda, em função das menores perdas de água identificadas nos sistemas de abastecimento, embora ainda sejam altas no contexto nacional.

Vazões de retirada urbana por região (%) - 2022



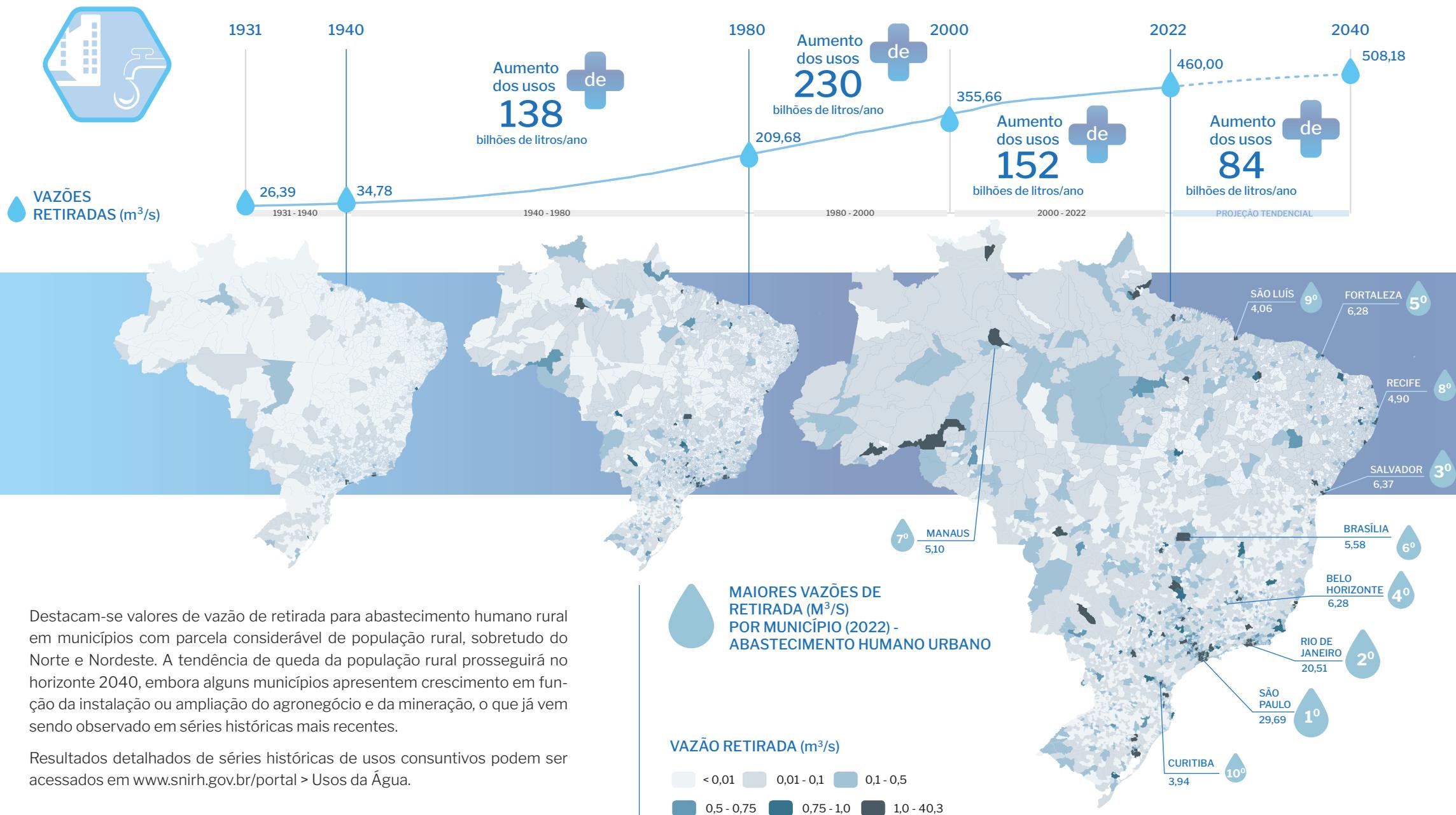
Vazões de retirada urbana por UF (m<sup>3</sup>/s)



Vazões de retirada urbana por região (m<sup>3</sup>/s)



## Séries de Vazões 1931 a 2040 - Abastecimento Humano Urbano



Destacam-se valores de vazão de retirada para abastecimento humano rural em municípios com parcela considerável de população rural, sobretudo do Norte e Nordeste. A tendência de queda da população rural prosseguirá no horizonte 2040, embora alguns municípios apresentem crescimento em função da instalação ou ampliação do agronegócio e da mineração, o que já vem sendo observado em séries históricas mais recentes.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.

## Resultados - Rural

O abastecimento do meio rural corresponde a 6% de toda a demanda para abastecimento humano. As séries de vazões de retirada (1931-2040) indicam a estabilização da demanda entre as décadas de 1960 e 1970, com valor máximo de 50 m<sup>3</sup>/s observado em 1968. Deste período até a atualidade observa-se a queda da demanda, proporcional à queda da população vivendo no campo.

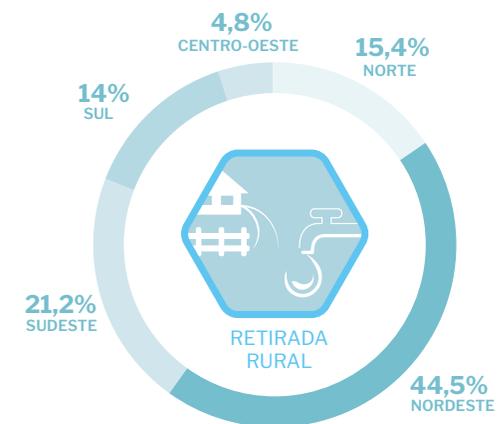
O total extraído pelo setor foi de 31,2 m<sup>3</sup>/s em 2022. As projeções futuras indicam uma queda da demanda da ordem de 9%, alcançando 28,4 m<sup>3</sup>/s em 2040.

Destaca-se a concentração da demanda da população rural no Nordeste, com 45% do total, influenciada pela concentração de pessoas vivendo em áreas de escassez contínua de água no Semiárido. Bahia

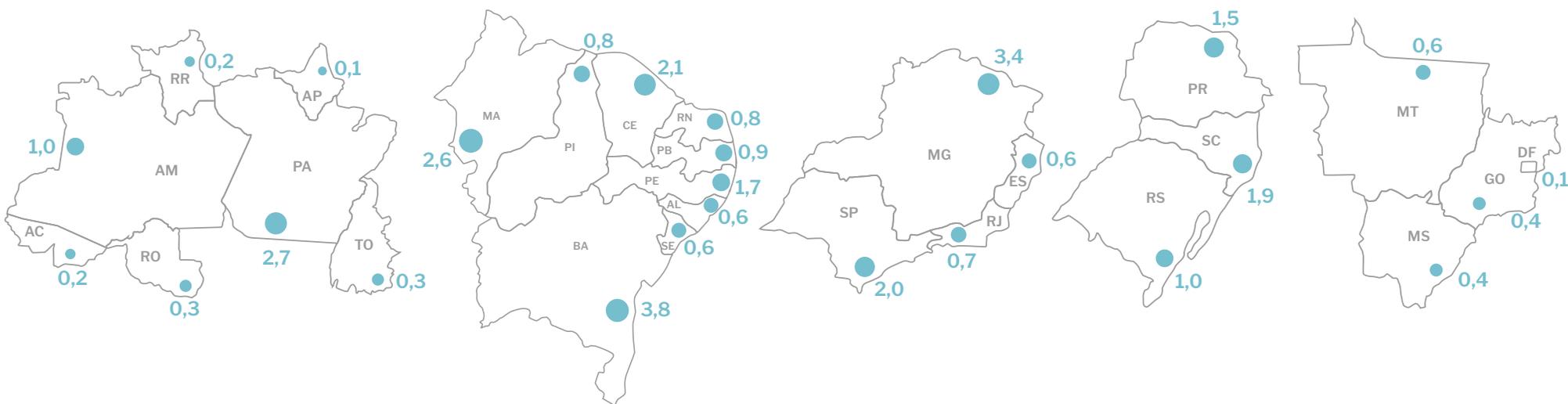
(12% do total nacional), Ceará (7%) e Pernambuco (5%) lideram a demanda rural na região.

Na sequência, destacam-se as regiões Sudeste (21% da demanda), Norte (15%), Sul (14%) e Centro-Oeste (5%).

Vazões de retirada rural por região (%) - 2022



Vazões de retirada rural por UF (m<sup>3</sup>/s)



**NORTE**  
4,8 m<sup>3</sup>/s

**NORDESTE**  
13,9 m<sup>3</sup>/s

**SUDESTE**  
6,6 m<sup>3</sup>/s

**SUL**  
4,4 m<sup>3</sup>/s

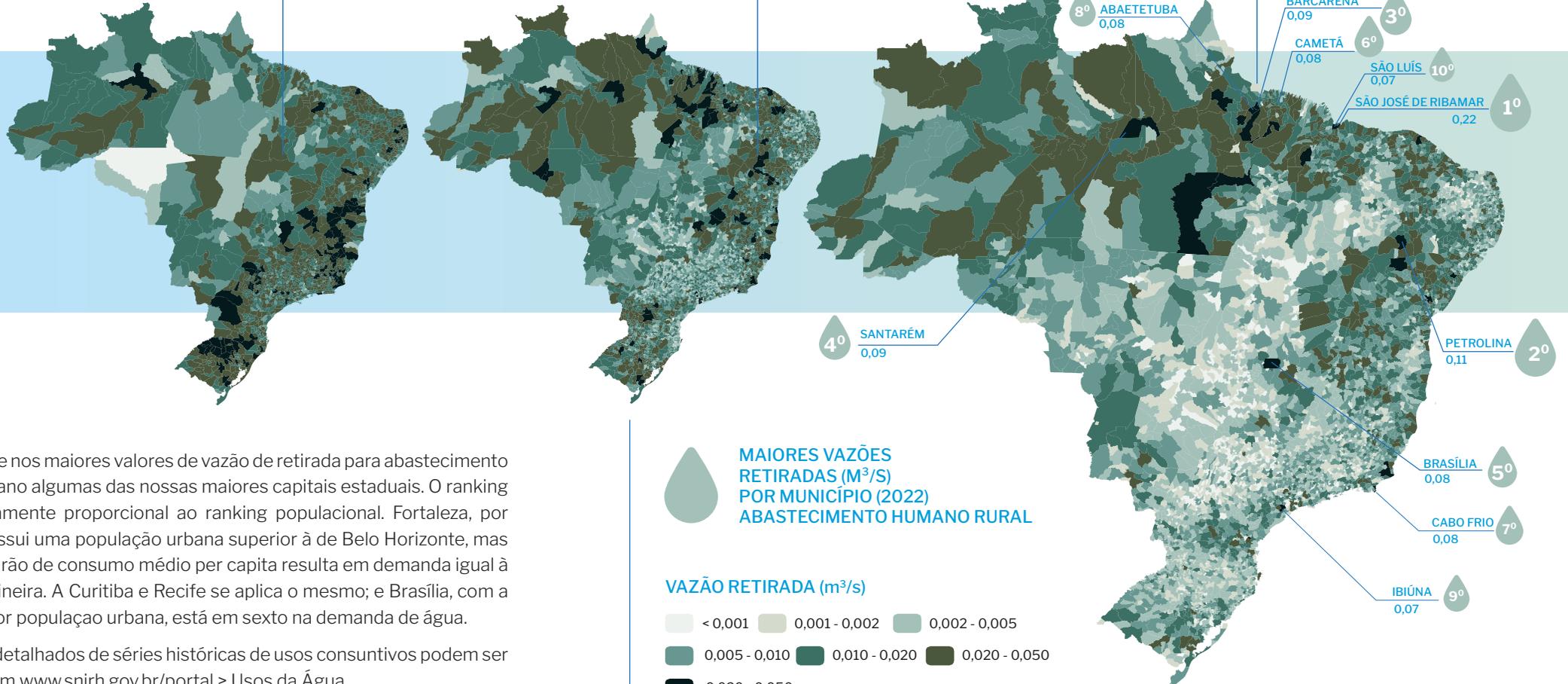
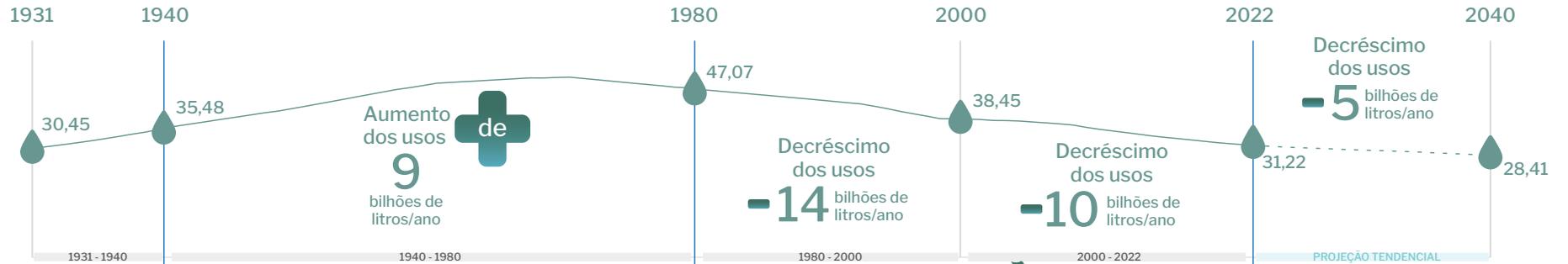
**CENTRO-OESTE**  
1,5 m<sup>3</sup>/s

Vazões de retirada rural por região (m<sup>3</sup>/s)

## Séries de Vazões 1931 a 2040 - Abastecimento Humano Rural



VAZÕES  
RETIRADAS (m<sup>3</sup>/s)



Destacam-se nos maiores valores de vazão de retirada para abastecimento humano urbano algumas das nossas maiores capitais estaduais. O ranking não é diretamente proporcional ao ranking populacional. Fortaleza, por exemplo, possui uma população urbana superior à de Belo Horizonte, mas o menor padrão de consumo médio per capita resulta em demanda igual à da capital mineira. A Curitiba e Recife se aplica o mesmo; e Brasília, com a terceira maior população urbana, está em sexto na demanda de água.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.

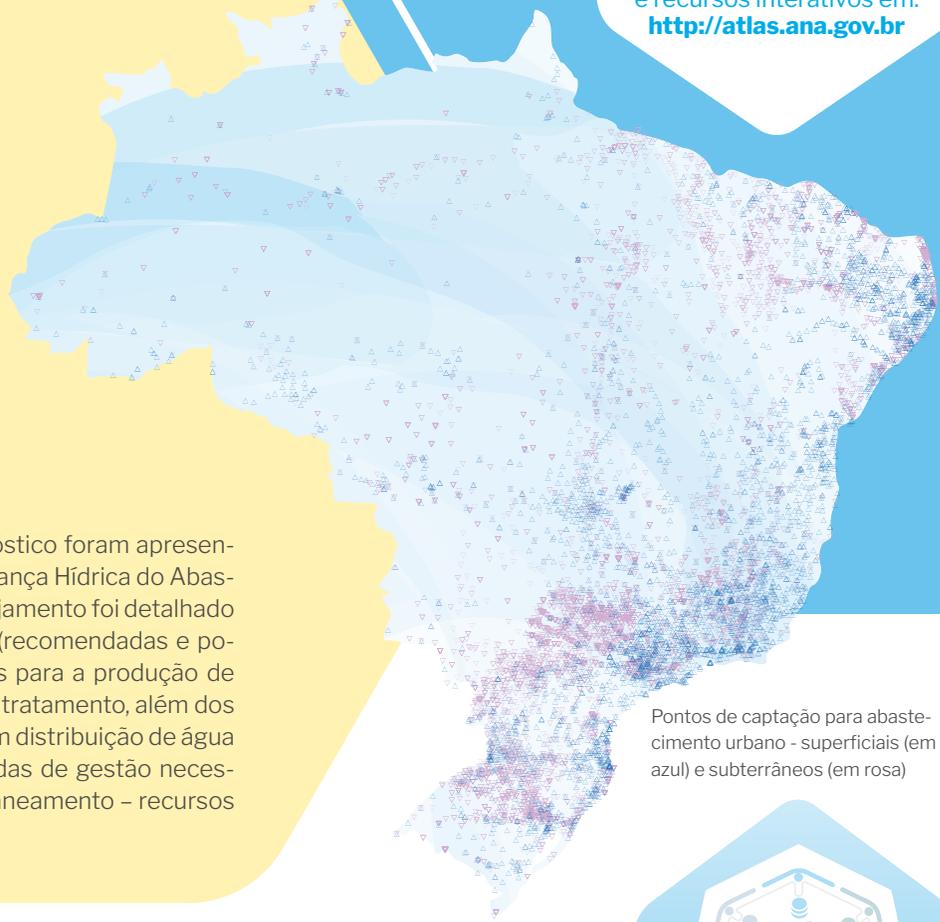


O Atlas Águas: segurança hídrica do abastecimento urbano (2021) foi elaborado pela ANA com a colaboração dos prestadores de serviço de abastecimento de água e de parceiros institucionais, atualizando e aprimorando o Atlas Brasil: abastecimento urbano de água (2010). O Atlas 2021 incorpora conceitos e ferramentas do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH), focando na dimensão específica do abastecimento de água em todas as 5.570 sedes urbanas brasileiras até 2035.

No Atlas, o diagnóstico e o prognóstico foram apresentados por meio do Índice de Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano (ISH-U). O planejamento foi detalhado pela indicação de infraestruturas (recomendadas e potenciais) e estudos de alternativas para a produção de água, que abrange da captação ao tratamento, além dos investimentos complementares em distribuição de água e reposição de ativos e das medidas de gestão necessárias, considerando a interface saneamento – recursos hídricos.



Acesse o ATLAS ÁGUAS e recursos interativos em: <http://atlas.ana.gov.br>

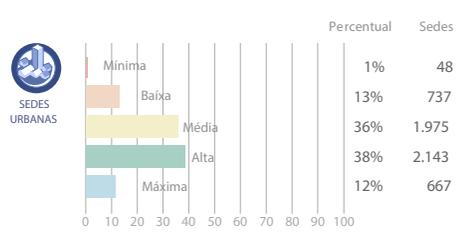
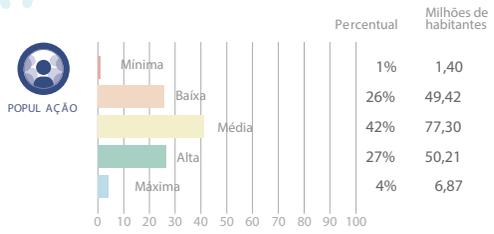


Pontos de captação para abastecimento urbano - superficiais (em azul) e subterrâneos (em rosa)

O balanço hídrico entre oferta e demandas de água nos mananciais (rios, lagos, reservatórios, aquíferos) é uma das informações mais relevantes do Atlas Águas, indicando se é possível atender, com certa margem de segurança, o volume de água requerido pela cidade, atualmente e na sua expansão. A metodologia do Manual de Usos, com dados de entrada atualizados e revisados, foi aplicada para gerar as demandas de todos os setores usuários no Atlas, permitindo o cálculo do balanço hídrico nos locais de produção de água. A demanda urbana também foi aplicada para cálculo do grau de atendimento (GAD Sistema) nas principais unidades do sistema produtor (estruturas de captação, adutoras, estações elevatórias e estações de tratamento), apontando eventuais gargalos para o abastecimento.

Os dados de entrada requeridos para o cálculo urbano com a metodologia do Manual foram validados e consistentes com os prestadores, que contribuíram com o Atlas preenchendo questionários e participando de reuniões técnicas. Por outro lado, os dados adicionais coletados pelo Atlas Águas aprimoram o Manual, pela validação cruzada com as informações do SNIS/SINISA e, principalmente, pela ampla atualização georreferenciada dos pontos de captação superficiais e subterrâneos onde a demanda da cidade pode ser atribuída.

ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA - BRASIL - 2020



MANUAL E BASE NACIONAL DE USOS CONSUNTIVOS

# INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO

## Introdução

O Brasil é um dos países mais industrializados do mundo. O enorme e variado parque industrial produz desde bens de consumo (como alimentos e roupas) a tecnologia de ponta. Além das diversas tipologias industriais, um mesmo produto pode ser feito com diferentes tecnologias e protocolos.

A água tem uma grande diversidade de aplicações no setor industrial, dependendo do tipo de produto ou serviço e processos associados. Pode ser aplicada como matéria-prima; reagente e solvente de substâncias sólidas, líquidas e gasosas; na lavagem e retenção de materiais contidos em misturas; como veículo de suspensão; e em operações envolvendo resfriamento e transmissão de calor.

Historicamente, grande esforço tem sido empreendido nas estimativas de uso da água para o setor industrial. Com a escassez de inventários de medição, as estimativas indiretas surgem como alternativa necessária. Nesse estudo, a disponibilidade de microdados sobre trabalhadores na indústria motivou a construção de uma matriz

de coeficientes técnicos que expressa as relações de uso da água nas diferentes tipologias analisadas.

Ressalta-se que estimativas com base em produção física são utilizadas em escala local ou de planta no setor industrial. Há entretanto, uma série de desafios na obtenção e desagregação espacial de dados de produção, para todos os produtos e em todo o País. Além disso, obter coeficientes técnicos representativos também é desafiador.

No estudo *A indústria na bacia do Rio Paranapanema: uso da água e boas práticas* (ANA, 2020), buscou-se avançar no conhecimento de coeficientes com base em produção física, cujos resultados reiteraram a consistência de estimativas para fins de planejamento também adotando o número de trabalhadores.

Para aprimorar a caracterização nacional do uso da água a ANA publicou o estudo *Água na Indústria: uso e coeficientes técnicos* (ANA, 2017), que detalha a metodologia empregada e que prossegue sendo a referência para essa edição do Manual de Usos.



# 3

SÍNTESE DO MÉTODO E DOS DADOS - INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO

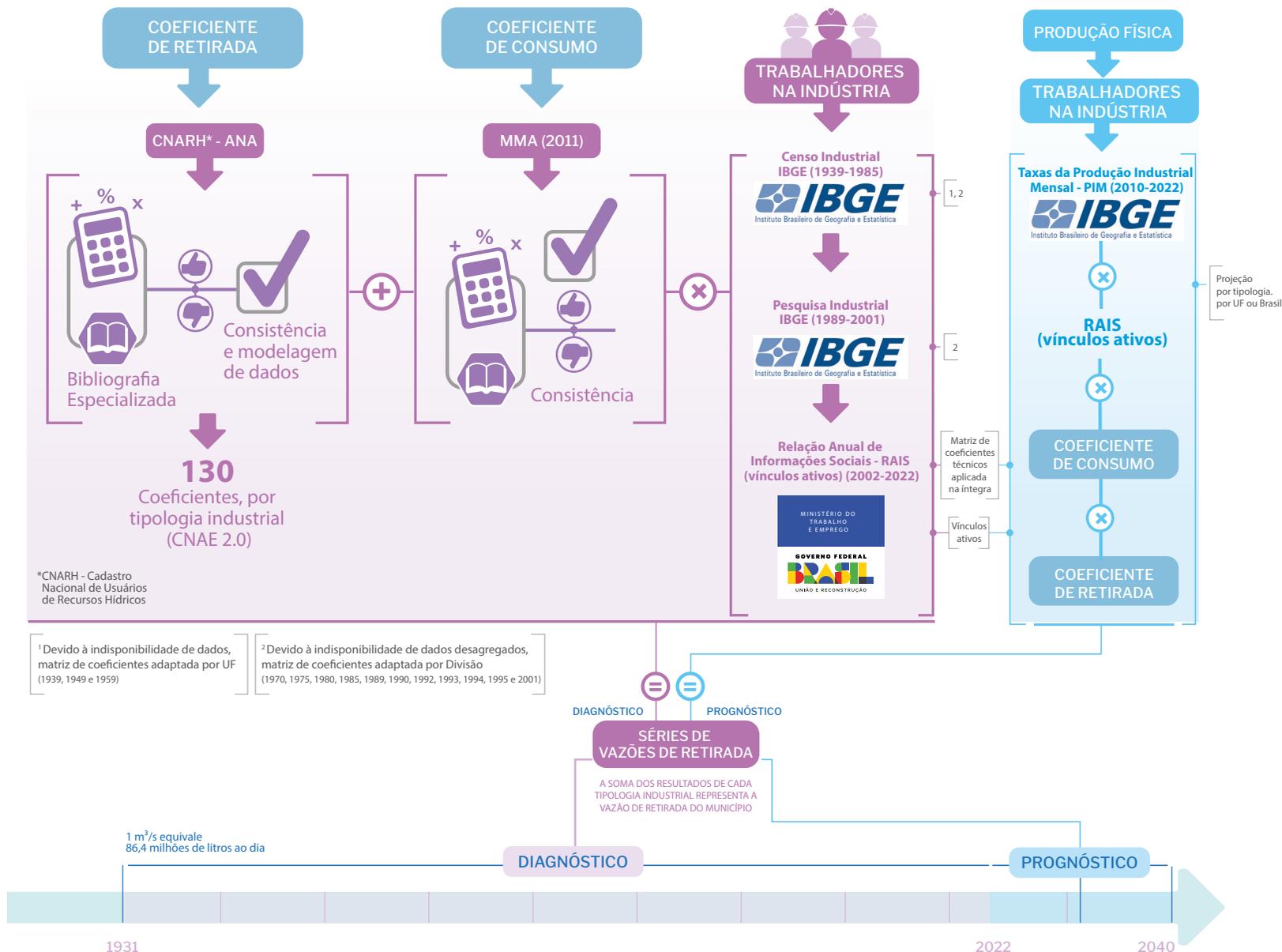
Método e Base de Dados

O infográfico ao lado apresenta uma síntese do método e das bases de dados para estimativa do uso da água na indústria de transformação.

O método proposto baseou-se na disponibilidade de dados de número de empregados, por tipologia industrial, ao longo das décadas. Ao número de empregados é associada uma matriz de coeficientes técnicos que indica a quantidade média de água que os processos atrelados a uma tipologia industrial demandam. Esse tipo de abordagem tem sido adotado em diversas aplicações no Brasil e no mundo, conforme analisado em ANA (2017).

Os maiores desafios do método dizem respeito à consistência e compatibilização das bases de dados sobre números de trabalhadores, assim como à obtenção e validação de coeficientes técnicos de retirada e de consumo/retorno.

Para construção da matriz de coeficientes técnicos de retirada, foram analisados e consistidos dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH/ANA, que engloba usuários que utilizam recursos hídricos de domínio da União e dos Estados. No CNARH 1.0 (versão descontinuada), as indústrias informavam a tipologia, o número de empregados e a vazão requerida para os processos produtivos.





Indústria de papel em Mogi Guaçu (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

Na consideração das tipologias, foi adotada a Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0, que para a indústria de transformação apresenta 24 divisões (códigos 10 a 33), 103 grupos e 258 classes. Buscou-se coeficientes no nível hierárquico mais detalhado, considerando o número de registros disponíveis no CNARH, sua variabilidade e representatividade. Quando este detalhamento não foi possível, considerou-se o coeficiente do respectivo grupo e, em último caso, da divisão.

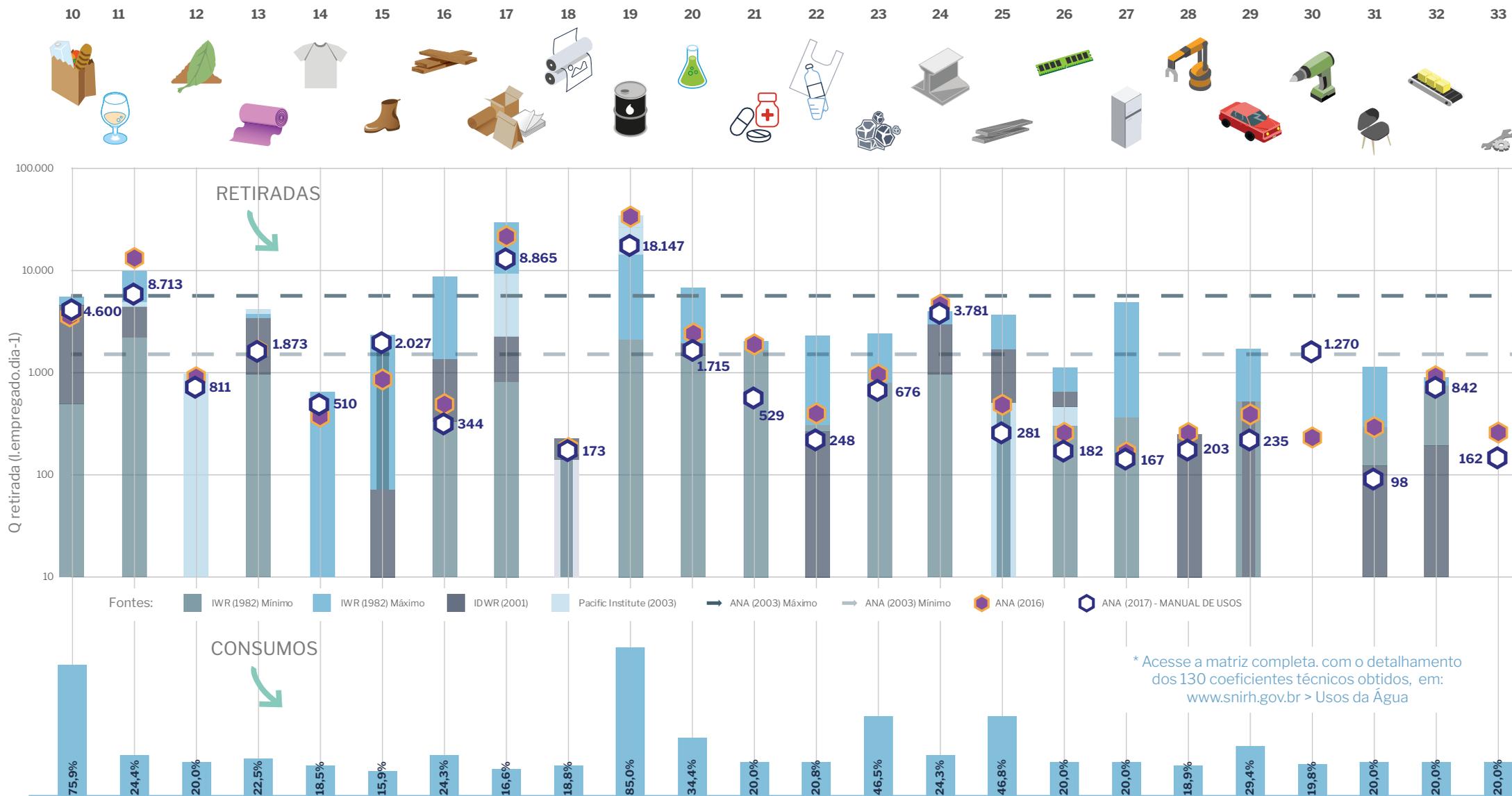
Nesse estudo, foram obtidos 101 coeficientes técnicos na hierarquia classe da CNAE 2.0, ou seja, para 40% das classes, e que representam cerca de 85% da demanda hídrica. Nas demais classes (15% da demanda) foram obtidos 29 coeficientes únicos para o respectivo grupo ou divisão.

Considerando o valor médio de retirada obtido, agrupado por Divisão CNAE 2.0, observa-se boa aderência, em termos de ordens de grandeza, com estudos nacionais e internacionais consultados, conforme expresso no infográfico a seguir. Cabe ressaltar que a metodologia empregada utiliza 130 coeficientes, sendo os resultados nas 24 Divisões da indústria de transformação um agrupamento das respectivas classes e grupos.

As análises e a modelagem realizadas são detalhadas em ANA (2017).

COEFICIENTES TÉCNICOS DE RETIRADA E CONSUMO (%) PARA O SETOR INDUSTRIAL POR DIVISÃO DA CNAE 2.0

Tipologias Industriais - CNAE 2.0



Os coeficientes técnicos de consumo para as tipologias industriais baseiam-se em estudo do MMA (Brasil, 2011). Apesar dessa matriz utilizar o volume da produção como variável explicativa para a demanda hídrica, e não o número de empregados, foram adotados os fatores de proporcionalidade entre os coeficientes de retirada e de consumo (%), considerando ainda que tais valores foram propostos e validados com ampla pesquisa bibliográfica e com a participação do setor industrial.

Para as divisões 27, 31, 32 e 33 foi adotado consumo de 20%, com base em ANA (2013), devido à indisponibilidade de dados.

Os maiores coeficientes de retirada e de consumo indicam maior intensidade do uso com relação ao número de empregados, mas não representam, necessariamente, setores mais hidrossensíveis. Ou seja, há atividades onde o coeficiente é elevado simplesmente pela baixa necessidade de mão-de-obra, com baixo impacto na demanda total.

Quanto às bases de dados sobre número de trabalhadores, a partir de 2002 estão disponíveis as informações de caráter censitário do Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS), as quais apresentam aderência dire-

ta com a matriz de coeficientes elaborada. Os microdados da RAIS são disponibilizados pelo Ministério do Trabalho e Emprego em sua página oficial.

Para o período anterior a 2002, foram adotadas as bases dos Censos Industriais e das Pesquisas Industriais Anuais (PIA). Esses dados tiveram que ser, conforme o caso, convertidos (diferentes unidades e classificações industriais), preenchidos (falhas e inconsistências) e desagregados espacialmente. Em anos censitários, foi realizada a digitação manual de cerca de 80 mil registros a partir de cadernos publicados pelo IBGE. No caso das PIA (IBGE, 2021), os dados são disponibilizados no Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA.

Os coeficientes técnicos para o período anterior ao RAIS foram agrupados na hierarquia (tipologia industrial) e escala espacial (UF ou município) as quais os dados de trabalhadores na indústria estavam disponíveis.

Nos Censos Industriais de 1939, 1949 e 1959 foram levantados apenas o número total de trabalhadores na indústria de transformação, por município, sem distinção de tipologia. Optou-se por produzir uma matriz de coeficientes por UF, ponderando o peso das diferentes tipologias industriais presen-

tes na UF em 1970 (primeiro ano com dados por tipologia), uma vez que um coeficiente médio para todo o país causaria maiores distorções nas estimativas.

Nos Censos posteriores (1970-1985) e nas Pesquisas Industriais Anuais - PIA (1989-2001) os dados já apresentavam tipologias industriais, mas de forma agregada (na Divisão), sem o nível de detalhamento atual. Nesses casos, foram adotados coeficientes específicos, por Divisão da indústria, adaptados à hierarquia dos dados. Adicionalmente, em virtude da distinta conceituação entre os levantamentos dos Censos e das PIAs, que consideram pessoal ocupado ligado à produção, e do RAIS, que considera uma conceituação mais abrangente (vínculos ativos), foi necessária a compatibilização da matriz por Divisão para aplicação no período anterior a 2002. Para tanto, foi aplicado um fator de correção entre pessoal ocupado total e pessoal ocupado ligado à produção, por tipologia industrial, observado nas PIAs realizadas entre 1966 e 1995.

Ainda nos anos em que foi adotada a PIA (1989-2001) foi necessária a desagregação municipal dos dados disponibilizados apenas por UF ou nacionalmente, utilizando para tanto as proporções municipais observadas em 2002 no RAIS.

Ainda, no período pré-2002, os levantamentos apresentam temporalidade irregular, sendo necessária a interpolação do número de trabalhadores em anos sem informação.

Por fim, os sistemas de classificação das indústrias variaram ao longo das décadas em que essas diferentes bases de dados foram geradas, sendo necessária a conversão de todas para a classificação CNAE 2.0. Mesmo na base mais recente (RAIS), a conversão foi necessária entre 2002 e 2005, quando era utilizada a CNAE 1.0.

o prognóstico do uso industrial baseou-se na projeção do número de trabalhadores por tipologia industrial, mantendo-se os respectivos coeficientes estáticos. Utilizou-se nesse caso a variação anual da produção física por tipologia industrial nos últimos 5 e 15 anos, a partir da Pesquisa Industrial Mensal (PIM-PF/IBGE), em escala nacional ou de UF.



## Resultados

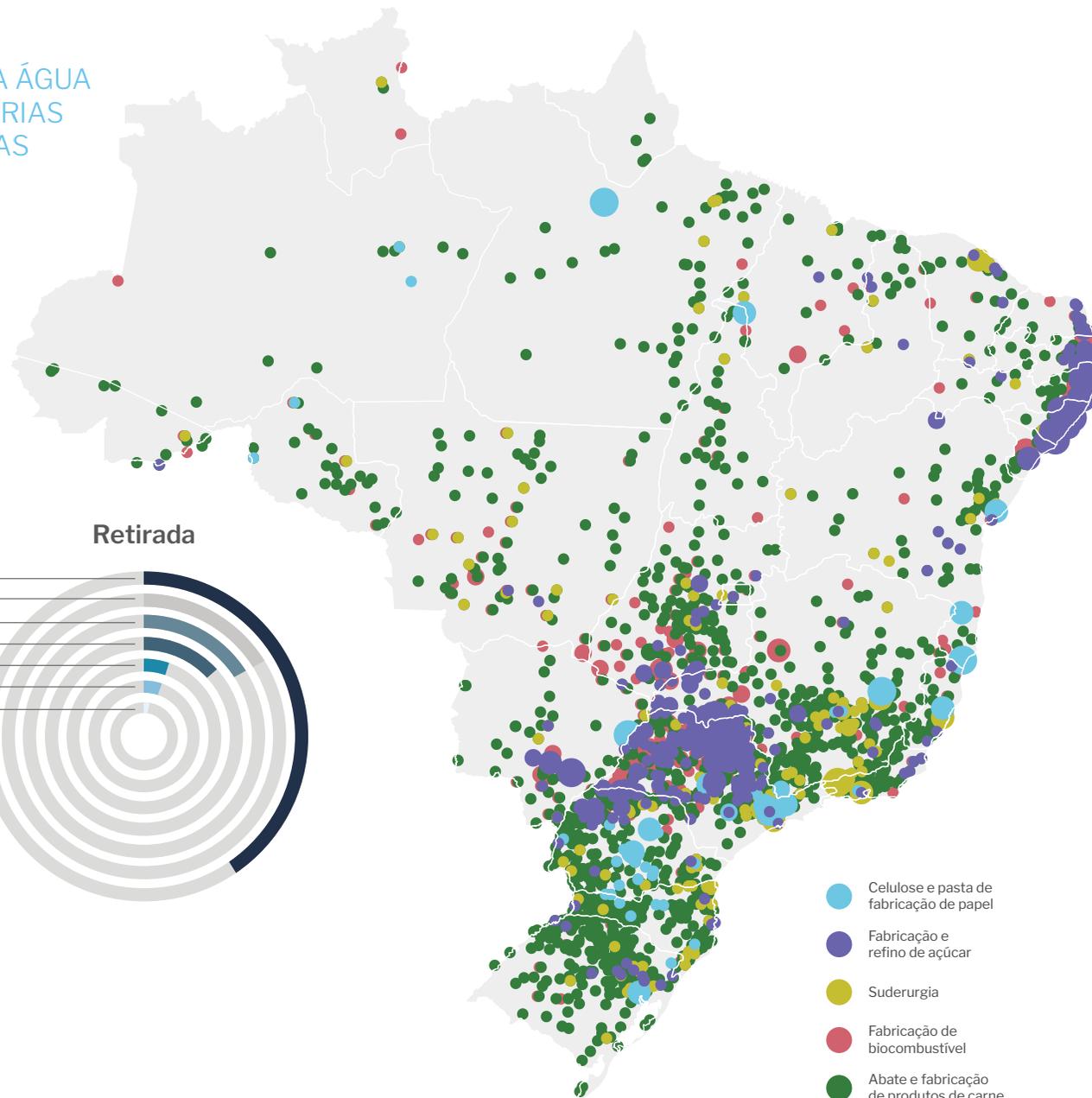
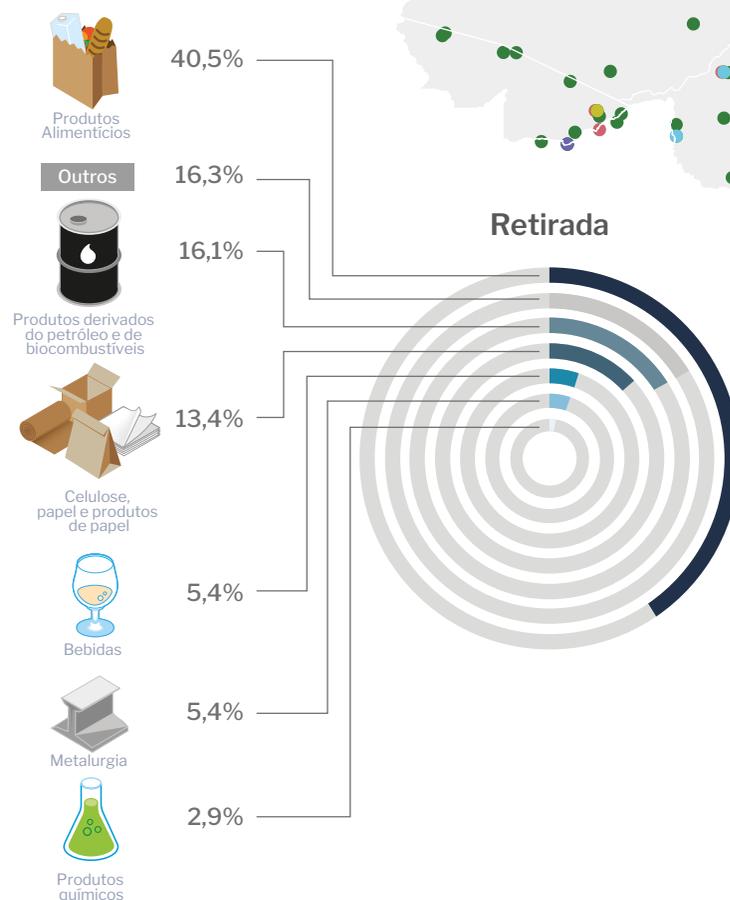
A maior concentração de indústrias de transformação no Brasil está na região Sudeste, principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. No Sudeste há parques industriais diversificados, com destaque para as indústrias química, siderúrgica e automobilística. Já na região Sul, segunda região mais desenvolvida industrialmente no Brasil, destacam-se agroindústrias que focam no beneficiamento e transformação de produtos primários.

O perfil da atividade industrial na região Nordeste é vinculado, principalmente, à produção têxtil e ao setor sucroenergético. O Norte e o Centro-Oeste são regiões de menor concentração industrial, mas com predomínio de agroindústrias que são importantes consumidoras de água, podendo afetar o balanço hídrico local.

Considerando as principais tipologias industriais, observa-se a concentração de cerca de 85% da demanda de retirada nos setores de produtos alimentícios e de bebidas; celulose, papel e produtos de papel; petróleo e biocombustíveis; produtos químicos; e metalurgia. Esses setores totalizaram captação de 163 m<sup>3</sup>/s em 2022.

## INTENSIDADE DO USO DA ÁGUA DOS GRUPOS DE INDÚSTRIAS COM MAIORES RETIRADAS

### DISTRIBUIÇÃO DAS RETIRADAS POR TIPOLOGIA INDUSTRIAL



As séries de vazões de retirada de água pela indústria (1931-2040) revelam que ocorreu incremento significativo do uso a partir da década de 1970, com instabilidades e quedas entre 1980 e 1990. Desde então houve forte expansão até 2014, com variação negativa e sinais de retomada da expansão nos últimos anos de diagnóstico da série (2021-2022).

O total extraído pelo setor foi de 191,5 m<sup>3</sup>/s em 2022. As projeções indicam um cresci-

mento de até 37% das vazões para a indústria, alcançando 263 m<sup>3</sup>/s em 2040.

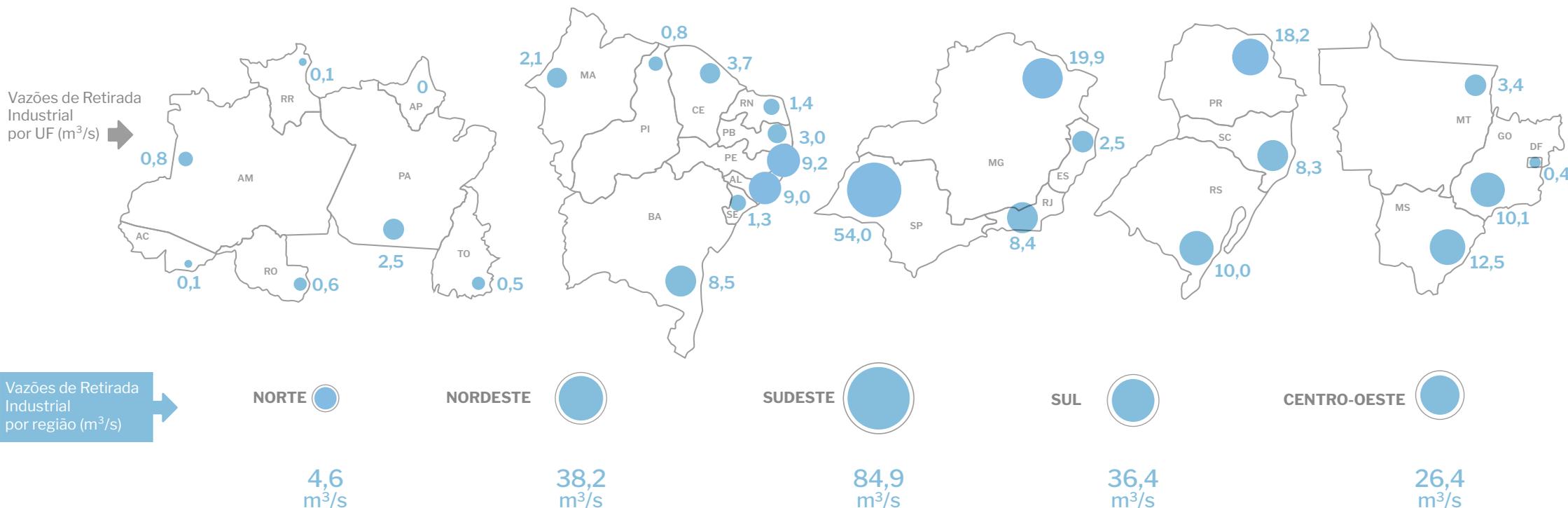
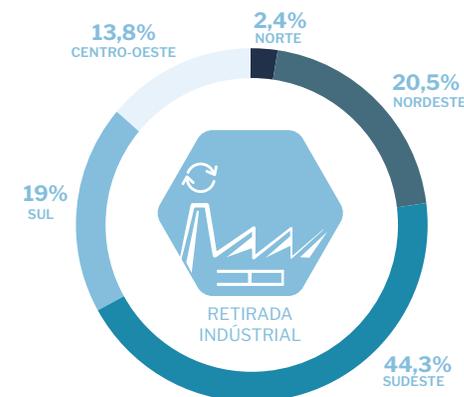
Os dados destacam a concentração do uso da água no estado de São Paulo (54,0 m<sup>3</sup>/s, ou 28% do total). Minas Gerais, Rio de Janeiro, Goiás, Mato Grosso do Sul, Bahia, Pernambuco, Alagoas e os estados do Sul apresentam maiores demandas hídricas no contexto nacional.

Regionalmente, o Sudeste lidera com 44% das retiradas, seguido por Sul e Nordeste,

com cerca de 20% cada.

A distribuição territorial do uso da água na indústria mostra-se, em muitos casos, distante da distribuição de outros indicadores, como número de empregos e valor da produção. Isso reitera a importância de se detalhar as tipologias industriais e buscar a caracterização dos principais setores, evitando indicadores médios para a indústria como um todo.

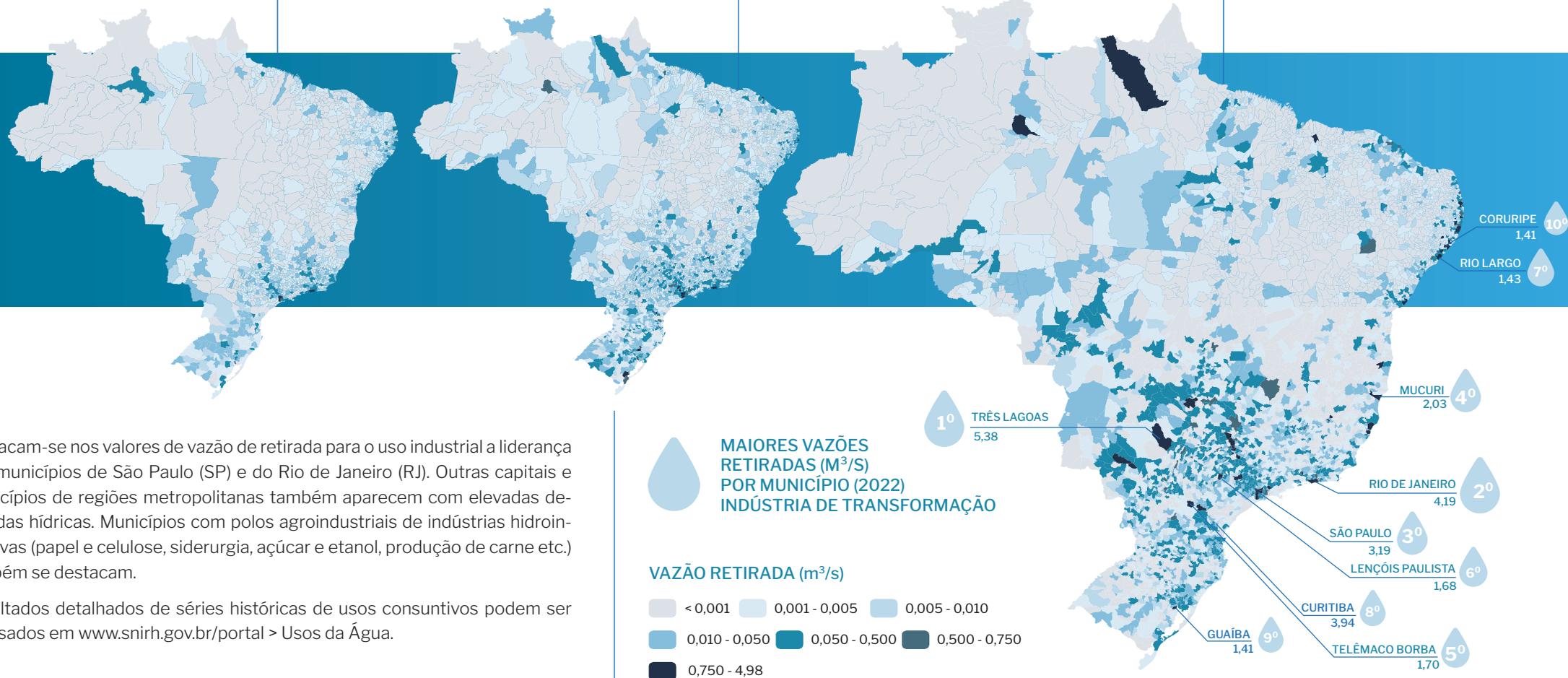
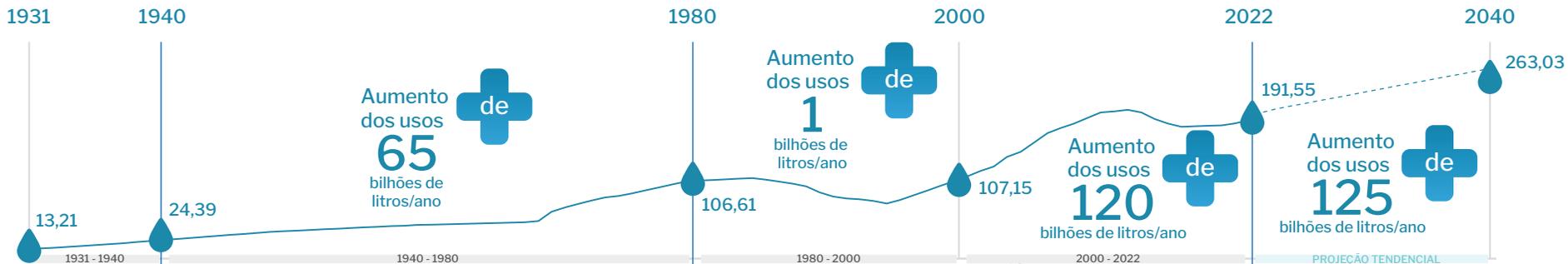
Vazões de retirada industrial por região (%) - 2022



# Séries de Vazões 1931 a 2040 - Indústria de Transformação



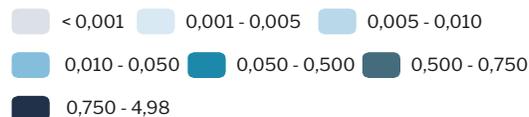
VAZÕES RETIRADAS (m<sup>3</sup>/s)



Destacam-se nos valores de vazão de retirada para o uso industrial a liderança dos municípios de São Paulo (SP) e do Rio de Janeiro (RJ). Outras capitais e municípios de regiões metropolitanas também aparecem com elevadas demandas hídricas. Municípios com polos agroindustriais de indústrias hidrointensivas (papel e celulose, siderurgia, açúcar e etanol, produção de carne etc.) também se destacam.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.

VAZÃO RETIRADA (m<sup>3</sup>/s)



# ABASTECIMENTO ANIMAL

## Introdução

Os maiores usos consuntivos da água, em escala global, são agropecuários. No Brasil, que possui alguns dos maiores rebanhos do mundo, a demanda de água nas estruturas de dessedentação, criação e ambiência de animais é elevada.

O consumo de água diário varia significativamente em função da espécie animal, uma vez que a maior parte está relacionada às demandas fisiológicas. O tamanho e estágio de desenvolvimento são determinantes na demanda hídrica per capita, sendo ainda influenciada pelas condições ambientais e de manejo (Ward & McKague, 2007).

As metodologias aplicadas pelo mundo em trabalhos com esse intuito utilizam, de maneira simplificada, informações de contagem de rebanhos e coeficientes técnicos per capita para estimativa da demanda hídrica. O nível de detalhamento dos coeficientes é função da disponibilidade de informações sobre os rebanhos, tais como espécie, tipologia, tamanho, estágio de desenvolvimento e uso de confinamento.

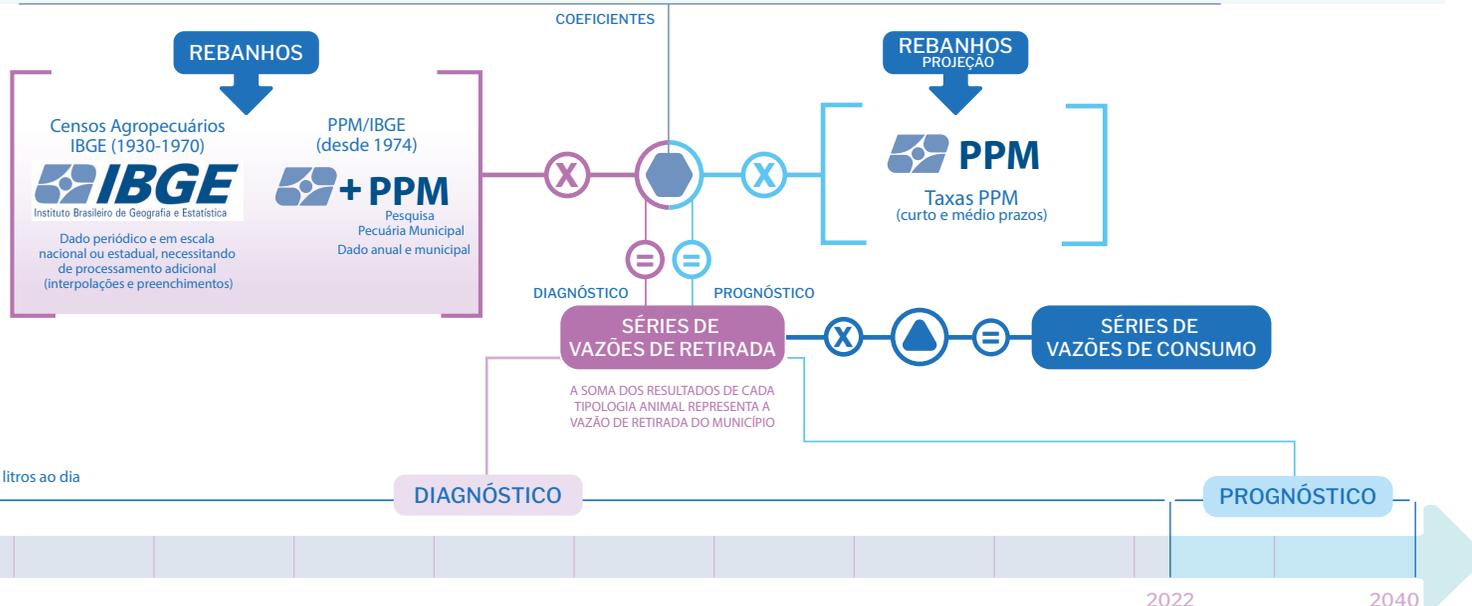
Como será detalhado nesse capítulo, no Brasil as informações sobre rebanhos não apresentam detalhamento para aplicação de coeficientes detalhados, por exemplo, por massa (kg). Por outro lado, há séries históricas longas e detalhadas por tipo de rebanho nos municípios. A demanda animal também se caracteriza por sua dispersão territorial em muitos mananciais, o que difere de outros usos que tendem a ocorrer mais concentrados (cidades, irrigação).

Além das necessidades específicas dos animais (dessedentação), discretizadas por tipo de rebanho, as demandas atuais para abastecimento animal consideram o uso da água de forma mais ampla, como para operações lácteas, limpeza de animais e de instalações e outras necessidades de manutenção de estruturas rurais. Essa parcela de água é mais relevante no manejo de alguns rebanhos com maior confinamento (porcos, galináceos e vacas).



# 4

## SÍNTESE DO MÉTODO E DOS DADOS - ABASTECIMENTO ANIMAL



## Método e Base de Dados

O método adotado no Manual de Usos é similar ao de estudos nacionais e internacionais de referência. Consiste na aplicação de coeficientes técnicos per capita médios (litros por dia por animal), por tipo de rebanho, ao número de animais registrados ou estimado no ano de referência. Os rebanhos e coeficientes são detalhados a seguir.

### REBANHOS: CONCEITUAÇÃO E COEFICIENTES TÉCNICOS (MÍNIMO, MÁXIMO E ADOTADO)



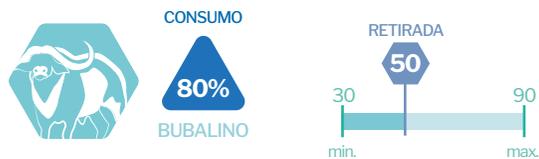
Vacas mestiças ou de raça (de corte, de leite ou de dupla aptidão) existentes no município e que foram ordenhadas em algum período no ano de referência da pesquisa, quer seja para autoconsumo, transformação em queijos, manteiga etc. quer seja para venda.

Fonte: ANA (2013)  
SUDERHSA (2006)



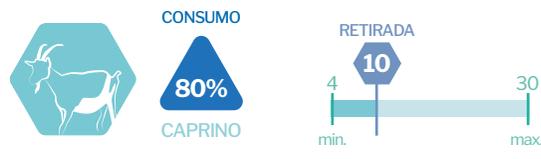
Total de mamíferos das espécies *Bos indicus* (boi indiano) ou *Bos taurus* (boi europeu), independentemente de sexo, idade, raça ou finalidade (corte, leite ou trabalho).

Fonte: ANA (2013)



Total de mamíferos da espécie *Buballus buballis*, independentemente de sexo, idade ou finalidade (corte ou leite).

Fonte: ONS (2003;2005)



Total de mamíferos da espécie *Capra aegagrus hircus* (bodes, cabras e cabritos), independentemente de sexo, idade ou finalidade (corte ou leite).

Fonte: ONS (2003;2005)



Total de mamíferos da espécie *Equus caballus* (cavalos, éguas, potros e potrancas).

Fonte: ANA (2013) / SUDENE (1980)



Total de aves fêmeas da espécie *Gallus gallus* destinadas à produção de ovos, independentemente do destino da produção (consumo, industrialização ou incubação). Inclui poedeiras e matrizes.

Fonte: EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)



Total de mamíferos da espécie *Sus scrofa* (porcos e porcas), independentemente de sexo, idade ou finalidade da produção.

Fonte: ONS (2003;2005) SUDERHSA (2006)



Total de aves da espécie *Gallus gallus* (galos, galinhas, frangas, frangos, pintos e pintainhas).

Fonte: EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)



Total de mamíferos da espécie *Ovis aries* (ovelhas, carneiros e borregos), independentemente de sexo, idade ou finalidade (lã, corte ou leite).

Fonte: ONS (2003;2005)



Total de aves da espécie *Coturnix coturnix* destinadas à produção de ovos e abate, independentemente de sexo ou idade.

Fonte: EMBRAPA (2005)

Dois importantes refinamentos relacionados ao método e às bases de dados diferenciavam esse estudo de abordagens anteriores.

O primeiro consiste em uma nova revisão dos coeficientes técnicos na literatura disponível, sendo analisados 12 estudos nacionais e internacionais de referência. O infográfico ao lado (esquerdo) contém os valores mínimos e máximos observados, assim como os valores adotados. Não houve um critério específico para escolha do coeficiente, tendo a análise em cada caso considerado a profundidade, a representatividade e as fontes de dados utilizadas pelos autores, bem como a aderência dos coeficientes com os dados de rebanhos disponibilizados pelo IBGE. As Tabelas ao lado apresentam um detalhamento das principais fontes de coeficientes para dessedentação relacionadas aos rebanhos bovino (vacas ordenhadas e outros) e galináceos (galinhas e outros), os quais apresentaram maior diversidade de valores nas referências consultadas.

A definição de coeficientes por tipo de rebanho resulta não só no pleno aproveitamento dos dados levantados pelo IBGE, como também permite a análise setorial da situação e do prognóstico de uso da água pelos diferentes rebanhos e sua associação com a cadeia agroindustrial (indústria de transformação), como na produção de carne e de leite.

### COMPARATIVO DOS VALORES DE COEFICIENTES TÉCNICOS PARA BOVINOS

Fonte	Gado bovino	Vacas Lactação
EMBRAPA (2005)	34,3 <sup>1</sup>	62
NIEA (2009)	20	92
DWAF (1996)	17 a 41	38 a 95
OMAFRA (2009)	25 a 41	115
UKEA (2007)	20	92
USGS (2009)	45 <sup>2</sup>	132 <sup>2</sup>
IMASUL (2010)	55	62
SUDERHSA (2006)	45	53
ANA (2013)	50 <sup>3</sup>	85 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Valor médio considerando Bovinos de Corte (até 250 kg, até 410 kg e até 566 kg), vacas com bezerros, vacas secas e bezerros.

<sup>2</sup> Mediana dos valores observados.

<sup>3</sup> Média entre valor mínimo e máximo.

### COMPARATIVO DOS VALORES DE COEFICIENTES TÉCNICOS PARA AVES

FONTE	Avinos - geral	Galináceos - Galinhas	Galináceos - Outros
ÁGUAS-PR (2010)	0,16	-	-
EMBRAPA (2005)	-	0,18	0,16 - 0,321
NIEA (2009)	0,19 - 1,22	0,20 - 0,22	0,09 - 0,21
FAO (2006)	-	0,25	0,33
USGS (2009)	-	0,22	0,22
ONS (2003)	0,36	0,36	0,36
IMASUL (2010)	0,32	0,32	0,32
ANA (2013)	-	0,1 - 0,2	0,15 - 0,50

<sup>1</sup> Considerando os seguintes coeficientes: Frangos (0,16), Poedeiras (0,25) e Reprodutores (0,32).



Além de valores detalhados e mais atualizados para dessedentação animal (necessidades fisiológicas dos animais), houve a incorporação de valores para outras necessidade de criação animal (como lavagem, limpeza e manutenção de instalações e estruturas).

Esse valores foram considerados em rebanhos onde esse uso adicional da água é mais relevante, caso do confinamento ou semi-confinamento de galináceos, suínos e vacas ordenhadas. Com base em SUDERHSA (2006), atual Instituto Água e Terra (IAT) do Paraná, os valores foram definidos sobre o valor da retirada para dessedentação, adicionando 50% para suínos, vacas ordenhadas e galinhas; e 20% para outros galináceos. Os valores de retirada propostos para esses rebanhos, portanto, correspondem ao abastecimento animal para além da dessedentação.

O segundo importante refinamento no método de estimativa para abastecimento

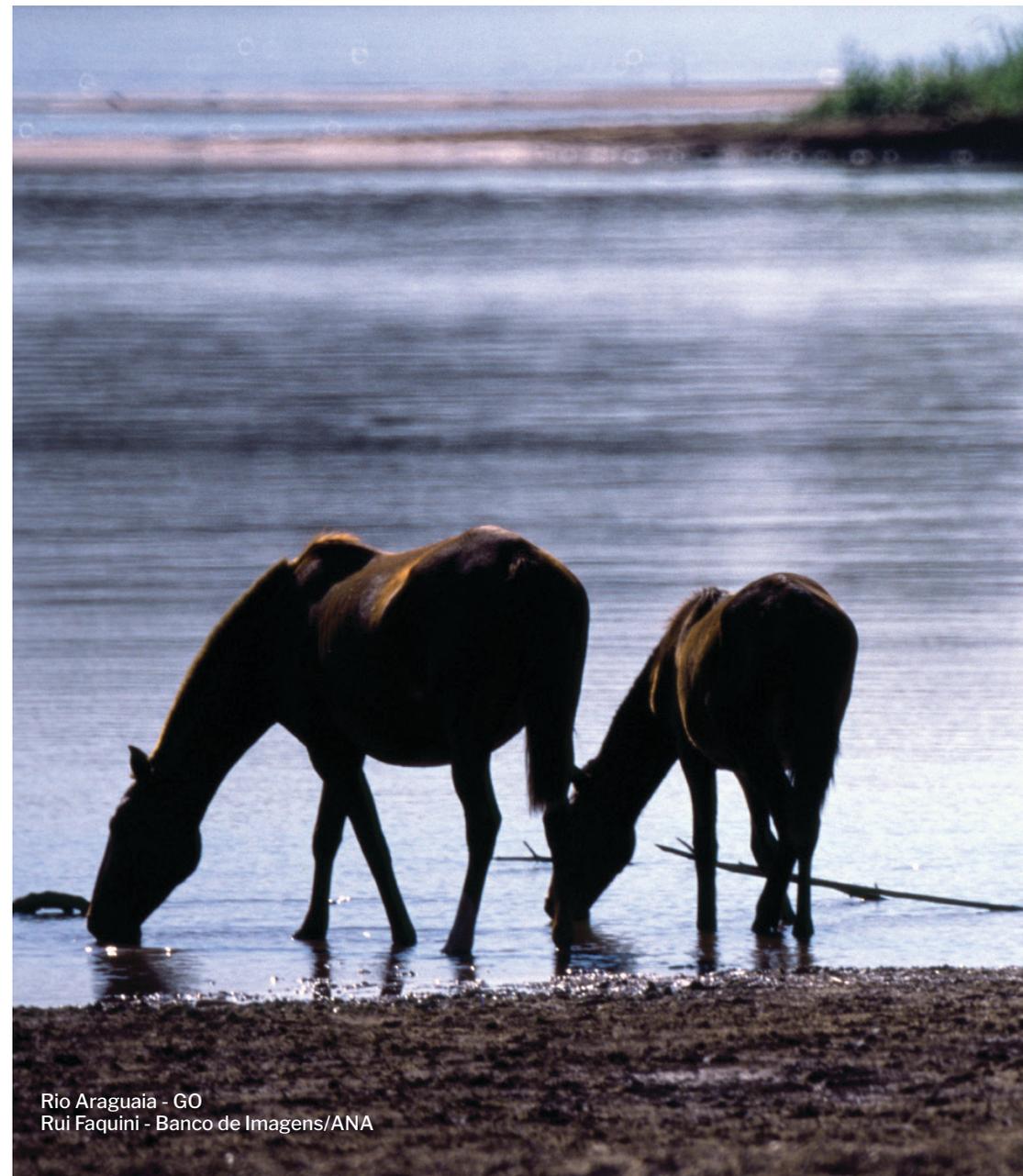
animal refere-se à ampliação das bases de dados sobre rebanhos, utilizando não apenas dados censitários (quinquenais ou decenais) mas também os dados da Pesquisa Pecuária Municipal - PPM (anual), incluindo a desagregação do rebanho bovino em vacas ordenhadas e outros. Para o período anterior a 1974 foi criada uma série sintética de dados de vacas ordenhadas, considerando a proporção média desta espécie no total dos bovinos do país (12%),

A Tabela abaixo apresenta uma síntese das bases utilizadas e sua referência temporal e espacial. Antes de 1974, ano em que a disponibilidade de registros passa a ser anual e municipal pela PPM, os rebanhos em anos sem dados foram estimados por interpolação linear. Também foi necessária a desagregação para a base municipal devido à divulgação desses valores apenas para o País ou por UF.

BASE DE DADOS DISPONÍVEIS REFERENTES AO EFETIVO DOS REBANHOS

Fonte (IBGE)	Variáveis <sup>1</sup>	Unidade Territorial	Período Disponível	Período Utilizado
Pesquisa Pecuária Municipal	(73) Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho	Município	Desde 1974 (anual)	Desde 1974 (anual)
Pesquisa Pecuária Municipal	(94) Vacas Ordenhadas	Município	Desde 1974 (anual)	Desde 1974 (anual)
Censo Agropecuário	(281) Efetivo de animais em estabelecimentos agropecuários por espécie de efetivo	UF	1970, 1975, 1980, 1985, 1995, 2006	1970
Censo Agropecuário	(1035) Efetivo de animais nos estabelecimentos agropecuários por tipo de efetivo	Brasil	1920, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995, 2006	1930, 1940, 1950, 1960

<sup>1</sup> Número entre parênteses indica a referência da tabela no Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA/IBGE (<http://sidra.ibge.gov.br/>).



Rio Araguaia - GO  
Rui Faquini - Banco de Imagens/ANA

A desagregação dos dados na escala municipal (pré-1973) foi realizada considerando as mesmas proporções de 1974, por tipo de rebanho, levando também em conta a evolução da malha territorial ao longo dos anos (desmembramento ou agrupamento de municípios).

Com relação ao consumo da dessedentação animal em relação à retirada, em virtude da indisponibilidade de outras referências, propõe-se a taxa de 80% adotada em outros estudos (ANA, 2017; ONS, 2003). Por consequência, o retorno via excrementos sólidos e líquidos ou ainda via transpiração animal é de 20%.

No caso dos volumes de água adicionais destinados a outras necessidades de criação animal, a relação consumo x retorno se inverte (20% x 80%), com a adoção dos valores tipicamente considerados no abastecimento de forma geral (retorno de 80% da retirada como efluente). Assim, nos rebanhos onde esses volumes são considerados, o percentual médio de consumo (dessedentação + outras necessidades) é de 60% para vacas ordenhadas, suínos e galinhas; e de 69% para outros galináceos.

De posse dos coeficientes técnicos adotados e das bases de dados sobre rebanhos consistidas, interpoladas e preenchidas, as vazões de retirada, consumo e retorno para abastecimento animal são calculadas. A vazão total para abastecimento animal no município corresponde à soma das vazões necessárias aos diferentes rebanhos.

Para projeção dos rebanhos municipais (horizonte 2040), foram utilizadas as taxas médias observadas na PPM nos últimos 10 e 20 anos, adotando-se a média simples de crescimento dos dois períodos, em cada uma das 137 mesorregiões geográficas (agrupamento de municípios). Aos municípios são atribuídas as taxas de crescimento de sua respectiva mesorregião.



Reservatório para dessedentação animal em pastagem  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

## Resultados

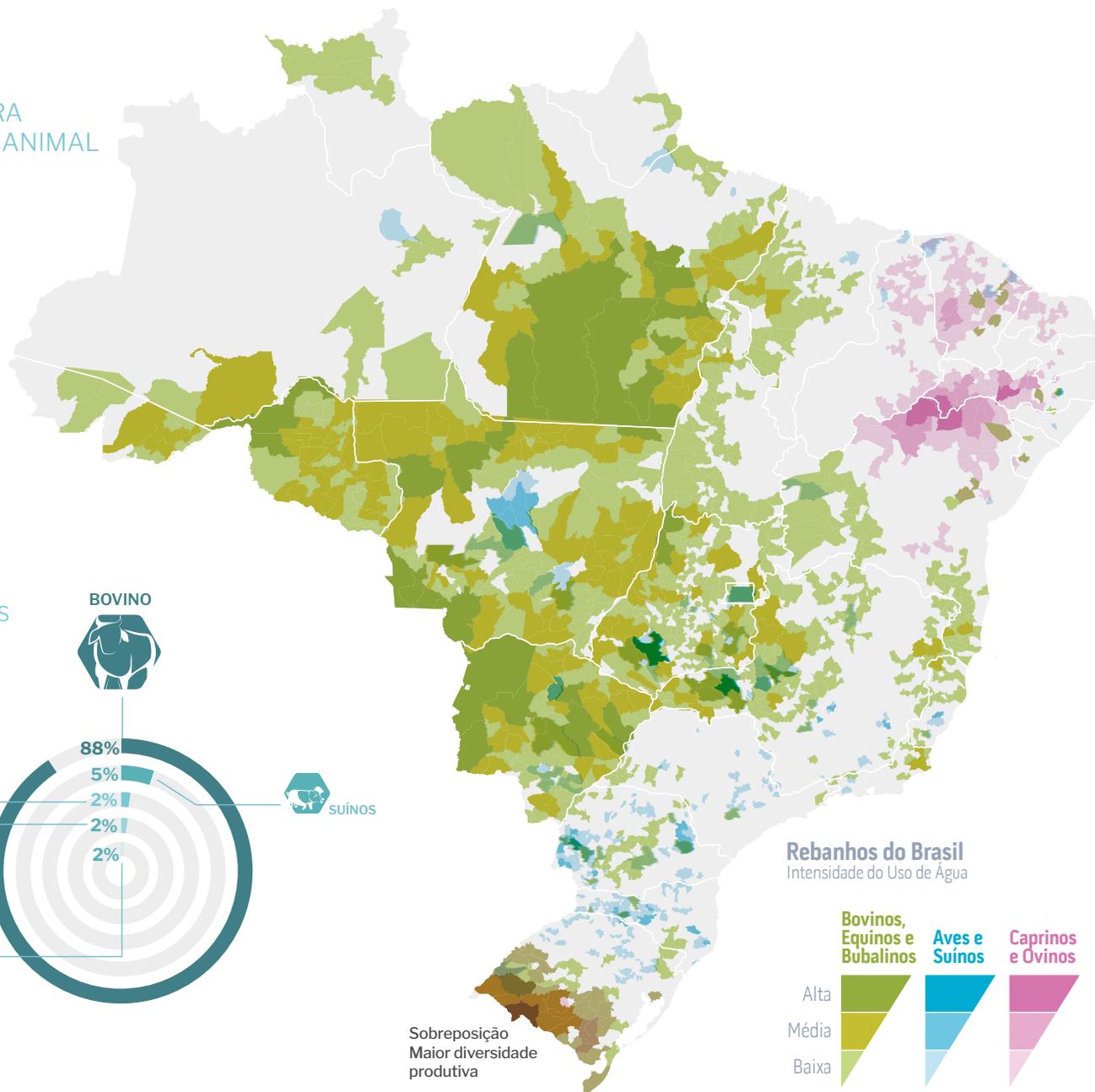
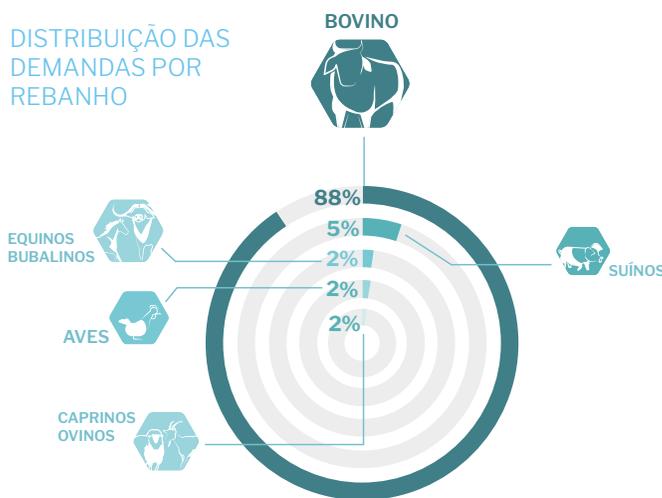
O mapa ao lado apresenta a intensidade do uso da água para abastecimento animal nos municípios brasileiros, ilustrando em quais regiões predominam as retiradas por tipo de rebanho.

Observa-se a importância de caprinos e ovinos no Semiárido brasileiro; de aves e suínos no Centro-Sul (muitas vezes, em regime de confinamento); e de bovinos no Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Estados do Centro-Oeste e da fronteira agropecuária no Norte (Pará e Rondônia). No Sul e na região do Triângulo Mineiro observa-se maior coexistência de diferentes classes de rebanhos.

O gráfico ao lado também ilustra a proporção atual dos rebanhos no total do abastecimento animal no país, onde se observa a preponderância do rebanho bovino na composição da demanda (88%), seguido pelos suínos (5%) e aves (2%). As vacas ordenhadas representam cerca de 12% dos bovinos mas respondem por mais de 25% da demanda.

### INTENSIDADE DO USO DA ÁGUA PARA ABASTECIMENTO ANIMAL

### DISTRIBUIÇÃO DAS DEMANDAS POR REBANHO



As séries de vazões de retirada de água para abastecimento animal (1931-2040) revelam que ocorreu incremento significativo do uso desde o início da série. Entre 1980 e 2022 o incremento da demanda foi de 73%.

O total extraído pelo setor foi de 168,2 m<sup>3</sup>/s em 2022. As projeções futuras indicam um crescimento de 23% das vazões para abastecimento animal, alcançando 207 m<sup>3</sup>/s em 2040.

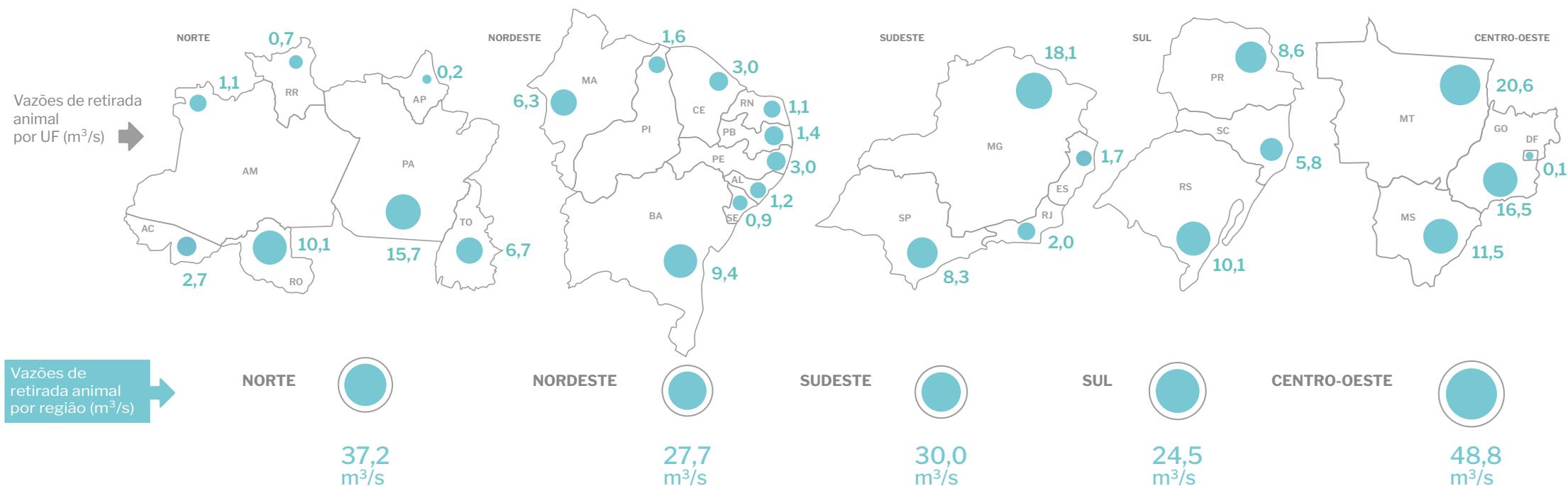
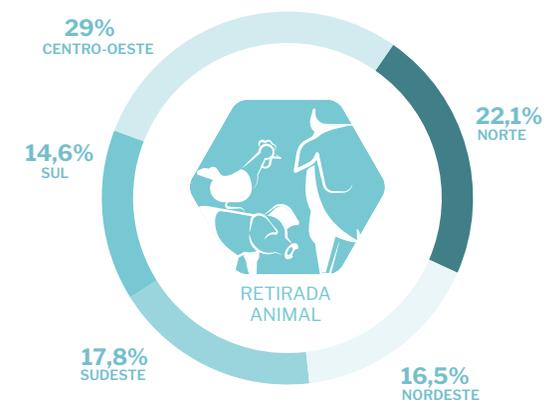
No aspecto regional, nota-se nas últimas décadas e nas projeções futuras a pers-

pectiva de expansão dos rebanhos e, consequentemente, do uso da água em direção à Amazônia Legal, enquanto o uso tende a diminuir em diversos municípios do Centro-Sul, em função de conversões do uso da terra para atividades agrícolas, industriais e urbanas.

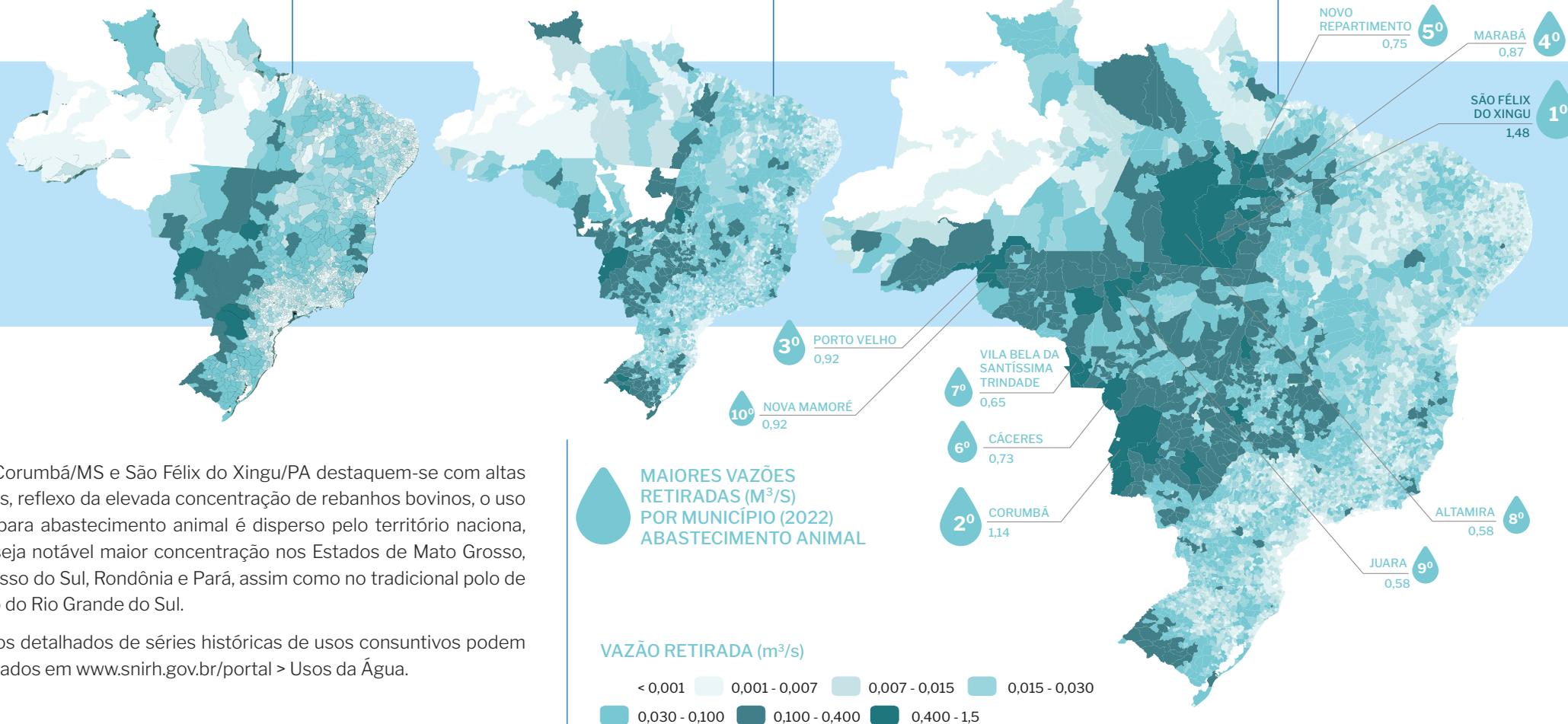
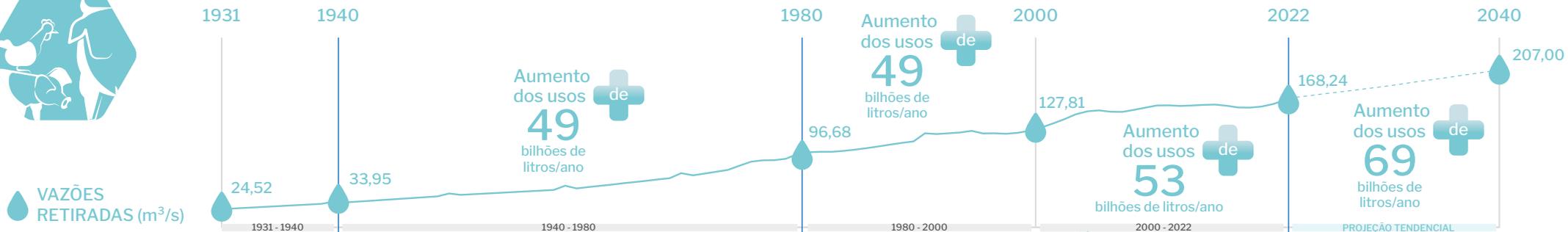
Os dados destacam a concentração do uso da água em Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Rio Grande do Sul. Regionalmente, o Centro-Oeste mantém a liderança com 29,0% da deman-

da, seguido pelo Norte (22,1%), Sudeste (17,8%), Sul (14,6%) e Nordeste (16,5%). Estima-se que a demanda do Norte deverá superar a do Sudeste em 2028.

Vazões de retirada animal por região (%) 2022



## Síntese das Séries de Vazões 1931 a 2040 - Abastecimento Animal



Embora Corumbá/MS e São Félix do Xingu/PA destaquem-se com altas demandas, reflexo da elevada concentração de rebanhos bovinos, o uso da água para abastecimento animal é disperso pelo território nacional, embora seja notável maior concentração nos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia e Pará, assim como no tradicional polo de produção do Rio Grande do Sul.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.

# AGRICULTURA IRRIGADA

## Introdução

A irrigação corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas.

A agricultura irrigada é o maior uso da água no Brasil e no mundo. A expansão acelerada da atividade no nosso país ocorreu a partir das décadas de 1970 e 1980, intensificando-se nos anos 2000 e com expansão recorde na última década.

Alguns fatores justificam essa intensificação, em especial: a expansão da agricultura para regiões com clima menos favorável (maior risco climático); estímulos governamentais de desenvolvimento regional e de financiamento; desenvolvimento e acesso à tecnologia (agrícola e de equipamentos); e os próprios benefícios e a rentabilidade observados com a irrigação (ANA, 2021).

Embora o crescimento da atividade resulte, em geral, em aumento do uso da água, diversos benefícios podem ser observados, tais como o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos, a redução de custos unitários, a atenuação dos impactos da variabilidade climática e a otimização de insumos e equipamentos. A irrigação também contribui para o aumen-

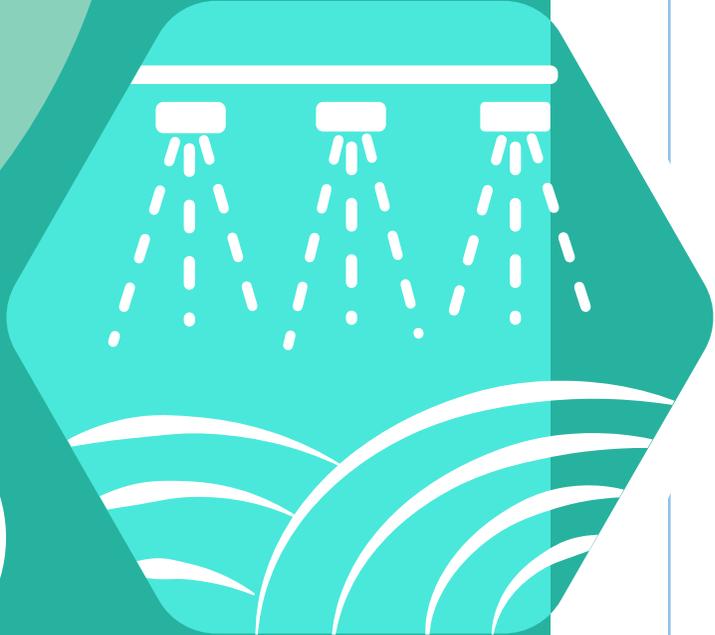
to e a estabilidade da oferta de alimentos e conseqüente aumento da segurança alimentar e nutricional da população.

A maior parte da área irrigada atual é privada (98%) e a atividade está dispersa por todo o território, embora 28 polos nacionais concentrem cerca de 50% da área e 60% do uso da água (ANA, 2021).

Reconhecendo a importância da agricultura na gestão de recursos hídricos e, ao mesmo tempo, a carência de dados setoriais, a ANA tem liderado nos últimos anos a iniciativa Atlas Irrigação, que resultou em publicações específicas e conteúdos adicionais disponíveis no portal do SNIRH.

Nesta iniciativa, a ANA elabora estudos próprios e com parcerias, procurando manter atualizadas as principais informações sobre o setor. Quando há um conjunto relevante de temas atualizados, a ANA reúne em uma nova edição da publicação completa do Atlas Irrigação - estando disponíveis as de 2017 e 2021.

Assim, o Atlas Irrigação apresenta uma série de indicadores e dados de entrada aplicados no Manual de Usos para a estimativa do uso da água, especialmente sobre as áreas irrigadas atuais e projetadas.



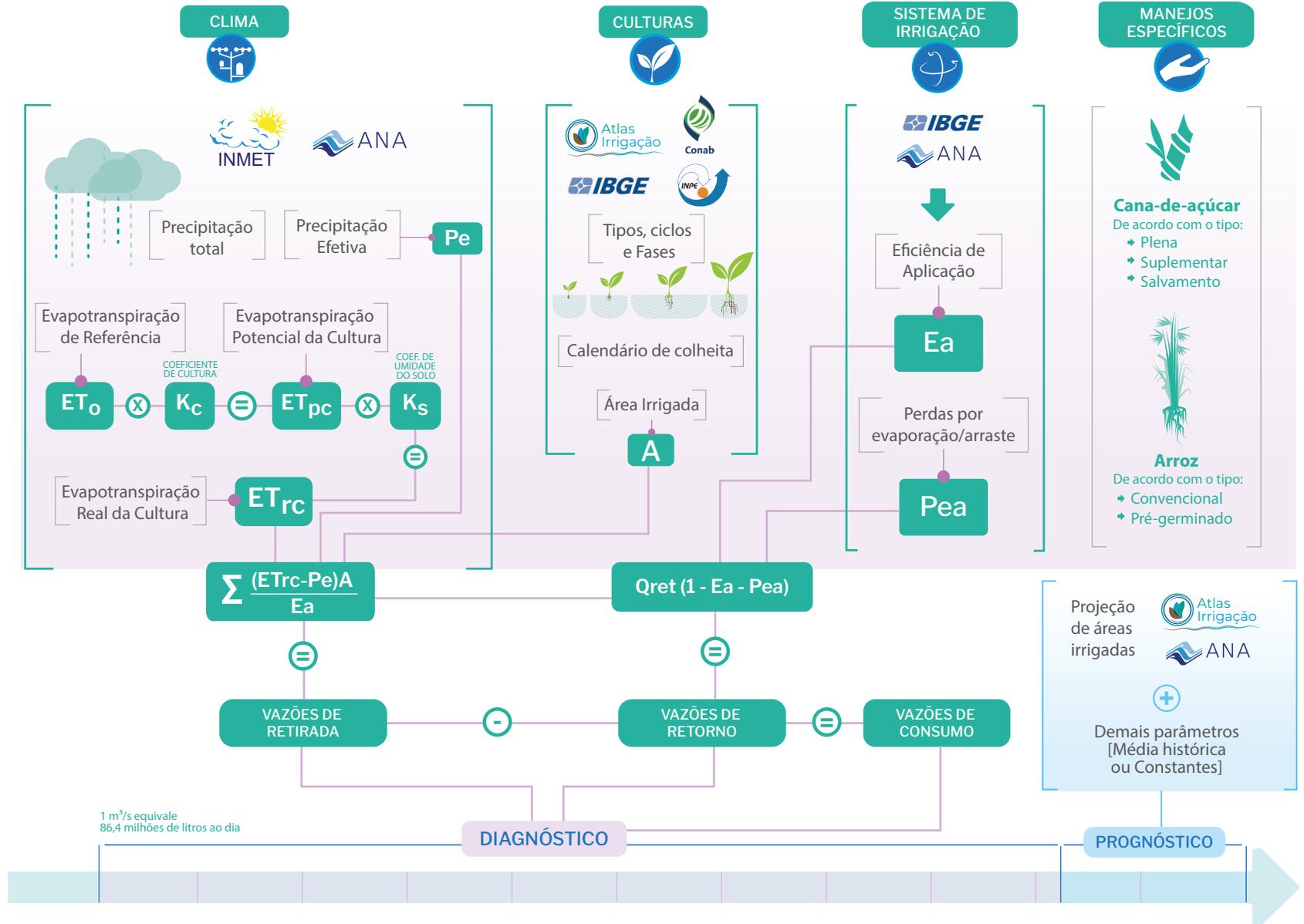
5



### SÍNTESE DO MÉTODO E DOS DADOS - IRRIGAÇÃO

## Método e Base de Dados

Existem diversas técnicas para cálculo da demanda de água pela agricultura irrigada, sendo mais comum o emprego de métodos indiretos baseados na necessidade de água da cultura, em um dado estágio ou fase de desenvolvimento e em um determinado local. Dessa forma, o método baseia-se no balanço hídrico no local das áreas irrigadas, atribuindo à irrigação a parcela de água necessária às culturas e que não é suprida por fontes naturais (chuva e solo).

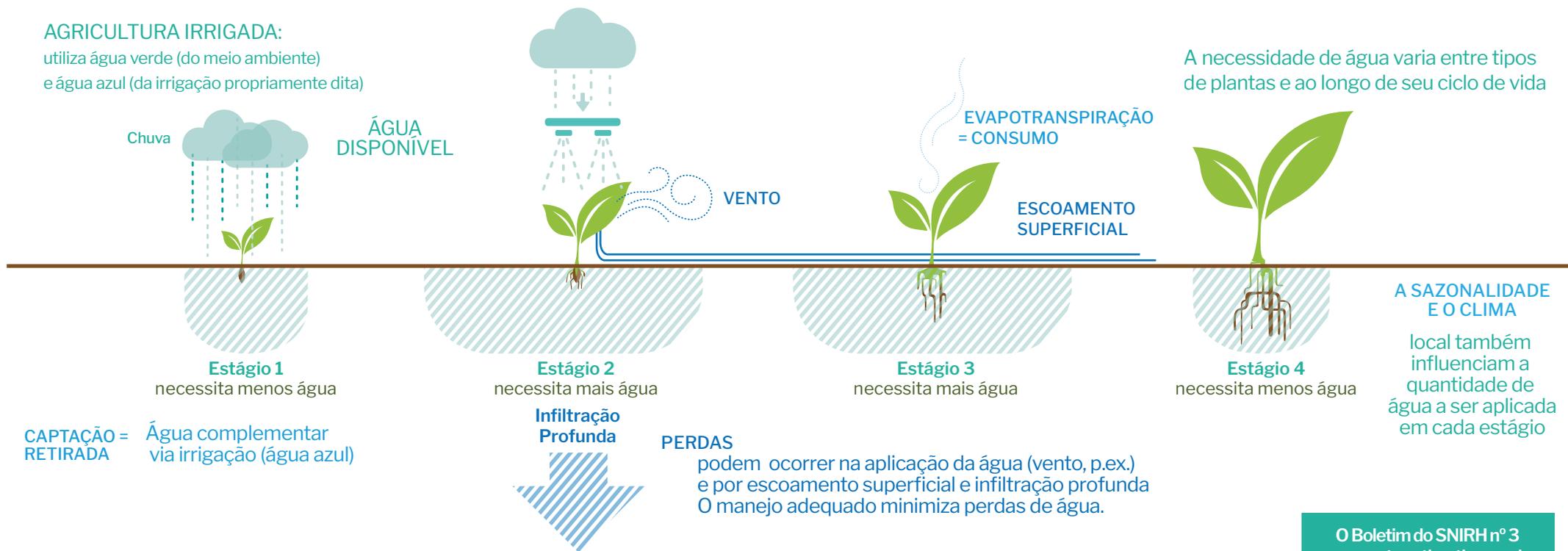


Os dados climáticos informam qual o suprimento de água da chuva para as plantas e qual a evapotranspiração potencial de referência de uma região.

A evapotranspiração é o processo conjunto de evaporação e transpiração, totalizando a quantidade de água transferida do solo e de corpos d'água para a atmosfera por evaporação e pela transpiração das plantas e demais organismos vivos.

## AGRICULTURA IRRIGADA:

utiliza água verde (do meio ambiente)  
e água azul (da irrigação propriamente dita)



Cada cultura necessita de uma quantidade de água e em cada fase de desenvolvimento da mesma cultura essa quantidade varia. Essa informação é agregada para se calcular a evapotranspiração real da cultura, ou seja, o suprimento hídrico necessário para seus processos fisiológicos naquele clima local. O clima e a cultura, em conjunto com informações sobre o solo, auxiliam na estimativa da disponibilidade de água no terreno e da precipitação efetiva (água da chuva que a planta consegue efetivamente aproveitar).

A irrigação (água azul) visa suplementar o que a planta necessita, ou seja, complementa o que é fornecido pelas demais fontes

(solo e chuva - água verde).

Por fim, é necessário conhecer a eficiência do sistema de irrigação adotado para que se estime as perdas médias que ocorrem entre o volume de água captado no manancial (rio, reservatório, poço) e o volume de água efetivamente aplicado na cultura.

Além do método geral empregado para todas as culturas, o Manual adota adaptações na metodologia para a estimativa de uso pelo arroz cultivado sob inundação e pela cana-de-açúcar, permitindo uma melhor caracterização das demandas dessas culturas, que possuem manejos diferenciados.

A evapotranspiração real de uma cultura ou de qualquer outro alvo também pode ser estimada por sensoriamento remoto, a partir de imagens que captam a temperatura da superfície (como as Landsat). A disponibilidade de imagens é irregular e afetada por nuvens. A ferramenta SSEBop BR desenvolvida pela ANA permite a estimativa em qualquer ponto do território nacional, com processamento em tempo real na nuvem. Esses dados podem ser utilizados em diversas aplicações, inclusive como dado adicional aos coeficientes de irrigação calculados pelo Manual.

O Boletim do SNIRH nº 3 apresenta estimativas mais detalhadas do uso da água verde e azul, na agricultura de sequeiro e na irrigada. O estudo é parte das Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA).





Conforme detalha o infográfico anterior, o método geral requer informações climáticas e da cultura a fim de se obter a evapotranspiração real e a precipitação efetiva. As características das culturas também englobam as áreas irrigadas e os tipos e calendários de cultura nos municípios. Os sistemas de irrigação, por sua vez, permitem estimar a eficiência do uso da água e, portanto, as parcelas de perdas (água retirada não aproveitada pelas plantas), bem como as perdas por evaporação e arraste que não retornam diretamente aos corpos hídricos.

A estimativa do volume mensal de retirada destinado à irrigação é dada pela Equação 5.1. Após a estimativa do volume destinado a uma cultura (c) em determinado mês (m) relativo a uma data de colheita (dc) no município (mu) torna-se necessário somar os volumes destinados à irrigação no mês para todas as datas de cultivo da cultura pela Equação 5.2. O volume de retorno da irrigação no município será obtido considerando a eficiência de uso da água e as perdas por evaporação e arraste durante a aplicação nos sistemas por aspersão, conforme a Equação 5.3. O volume de consumo mensal de determinada cultura é obtido pela diferença entre a retirada e o retorno (Equação 5.4). A demanda municipal é obtida pelo somatório dos volumes destinados a cada cultura. Os itens a seguir detalham o cálculo das variáveis-chave.

Equações

5.1

$$V_{c,m,mu,dc} = \frac{(ETrc_{c,m,mu,dc} - Pef_{c,m,mu,dc}) \cdot A_{c,m,mu,dc} \cdot t_{c,m,dc}}{Ea_{c,mu}} \cdot 86400$$

5.2

$$V_{c,m,mu} = V_{c,m,mu,dc1} + V_{c,m,mu,dc2} + \dots + V_{c,m,mu,dcn}$$

5.3

$$V_{r,m,mu} = V_{c,m,mu} - (V_{c,m,mu} \cdot Pea_{s,c,mu}) - (V_{c,m,mu} \cdot Ea_{c,mu})$$

5.4

$$V_{cons,m,mu} = V_{c,m,mu} - V_{r,m,mu}$$

Em que:

- $V_{c,m,mu,dc}$  = volume mensal (m) destinado à irrigação de uma cultura (c) e relativo a uma data de cultivo (dc) em um município (mu), m<sup>3</sup>;
- $ETrc_{c,m,mu,dc}$  = evapotranspiração real para a cultura (c), no mês (m), no município (mu) e para uma data de cultivo (dc), mm d-1;
- $Pef_{c,m,mu,dc}$  = precipitação efetiva para a cultura (c), no mês (m), no município (mu) e para uma data de cultivo (dc), mm d-1;
- $Ea_{c,mu}$  = eficiência de irrigação para a cultura (c) na região onde se encontra o município (mu), adimensional;
- $A_{c,m,mu,dc}$  = área mensal irrigada de uma determinada cultura (c), no município (mu) e relacionada a uma data de cultivo, ha; e
- $t_{c,mu,dc}$  = duração do ciclo da cultura (c) no mês considerado (m) e correspondente a uma data de cultivo específica (dc), dias.
- $V_{cons,m,mu}$  = volume de consumo da irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m<sup>3</sup>;
- $V_{c,m,mu}$  = volume destinado à irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m<sup>3</sup>;
- $V_{r,m,mu}$  = volume de retorno da irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m<sup>3</sup>;

## Precipitação e Evapotranspiração

A precipitação efetiva corresponde à parcela da precipitação total efetivamente utilizada pela cultura para atender suas necessidades evapotranspirométricas. É estimada em função do armazenamento de água no solo, da evapotranspiração real da cultura e da precipitação total, com base em estudo conduzido pelo USDA (1970) (Equação 5.5).

Equação 5.5

$$P_e = SF (0,70917 P_t^{0,82416} - 0,11556) \cdot (10^{0,02426 ET_c})$$

Em que:

- $P_e$  = precipitação efetiva média mensal, mm;
- $P_t$  = precipitação total média mensal, mm;
- $ET_c$  = evapotranspiração média mensal da cultura, mm; e
- SF = fator de armazenamento de água no solo (= 1).

O fator médio de armazenamento de água no solo (SF) foi fixado em 1,0, correspondente a um valor de armazenamento médio de 75 mm. Conforme discutido em MMA (Brasil, 2011), variações da ordem de 30% no armazenamento, o que abrange a maior parte dos solos sob irrigação, implicariam em correções na precipitação inferiores a 7%, o que é potencialmente inferior aos erros embutidos na totalização de valores mensais, suas extrapolações e interpolações.

Para o cálculo da evapotranspiração potencial ou de referência (ET<sub>o</sub>), o número de estações meteorológicas foi ampliado de 524 para 654 - as variáveis e o resultado do cálculo passaram por um processo ampliado de consistência e preenchimento nas estações e no grid de referência, assim como na precipitação. A incorporação e o aumento de densidade de estações automáticas representam importante ganho de qualidade das estimativas de irrigação, uma vez que se observava maior carência dessas medições em diversos polos de irrigação, aos quais se fazia necessário o uso de dados de estações convencionais distantes, muitas vezes em áreas urbanas.

A ET<sub>o</sub> foi obtida pelo método Penman-Monteith-FAO, conforme Equação 5.6, descrita em Allen et al. (1998), e representa a quantidade de água consumida em uma superfície do solo totalmente coberta com grama em crescimento ativo (altura entre 8 e 15 cm) e sem restrição hídrica.

Após a obtenção da ET<sub>o</sub>, pode-se estimar a evapotranspiração potencial de cada cultura (ET<sub>pc</sub>) agregando-se as informações de coeficientes de cultivo (K<sub>c</sub>) e, por fim, a evapotranspiração real de cada cultura (ET<sub>rc</sub>), agregando-se a estimativa de coeficiente de umidade do solo (K<sub>s</sub>).

## Equações

5.6

$$ET_o = \frac{0,480 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Em que:

- ET<sub>o</sub> = evapotranspiração de referência, mm d<sup>-1</sup>;
- R<sub>n</sub> = radiação líquida à superfície de cultura, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;
- G = densidade do fluxo de calor do solo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;
- T = temperatura média do ar diária a 2 m de altura, °C;
- U<sub>2</sub> = velocidade do vento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;
- e<sub>s</sub> = pressão de vapor de saturação, kPa;
- e<sub>a</sub> = pressão atual de vapor, kPa;
- (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;
- Δ = declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C<sup>-1</sup>; e
- γ = constante psicrométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

5.7

$$ET_{pc} = ET_o K_c$$

Em que:

- ET<sub>pc</sub> = evapotranspiração potencial da cultura, mm d<sup>-1</sup>; e
- K<sub>c</sub> = coeficientes de cultura para determinada fase de desenvolvimento, adimensional.

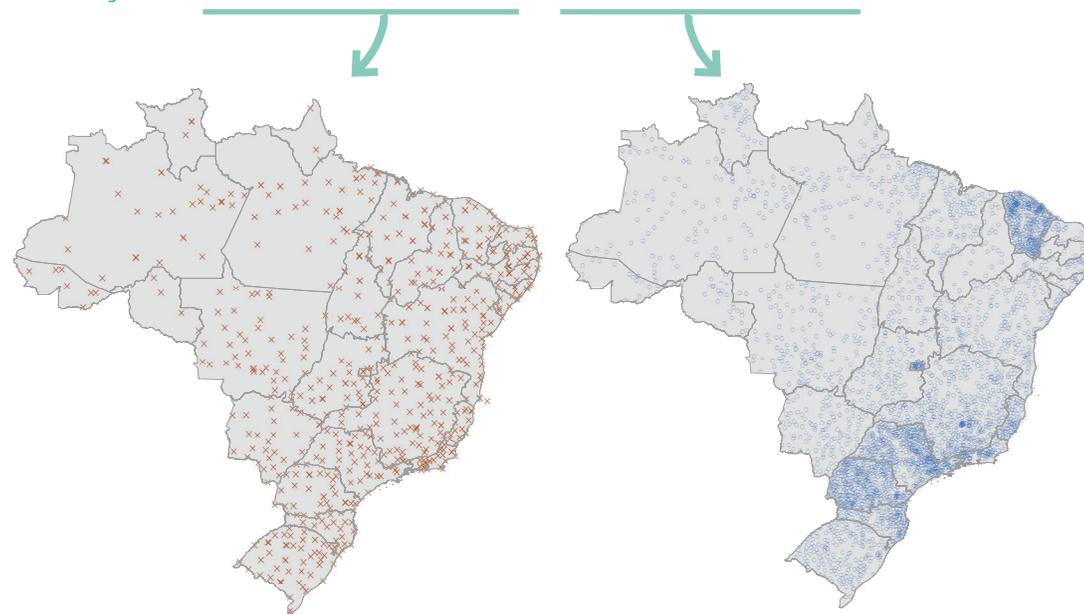
5.8

$$ET_{rc} = ET_{pc} K_s$$

Em que:

- ET<sub>o</sub> = evapotranspiração potencial de referência, mm d<sup>-1</sup>;
- ET<sub>rc</sub> = evapotranspiração real da cultura, mm d<sup>-1</sup>; e
- K<sub>s</sub> = o coeficiente de umidade do solo, adimensional.

## ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS E PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS



Equação 5.9

$$K_s = \left(1 + \frac{\log(LAA+1)}{\log(CTA+1)}\right) / 2$$

$$CTA = CAD \cdot Z$$

$$LAA = CTA \cdot f$$

Em que:

- LAA = lâmina atual de água, mm;
- CTA = capacidade total de armazenamento, mm;
- CAD = capacidade de água disponível, mm;
- Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, m; e
- f = fator de disponibilidade de água quando ainda não há estresse hídrico, adimensional

**A evapotranspiração real da cultura ( $E_{Trc}$ ) é a quantidade de água evapotranspirada por uma determinada cultura sob condições normais de cultivo. A  $E_{Trc}$  está condicionada, além dos elementos meteorológicos, à porcentagem de cobertura do solo, ao tipo de cultura e à disponibilidade de água no solo – condições sintetizadas no valor de  $K_s$ .**

**A evapotranspiração potencial da cultura ( $E_{Tpc}$ ) consiste na evapotranspiração de uma cultura em ótimas condições de umidade e nutrientes no solo, de modo que seja permitida a máxima produção potencial dessa cultura no campo.**

Os coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) consideram a divisão do ciclo de desenvolvimento das culturas temporárias em quatro fases (inicial, desenvolvimento vegetativo, média e final). Para as culturas permanentes a estimativa das durações das fases das culturas não se faz necessária, utilizando-se um  $K_c$  médio para todo o ciclo da cultura. Os valores de  $K_c$  adotados nessa 2ª edição do Manual obtidos da análise da literatura mais recente para algumas das principais culturas (soja, milho, feijão, café e algodão), e do Boletim FAO 56 para as demais culturas.

A duração do ciclo de cada cultura temporária (total e nº de dias em cada fase) depende de vários fatores, como, por exemplo, época de plantio, variedade da cultura e das condições do solo e clima. Para algumas culturas (soja, milho, feijão e algodão), o Manual adotou a metodologia graus-dia acumulado, ou constante térmica, conforme proposto por Arnold (1959) para estimar o ciclo da cultura para cada município nas principais datas de plantio.

Para as demais culturas, adotou-se os valores de referência disponíveis no Boletim FAO 56 adaptados às condições brasileiras por meio da análise dos principais meses de plantio e de colheita das culturas temporárias, conforme definido na 1ª edição do Manual.

**A 2ª edição do Manual de Usos propõe melhorias nos parâmetros de cálculo das estimativas de irrigação para importantes culturas irrigadas por métodos mecanizados (soja, feijão, milho, café), resultando em valores médios mais condizentes com a atual realidade de cultivares e de manejo dessas culturas no Brasil. Anexos digitais com o detalhamento de dados de entrada estão disponíveis em <https://irrigacao.ana.gov.br/>**

O coeficiente de umidade do solo ( $K_s$ ) considerado no Manual corresponde à média entre o momento em que o solo se encontra próximo a capacidade de campo e o limite de depleção de água (Equação 5.9), sendo necessárias informações sobre lâmina atual de água (LAA) e capacidade total de armazenamento (CTA). A determinação desses valores, por sua vez, depende do fator de disponibilidade de água quando ainda não há estresse hídrico ( $f$ ), da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura ( $Z$ ) e da capacidade de água disponível (CAD).

O fator de disponibilidade ou coeficiente de depleção ( $f$ ) representa o percentual limite de água disponível no solo para que a cultura não sofra redução expressiva em sua taxa de

evapotranspiração máxima. O valor depende da cultura e das condições climáticas, sendo adotados os valores obtidos da análise da literatura mais recente para as principais culturas, ou do Boletim FAO 56. Os valores de profundidade do sistema radicular ( $Z$ ) adotaram essas mesmas fontes.

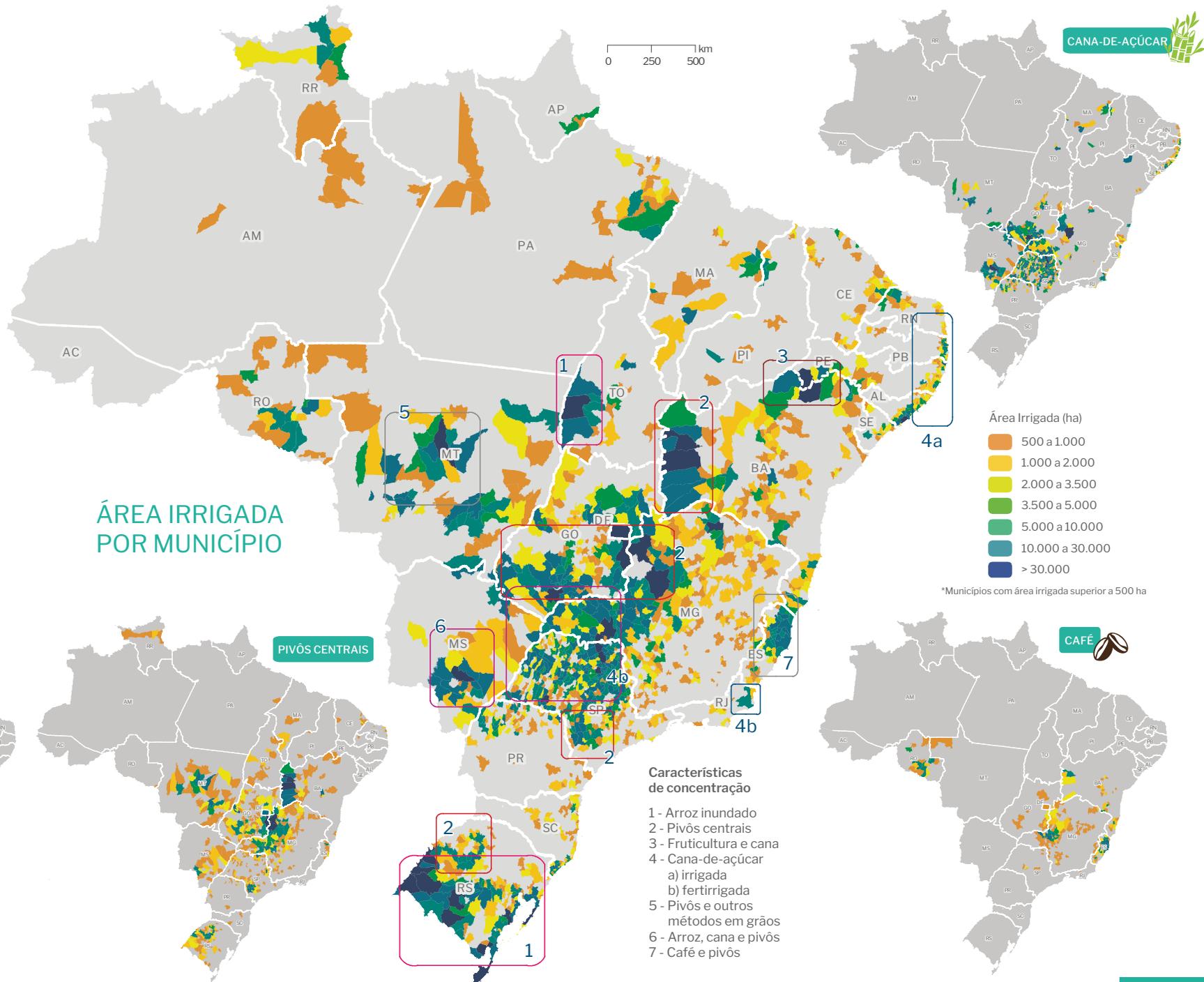
A capacidade de água disponível (CAD) é dada pela diferença entre os limites máximo e mínimo de umidade retida nos solos que se encontra disponível para as plantas – o limite máximo é a capacidade de campo (CC) e o mínimo é o ponto de murcha permanente (PMP).

A obtenção da capacidade de água disponível no solo (CAD) foi modificada em relação à edição anterior do Manual, utilizando dados de entrada do Hydrophysical database for brazilian soils 1.0 (HYBRAS) (Otoni et al., 2018), disponibilizada pela CPRM, e da base de dados de solos 1:250.000 do IBGE. Após testes com modelos de pedotransferência, optou-se por aplicar o modelo Saxton & Rawls (2006) para as amostras do banco de dados que atendiam aos critérios mínimos para sua utilização em termos de granulometria e matéria orgânica; e aplicação do modelo de Saxton et al., (1986) para as demais amostras utilizadas. Os resultados de CAD foram obtidos por polígono do mapa do IBGE, posteriormente convertidos em médias municipais de CAD. Mais detalhes sobre a CAD podem ser obtidos no [portal de Metadados](#).

# Culturas e Áreas Irrigadas

A área irrigada é uma informação-chave na determinação do uso da água pela irrigação. As séries anuais municipais de área equipada basearam-se nos Censos Agropecuários realizados pelo IBGE em 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1996 e 2006 (IBGE, 2006; 2009). Para o diagnóstico mais recente e para as projeções futuras, são adotadas as áreas calculadas pelo Atlas Irrigação 2021 e atualizadas pelos Boletins do SNIRH nº 4 (pivôs centrais) e nº 5 (arroz irrigado).

Em 2022, estima-se a área irrigada em 8,6 milhões de hectares (Mha) – 2,9 milhões de hectares fertirrigados com água de reuso (não utilizam água azul e, portanto, não possuem demanda hídrica associada) e 5,7 milhões de hectares irrigados com água de mananciais.





Os anos de diagnóstico passado sem informação municipal de área irrigada foram preenchidos com interpolação linear da área irrigada entre anos com registro. Para regressão de áreas de 1960 a 1931 foram adotadas as taxas observadas entre 1960 e 1970, ou entre 1960 e 1975, conforme disponibilidade de dados no município.

Sobre a área equipada em cada município é aplicado um coeficiente de transformação de área equipada em área colhida, que depende da composição municipal de culturas e características de número médio de safras. Esse coeficiente foi estimado utilizando a proporção de culturas (temporárias e permanentes) no município e os recentes resultados sobre dinâmica agrícola em pivôs centrais publicados no Boletim SNIRH nº 4.

Além das áreas irrigadas, o método de estimativa requer informações das culturas presentes no município e do calendário de colheita – informações que são assumidas como constantes no horizonte de cálculo. O percentual de cada cultura no município foi obtido pelo Atlas Irrigação e publicações associadas para o arroz, o café e a cana-de-açúcar. Para as tipologias do Atlas “demais culturas em pivôs centrais” e “demais culturas e sistemas” o Manual adota uma cesta de culturas com base nas estatísticas do

Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009) e do Estudo de Bacias Críticas para cerca de 900 municípios (ANA, 2016).

Os calendários de cultivo determinam quais meses e em que proporção ocorre a colheita de determinada cultura no município. Tais dados foram obtidos inicialmente do Censo Agropecuário 2006, aos quais foram associadas informações repassadas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB para as principais culturas irrigadas (arroz, feijão, milho, algodão e soja) e resultados publicados no Boletim SNIRH nº 4.

Cabe ressaltar que ocorrem muitas desidentificações nos dados municipais censitários (área equipada total e área colhida por cultura), em geral devidas ao baixo número de informantes (menos de três). Quando desidentificados, os dados foram preenchidos calculando o número de desidentificações (x) e a diferença entre a área total identificada (sem desidentificações) e a área total obtida. Assim, por exemplo, se a soma das áreas colhidas das culturas identificadas em um município é de 8 mil hectares; a área total (sem distinção de cultura) é de 10 mil hectares; e há duas culturas sem dados (desidentificações), o saldo de 2 mil hectares é distribuído igualmente (preenchimento de mil hectares para cada).

## Eficiência dos Sistemas

Os sistemas de irrigação determinam o potencial de eficiência do uso da água e, portanto, as parcelas de perdas (água retirada não aproveitada pelas plantas). As perdas podem ocorrer por vazamentos na distribuição e no armazenamento, evaporação, arraste ou deriva pelo vento, escoamento superficial e percolação profunda. As perdas não expressam necessariamente desperdício de água, pois nenhum equipamento garante 100% de eficiência e não é possível controlar com precisão todas as variáveis em condições de campo (a exemplo do vento). Indicadores de eficiência de uso da água por tipo de sistema são apresentados no Atlas Irrigação (ANA, 2021).

Com base no Censo Agropecuário do IBGE, para cada cultura em cada município foi associado um sistema preponderante de irrigação, adotando-se os valores de refe-

rência. Na ausência de valores do município, adota-se o sistema predominante da cultura na respectiva mesorregião geográfica.

A vazão de retorno da irrigação no município será obtida considerando a eficiência de uso da água e as perdas por evaporação e arraste durante a aplicação nos sistemas por aspersão. Essas perdas são incorporadas no consumo, uma vez que não são consumidas pela evapotranspiração da cultura, mas também não retornam diretamente aos corpos d'água, sendo esses valores estimados em 8,0% da retirada em pivôs centrais e 12,6% em outros métodos de aspersão, com base em ANA (2004). Nos demais sistemas, não se considera perdas por evaporação/arraste, à exceção do arroz sob inundação, cuja metodologia será detalhada na sequência.

### EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO ADOTADA POR SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

Sistema de irrigação	Eficiência (%)	Perda evaporação/arraste (%)	Retorno (%)
Inundação	50 a 60	-	40 a 50
Sulcos	75	0	25
Aspersão (pivô central)	85	8	7
Aspersão (outros métodos)	80	12,6	7,4
Localizado (gotejamento, microaspersão etc.)	90	0	10
Outros métodos de irrigação e/ou molhação	60	0	40

## Cana-de-açúcar e Arroz inundado

O método geral detalhado anteriormente é empregado para todas as culturas, exceto para a cana-de-açúcar e o arroz inundado, que apresentam características especiais de manejo do uso da água não representadas adequadamente pelo método geral.

Com relação à cana-de-açúcar, consideram-se três formas distintas de manejo da água captada em mananciais: irrigação plena, irrigação suplementar e irrigação por salvamento, sendo esta última a predominante. As áreas de cana nessas três categorias foram separadas no Atlas Irrigação.

A irrigação plena consiste na aplicação da lâmina de água para suprir o déficit hídrico total da cultura, ou seja, conforme o método geral. Entretanto, no décimo mês do ciclo da cana a irrigação deve ser suspensa para favorecer a maturação, significando um corte no uso da irrigação. A irrigação suplementar consiste em suprir parcialmente a deficiência hídrica (assumida em 50% da necessidade total), além de também prever o corte da irrigação no décimo mês do ciclo. Assim, essas duas categorias seguem o método geral para as demais culturas, mas com pequenas adaptações (irrigação de 100% ou de 50% do déficit mensal, e suspensão no décimo mês).

Já a irrigação por salvamento, que corresponde a mais de 80% da área irrigada de cana, consiste na aplicação de água em um

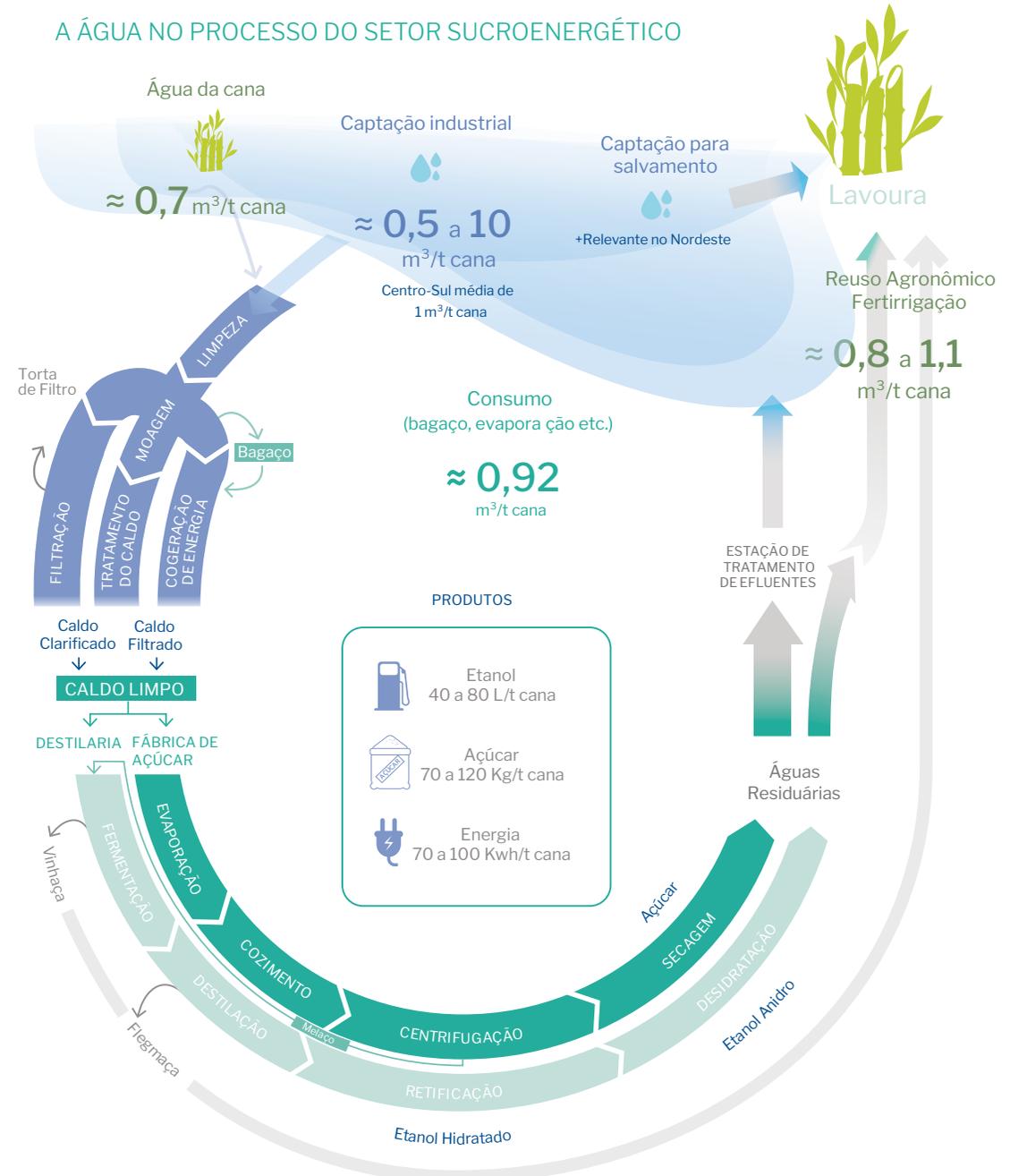
período relativamente curto. O salvamento é realizado com carretel enrolador (hidro roll) ou com pivô rebocável, sendo aplicadas lâminas da ordem de 20 a 80 mm/ano, em geral após cada corte anual da cana, favorecendo sua recuperação, produtividade e longevidade. Esse manejo varia entre usinas e safras - o valor médio obtido no levantamento do Atlas Irrigação e utilizado no Manual foi de 58 mm, distribuído majoritariamente em duas aplicações nos dois meses após o corte.

### ÁREA DE CANA IRRIGADA E VOLUME DE ÁGUA MÉDIO ANUAL (EXCETO FERTIRRIGADA)

	ÁREA (%)	VOLUME (%)
TOTAL IRRIGADA	100	100
SALVAMENTO	75,7	21,6
COM DÉFICIT	20,6	56,2
PLENA	3,7	22,2

Nota: a importância do salvamento reside na grande área de aplicação e na localização dessa demanda em bacias hidrográficas de menor disponibilidade hídrica, especialmente no litoral nordestino. Já as categorias de manejo de irrigação com maior hidrintensidade (plena e suplementar), embora ocupando apenas 25% da área, são responsáveis por cerca de 80% do volume de irrigação em cana, tendo como fontes hídricas um número ainda mais restrito de mananciais.

## A ÁGUA NO PROCESSO DO SETOR SUCROENERGÉTICO



Fonte: adaptado de ANA (2019a).



O salvamento é consorciado (misturado ou alternado) com a fertirrigação propriamente dita, que consiste no reuso agrônômico de efluentes industriais dos processos de produção de açúcar e etanol. Por essa característica, não é possível distinguir com precisão os volumes especificamente captados e os de reuso aplicados nas áreas de salvamento. Em média, ocorre a proporção 1:1 ou 1:2 (ANA, 2019a; 2021).

Nas áreas identificadas como de fertirrigação pura não são estimadas demandas hídras no Manual de Usos. Essa prática com vinhaça e água residuária decorre de decisões de manejo agrícola e industriais, de forma integrada e dependente, tendo como finalidades principais o aproveitamento racional do potencial fertilizante dos efluentes da indústria e o atendimento aos normativos ambientais e às práticas setoriais de sustentabilidade.

Ou seja, a fertirrigação pura (sem mistura com água de manancial) representa áreas presumivelmente apenas com reuso - sendo a demanda de captação já contabilizada no setor agroindustrial. Com o reuso agrônômico, o retorno de água destas agroindústrias para os mananciais tende a ser nulo ou muito baixo. A lâmina aplicada média é de 20 mm, mas com elevada dispersão - há usinas trabalhando com vinhaça concentrada da ordem de 2 a 4 mm até usinas que aplicam lâminas similares às do salvamento (ANA, 2019a)..



Áreas de Cana-de-açúcar na região de Indiaporã (SP), nas proximidades do rio Grande  
Raylton Alves / Banco de imagens ANA

Na rizicultura por inundação, a evaporação da lâmina d'água é um fator crítico a ser considerado no cálculo, bem como os diferentes tipos de manejo – agrupados nos sistemas convencional (cerca de 82% da área) e pré-germinado (cerca de 18%). No primeiro caso a semeadura é realizada em solo não inundado, e a inundação é iniciada alguns dias após a emergência das plantas. No sistema pré-germinado, a irrigação se inicia antes da semeadura, durante os procedimentos finais de preparo do solo. Após esta etapa, a altura da lâmina d'água é elevada até um determinado nível e mantida assim até a semeadura, que ocorre em solo inundado. Devido a essas peculiaridades, considera-se, nos períodos de enchimento dos quadros e de pré-semeadura, que a demanda de água é a de evaporação, uma vez que a cultura ainda não está estabelecida.

Considerando um ciclo médio de 135 dias, o sistema convencional exige 100 dias de irrigação até alcançar o momento de esvaziamento dos tabuleiros e preparação para a colheita. No pré-germinado, a irrigação inicia-se cerca de 25 dias antes da semeadura, totalizando um período da ordem de 130 dias de irrigação. Apesar da diferença no número de dias sob irrigação, o consumo unitário de água na média da safra é similar, pois no pré-germinado, embora com mais dias de irrigação, a necessidade de reposição de água

por perdas de percolação é menor do que no sistema convencional.

O suprimento de água necessário ao arroz sob inundação varia de 6 a 12 mil m<sup>3</sup> por hectare, equivalente a 0,7 a 1,75 litro por segundo por hectare (SOSBAI, 2018). Nas estimativas atuais do Manual, a média nacional de retirada é de 8,3 mil m<sup>3</sup> de água por hectare, equivalente a 1.050 litros de água para cada kg de arroz produzido. As condições de manejo da cultura e do solo, de declividade, de clima e as cultivares selecionadas condicionam diferentes volumes de água aplicados pelos produtores. Uma cultivar de ciclo mais longo, em solo mais arenoso, com maior declividade e em anos mais secos demandará mais água, por exemplo.

Nas estimativas do arroz são consideradas, além das vazões de retirada (captada nos corpos hídricos) e de retorno (água que retorna aos mananciais), duas classes de consumo: o consumo efetivo, que se refere ao que é consumido pela lavoura durante o período de irrigação; e a vazão de consumo, dada pela diferença entre a retirada e o retorno, mensalmente.

A metodologia aplicada no Manual considera quatro períodos de manejo da irrigação no sistema convencional e sete etapas no manejo pré-germinado, como proposto por Amaral et al. (2005) com base em

Gomes & Pauletto (1999), Embrapa (2003), Sosbai (2003), Weber et al. (2003), Gomes et al. (2004), Marchezan et al. (2004) e Petrini et al. (2004). Nessa referência, adotada na 1ª edição do Manual, a vazão unitária de retirada no período de demanda normal, que responde por 80 a 90% da demanda total do arroz convencional, era fixa em 1,75 litro por segundo por hectare para todos os municípios.

A Nota Técnica ANA nº 06/2022/SPR atualizou a metodologia e passou a calcular essa vazão unitária por ano e município, de acordo com o clima observado localmente e as características dos solos e dos parâmetros físico-hídricos associados - condutividade hidráulica (K - cm por dia), porosidade drenável ( $\mu$  - %) e camada impermeável ou nível freático (Pimp - cm).

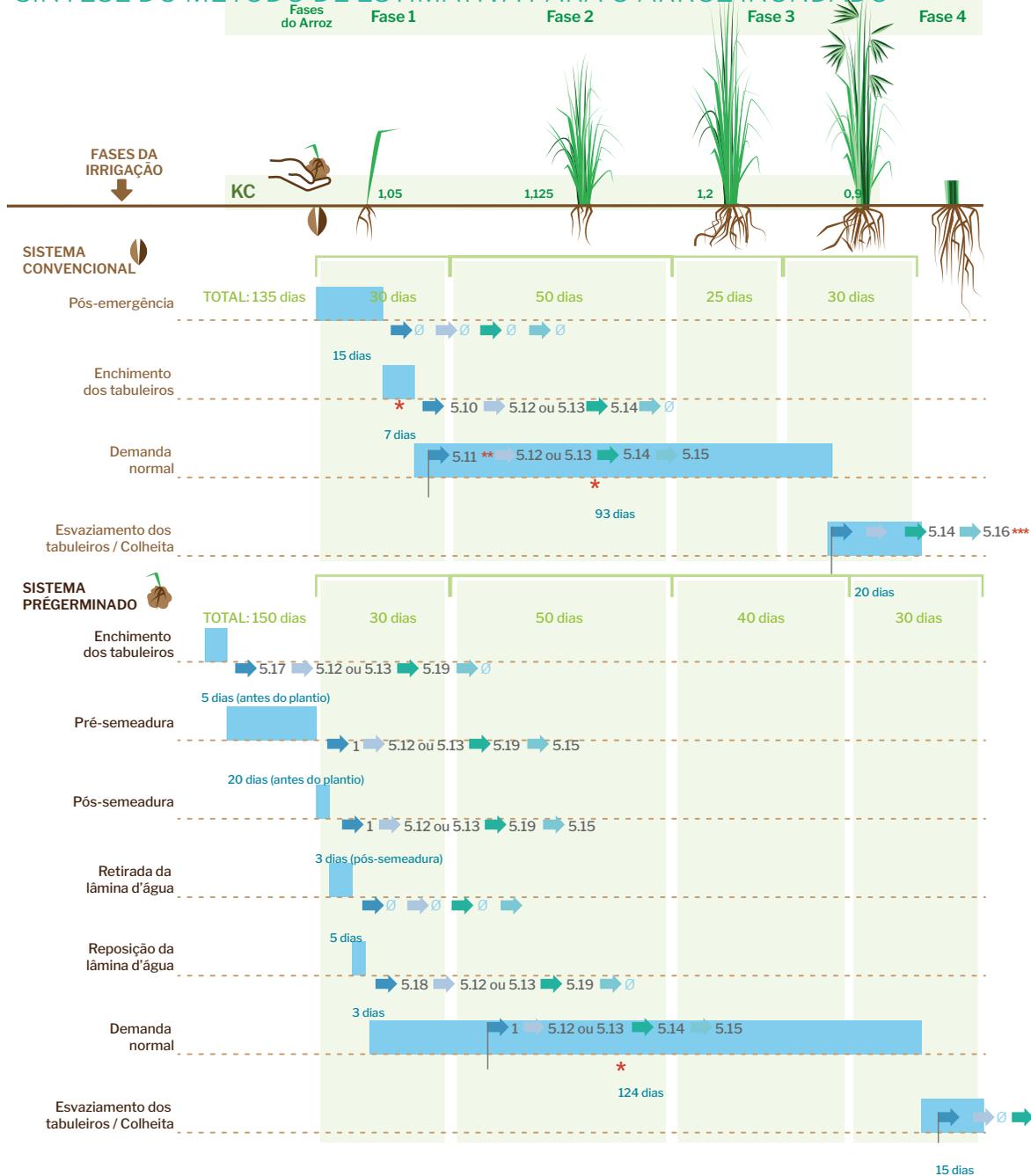
A Nota também revisou a duração do ciclo do arroz nas quatro fases de desenvolvimento e os respectivos coeficientes de cultivo (Kc), além de propor a alteração da lâmina de inundação de 10 cm para 7 cm e ajustes nas equações para cálculo do retorno no período de esvaziamento dos tabuleiros. A metodologia atual, destacando as atualizações da Nota ANA nº 06/2022/SPR em relação ao proposto na 1ª edição do Manual, está sintetizada no infográfico e equações a seguir.

Destaca-se que não ocorre retirada para irrigação no primeiro e últimos períodos (pós-emergência e esvaziamento dos tabuleiros). No período de enchimento dos tabuleiros, a vazão unitária é calculada a partir da consideração de que, no momento de início da inundação, o volume de água necessário para a saturação do perfil corresponde ao volume dos macroporos do solo desde a sua superfície até a profundidade da camada impermeável. No período de demanda normal, calcula-se a vazão unitária por ano e município conforme expresso nas equações e detalhado na NT ANA nº 06/2022/SPR. O Ks foi mantido em 0,9 no período 1, e nos demais períodos foi considerado Ks igual a 1,0.

No arroz pré-germinado, mesmo antes do estabelecimento da cultura, já existe consumo considerável de água para a atmosfera devido à perda por evaporação. Apesar de mais dias sob irrigação, a necessidade de reposição de água por perdas de percolação é menor que no sistema convencional.

Destaca-se que, nos períodos de retirada da lâmina d'água e esvaziamento dos tabuleiros do pré-germinado, a vazão unitária/retirada foi considerada nula. Para os períodos pré-semeadura, pós-semeadura e de demanda normal (que somam 122 dos 130 dias com irrigação), a vazão unitária adota é fixa, de

# SÍNTESE DO MÉTODO DE ESTIMATIVA PARA O ARROZ INUNDADO



## Equações

5.10

$$Q_{unit} = \frac{100[(uP_{imp}) + H_{lam}]}{T_{ench} \cdot 864} + \frac{(ET_0 K_c K_s)}{8.640}$$

5.11

$$Q_{unit} = O_d + \frac{(ET_0 K_c K_s)}{8.640}$$

5.12

$$Q_{retr} = [Q_{unit} - \left(\frac{P}{8.640}\right)] A$$

5.13

$$Q_{retr} = 0$$

A Equação 27 é utilizada quando  $\left(\frac{P}{8.640}\right) < Q_{unit}$  e a Equação 28 nas demais situações.

5.14

$$Q_{cons} = \left[\frac{(ET_0 K_c K_s) 10}{86.400}\right] A$$

No período de pós-emergência  $K_s$  igual a 0,9, enquanto nos demais períodos  $K_s$  igual a 1,0.

5.15

$$Q_{retorno} = Q_{retirada} - Q_{consumo}$$

se  $Q_{retorno} < 0$ , então  $Q_{retorno} = 0$

5.16

$$Q_{retorno} = \left(\frac{H_{lam} \cdot 1000 A}{T_{esvaz} \cdot 86.400} + \frac{P 10}{86.400} A\right) - Q_{cons}$$

5.17

$$Q_{unit} = \frac{10.000[(uP_{imp}) + H_{lam}]}{T_{ench} \cdot 86.400} + \left(\frac{ET_0 \cdot 10}{K_r \cdot 86.400}\right)$$

5.18

$$Q_{unit} = \left(\frac{H_{lam} \cdot 10.000}{T_{ench} \cdot 86.400}\right) + \left(\frac{ET_0 \cdot 10}{K_r \cdot 86.400}\right)$$

5.19

$$Q_{cons} = \left(\frac{ET_0 \cdot 10}{K_r \cdot 86.400}\right) A$$

## Equações - Legenda

- $Q_{retr}$  = vazão de retirada,  $m^3 s^{-1}$ ;
- $Q_{unit}$  = vazão unitária,  $m^3 s^{-1} ha^{-1}$ ;
- $Q_{retorno}$  = vazão de retorno,  $m^3 s^{-1} ha^{-1}$ ;
- $Q_{cons}$  = vazão de consumo efetivo,  $m^3 s^{-1} ha^{-1}$ ;
- $A$  = área irrigada, ha;
- $u$  = macroporosidade média do solo,  $m^3 m^{-3}$ ;
- $P_{imp}$  = profundidade média da camada impermeável, m;
- $P$  = total precipitado, mm;
- $H_{lam}$  = altura da lâmina d'água superficial, m;
- $T_{ench}$  = duração do período de enchimento dos tabuleiros, dias;
- $T_{esvaz}$  = duração do período de esvaziamento dos tabuleiros, dias;
- $ET_0$  = evapotranspiração potencial da cultura,  $mm d^{-1}$ ;
- $K_c$  = coeficientes de cultura para determinada fase de desenvolvimento, adimensional;
- $K_s$  = coeficiente de umidade do solo, adimensional; e
- $K_t$  = coeficiente do tanque classe A, adimensional.

## LEGENDA

- Duração (dias)
- ← Vazão Unitária (l/s/ha)
- ← Vazão de Retirada
- Consumo Efetivo
- Vazão de Retorno

Principais alterações no método em relação à 1ª edição do Manual:

- \* 1** Número de dias com irrigação de 73 para 100 dias no arroz convencional e de 115 para 130 dias no pré-germinado
- \*\* 2** Valor fixo de 1,75 L.s-1.ha-1 é substituído pela equação 26 com cálculo da vazão de drenagem, a partir das características físico-hídricas dos solos com arroz em cada município
- \*\*\* 3** Ajustes de cálculo do retorno no período de esvaziamento

1,0 L s<sup>-1</sup> ha<sup>-1</sup>, seguindo as recomendações de Sosbai (2003) e já adotada anteriormente pelo Manual.

As características de preparo do solo no sistema pré-germinado não recomendam o emprego da mesma metodologia utilizada no sistema convencional para o período de demanda normal. Ocorre maior desestruturação na superfície fazendo com que os solos possuam um comportamento físico-hídrico distinto das características originais. No período de demanda normal, por exemplo, após pesquisas sobre as práticas atuais, a Nota nº 06/2022/SPR propôs a manutenção do coeficiente de 1,0 L.s<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup> para este manejo.

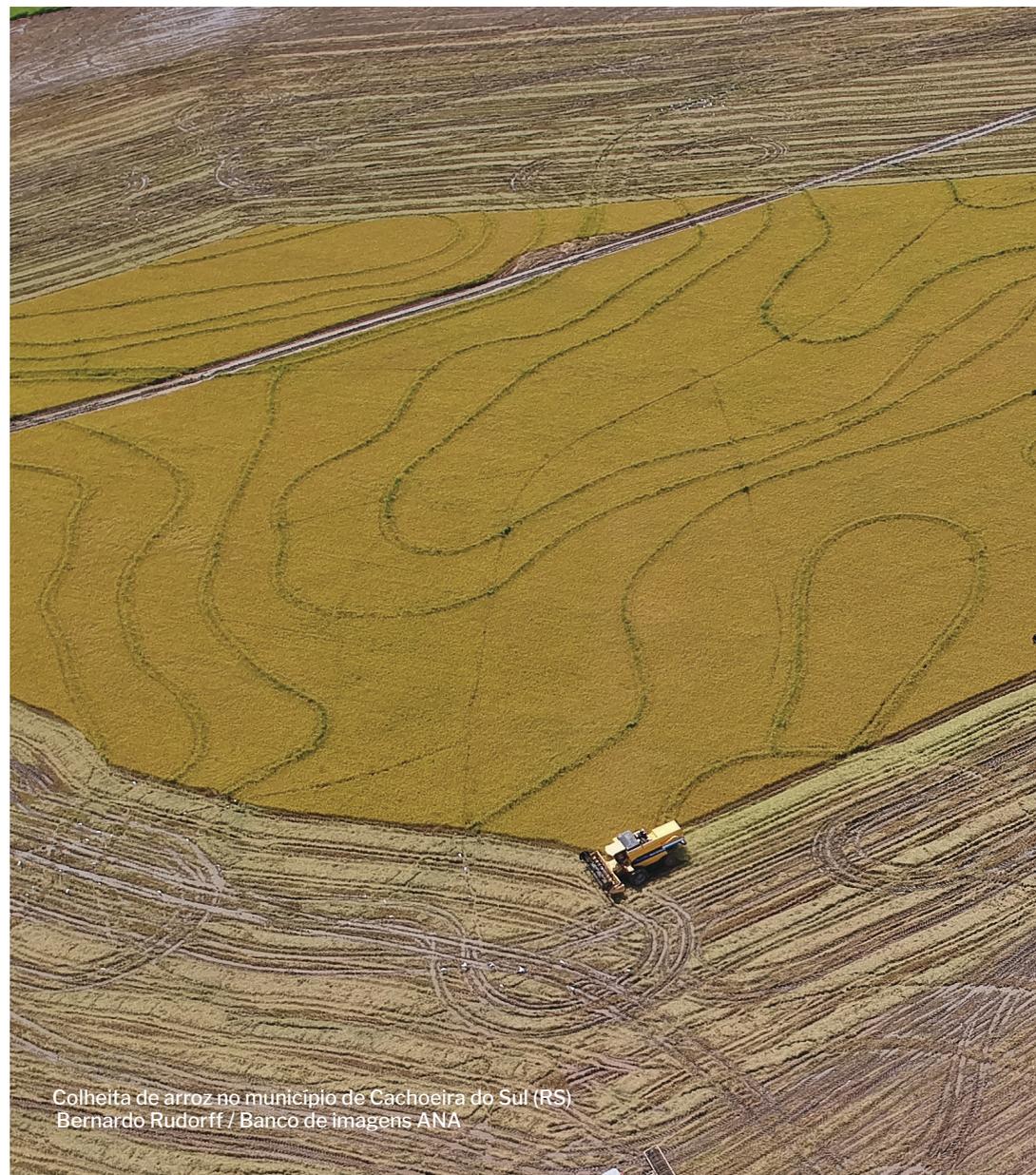
Como o processo de evaporação da água nos tabuleiros não se altera significativamente durante os primeiros dias após a semeadura, pois a transpiração das plantas e a cobertura do dossel ainda são pequenas, o consumo efetivo de água, no período compreendido entre o início do enchimento dos tabuleiros e o final da reposição da lâmina d'água, foi estimado considerando apenas a ocorrência de evaporação equivalente à do tanque classe A, adotando-se o coeficiente do tanque (Kt) de 0,8. Nos demais períodos Kt é igual a 1,0.

Em termos de resultados agregados, a metodologia atualizada tende a uma redução da ordem de 7% da demanda de retirada, mesmo com o aumento do número de dias com irrigação, pois há redução global da de-

manda unitária. Dentre os municípios, a vazão pode ser expressivamente superior ou inferior, já que, no sistema convencional, a vazão unitária no período de demanda normal passa a ser individualizada (e não mais fixa em 1,75 L.s<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>), variando entre 0,77 a 1,77 L.s<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>, e com média de 1,22 L.s<sup>-1</sup>.ha<sup>-1</sup>. Já na demanda de consumo (demanda evapotranspirométrica) há tendência de aumento pelo efeito do maior número de dias em campo, com diminuição do retorno. No aspecto temporal, a distribuição mensal da demanda mostra-se mais coerente com as práticas atuais, com atenuação de picos mensais e maior distribuição ao longo dos meses de cultivo e desenvolvimento.

A atualização da metodologia do arroz sob irrigação, cultura de maior demanda hídrica nacional, constitui-se como uma das principais novidades da 2ª edição do Manual.

**Por fim, considerando os procedimentos de cálculo apresentados anteriormente para todas as culturas, assim como as especificidades da cana-de-açúcar e do arroz inundado, as vazões estimadas para cada município (retirada, consumo e retorno) correspondem ao somatório das vazões estimadas para cada cultura e mês.**



Colheita de arroz no município de Cachoeira do Sul (RS)  
Bernardo Rudorff / Banco de imagens ANA



## Resultados

As séries de vazões de retirada de água para irrigação (1931-2040) reiteram que ocorreu incremento significativo do uso de 1980 até a atualidade, e que as demandas devem prosseguir aumentando no horizonte futuro.

Entre 1980 e 2022 a demanda quase triplicou. As maiores oscilações médias anuais na demanda justificam-se por anomalias climáticas, ou seja, picos representam anos mais secos em importantes polos de agricultura irrigada (maior necessidade de suplementação) e decréscimos representam

anos mais úmidos (menor necessidade de irrigar), embora a área irrigada cresça continuamente.

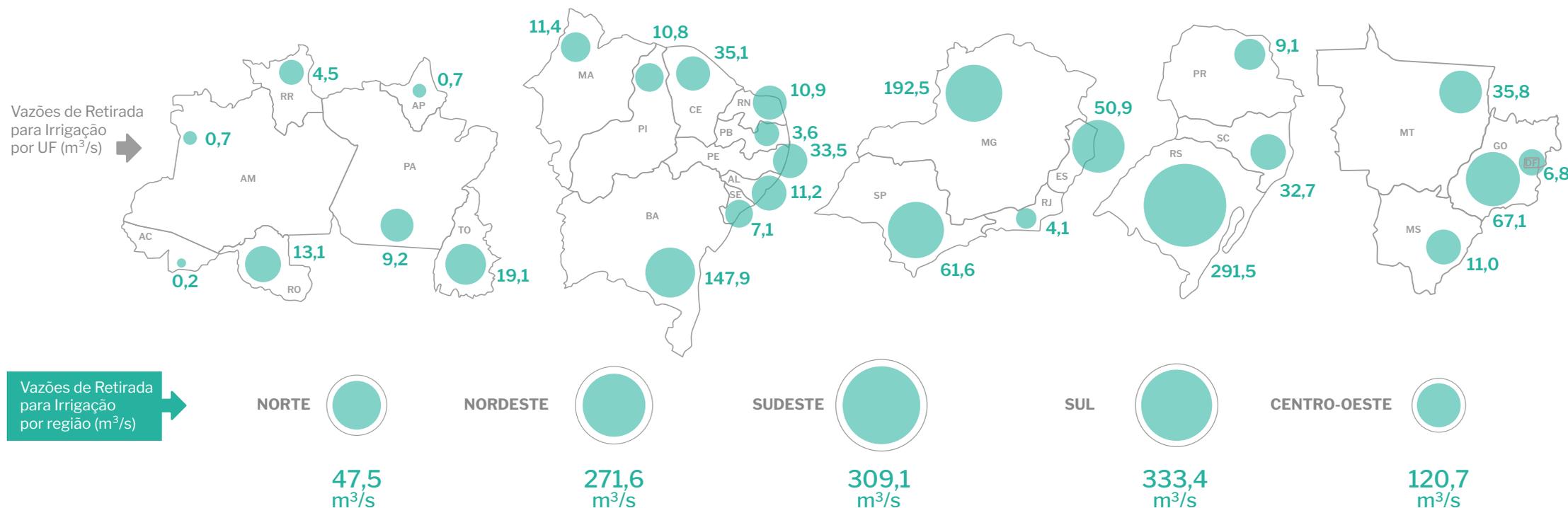
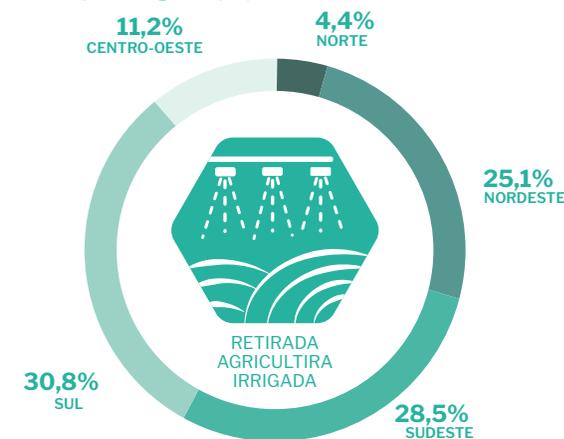
O total extraído pelo setor foi de 1.082 m<sup>3</sup>/s em 2022. As projeções futuras indicam um crescimento de 41% nas vazões retiradas, alcançando 1.524 m<sup>3</sup>/s em 2040.

Na perspectiva territorial, nota-se o predomínio da atividade no Sul em 1940, e de forma mais difusa em São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Santa Catarina. Atualmente a atividade ocorre em todo o País, concentrada nos tradicionais polos do Sul e em

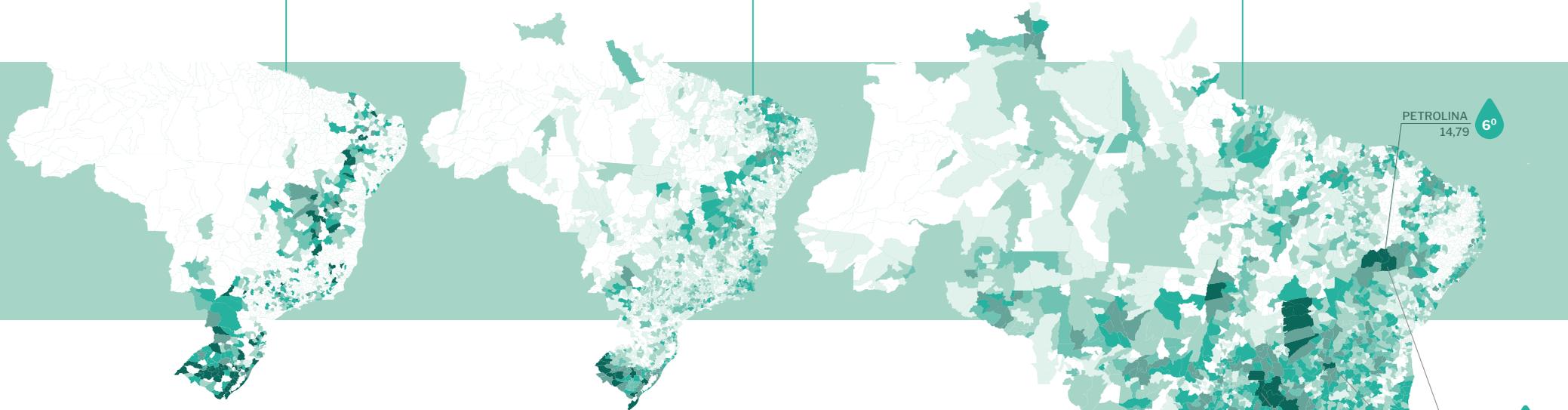
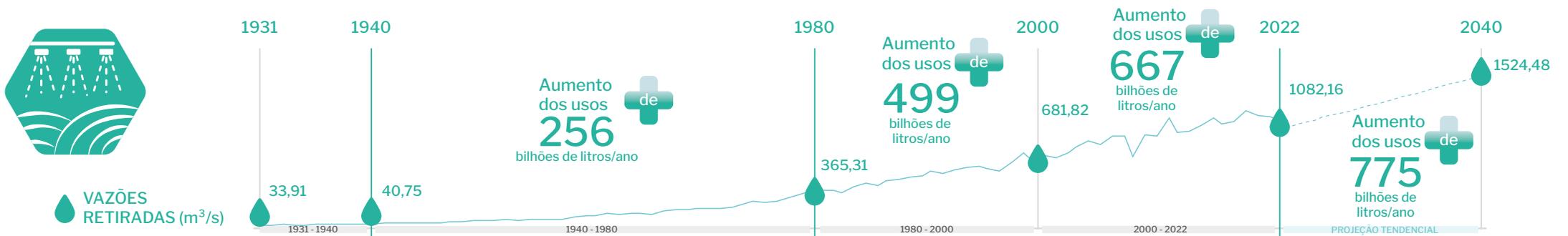
polos mais recentes no Oeste Baiano, no Triângulo e Noroeste Mineiros, no Semiárido, no Tocantins e em São Paulo.

Como consequência, todas as regiões geográficas apresentam demandas relevantes, exceto a Norte. O Nordeste e o Sul, embora apresentem menores áreas irrigadas, apresentam proporcionalmente maiores demandas em relação ao Sudeste e ao Centro-Oeste, já que a necessidade de irrigação é maior, respectivamente, pelo clima mais seco (Semiárido) e pelo manejo mais hidrintensivo do arroz sob inundação (Sul).

Vazões de retirada da irrigação por região (%) 2022



## Séries de Vazões 1931 a 2040 - Agricultura Irrigada

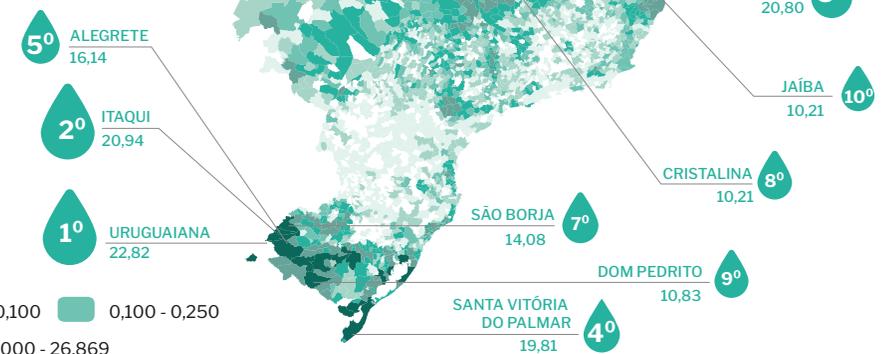


Destacam-se com elevadas demandas municípios de tradicional produção de arroz no Rio Grande do Sul - cultura, que associada ao sistema por inundação, apresenta elevadas demandas unitárias de água. Petrolina/PE e Juazeiro/BA - municípios limítrofes - também apresentam relevantes áreas irrigadas, principalmente em projetos públicos, e elevadas demandas unitárias de água, em função de sua localização no Semiárido. Os municípios do entorno de Cristalina/GO estão no Cerrado - onde há um marcante período seco, quando a prática agrícola só se viabiliza com irrigação.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/porta1](http://www.snirh.gov.br/porta1) > Usos da Água.

### MAIORES VAZÕES RETIRADAS (M³/S) POR MUNICÍPIO (2022) AGRICULTURA IRRIGADA

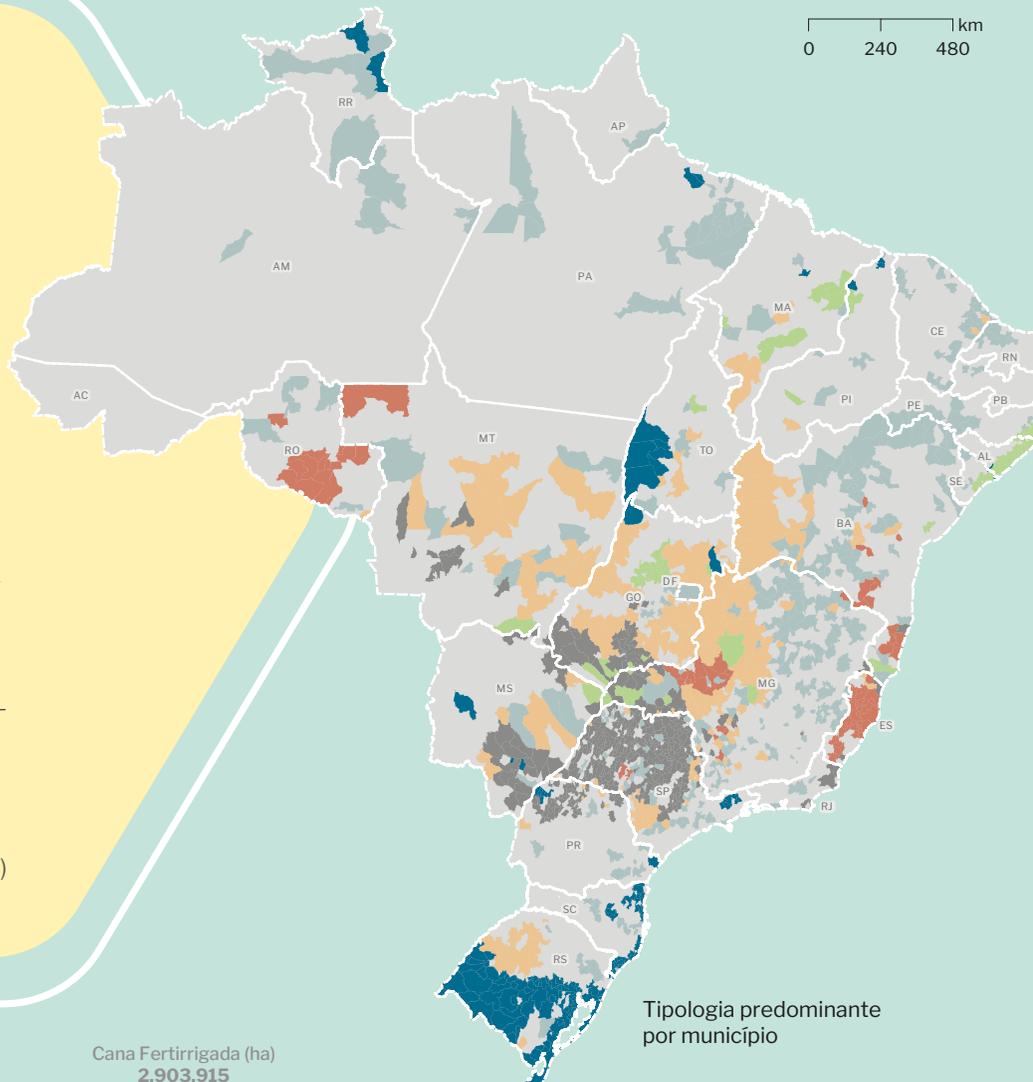
#### VAZÃO RETIRADA (m³/s)





O Atlas Irrigação, elaborado pela ANA com diversos parceiros, é o principal documento sobre o tema no Brasil, reunindo dados secundários e, principalmente, dados inéditos sobre áreas irrigadas, dinâmica agrícola nessas áreas e potencial de expansão. Atualizado e ampliado em 2021 depois da 1ª edição de 2017, o Atlas segue em permanente melhoria em dados e ferramentas para conhecimento e acompanhamento da irrigação brasileira.

O levantamento de áreas irrigadas atuais, a projeção dessas áreas e o potencial de expansão (capacidade de suporte) são os principais dados de entrada do Atlas para a estimativa de uso da água no Manual de Usos. O Manual, por sua vez, é a referência metodológica para todas as estimativas de demanda hídrica atual e futura no Atlas e em outras iniciativas da ANA relacionadas como Planos de Recursos Hídricos de bacias interestaduais e os Planos Nacionais de Segurança Hídrica (PNSH) e de Recursos Hídricos (PNRH).



Tipologia predominante por município

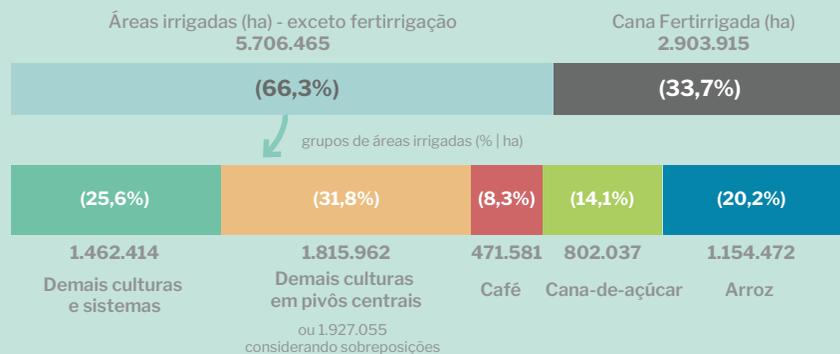
- Arroz
- Café
- Cana irrigada
- Cana fertirrigada
- Culturas anuais em pivôs centrais
- Outras culturas e sistemas

\*Municípios com área irrigada superior a 500 ha



MANUAL E BASE NACIONAL DE USOS CONSUNTIVOS

**Áreas Irrigadas em 2022:**  
**5,7 Mha irrigadas + 2,9 Mha fertirrigadas = 8,6 Mha**



# MINERAÇÃO

## Introdução

A mineração (ou indústria extrativa mineral) abrange os processos de extração de substâncias minerais. O Brasil está dentre os maiores produtores mundiais de diversas substâncias, como minério de ferro, bauxita, alumina, nióbio e fosfato. Além de importante exportador, o país possui demanda de substâncias para atividades como a indústria, a agropecuária e a construção civil.

O uso da água na mineração ocorre em atividades de desmonte hidráulico, drenagem e rebaixamento de mina, umectação de pátios de estocagem, lavagem de equipamentos e de minério, processos de flotação e concentração, disposição de rejeitos e controle/tratamento dos efluentes, dentre outras (ANA & IBRAM, 2024).

A mineração demanda volumes expressivos de água, equivalentes à demanda para abastecimento de toda a população rural brasileira, sendo que a mineração se caracteriza pela maior concentração no território, ou seja, em poucos mananciais, notadamente em alguns municípios em Minas Gerais e no Pará.

Estudos anteriores (notadamente em ONS, 2003; 2005) utilizaram coeficientes rela-

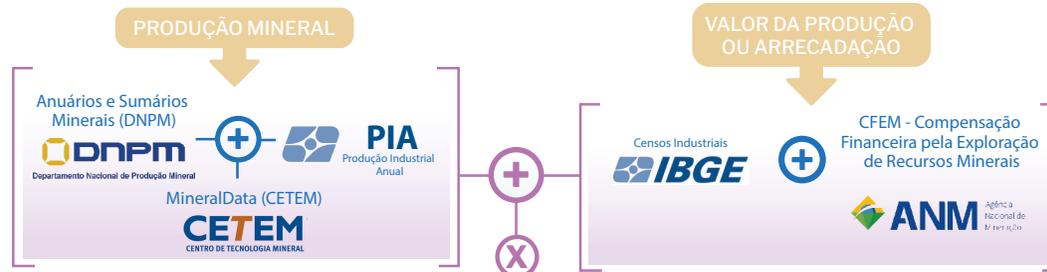
cionados ao valor da produção extrativa mineral. O parâmetro nacional de captação de água foi definido em  $0,132 \text{ m}^3$  a cada US\$1 produzido; e de retorno da água aos mananciais em  $0,106 \text{ m}^3$  a cada US\$1 produzido. O consumo, portanto, corresponderia a 20% da retirada.

O método proposto no Manual utiliza dados de produção mineral efetiva, por tipo ou grupo de substância, associados a coeficientes técnicos específicos (volume de água necessário para produção de uma tonelada, de acordo com a tipologia). Essa abordagem confere maior precisão às estimativas e permite análises mais detalhadas sobre o uso da água pela indústria extrativa.

Assim como na indústria de transformação, as diferentes tecnologias empregadas na mineração em plantas com o mesmo perfil de produção podem levar a variações significativas no uso da água, o que deve ser considerado em aplicações da metodologia e dos dados no nível local. A busca constante por inovação e tecnologias que aprimorem o uso da água é essencial para a manutenção das operações no setor minerário (ANA & IBRAM, 2024).

6

## SÍNTESE DO MÉTODO E DOS DADOS - MINERAÇÃO



Síntese do Método de Estimativa das Vazões Associadas ao Setor Industrial



## Método e Base de Dados

O método de cálculo associa a produção mineral (toneladas/ano), por tipo ou grupo de substância, a coeficientes técnicos (volume de água médio necessário para a produção de cada tonelada).

Considerando a importância e representatividade da produção, foram definidos quatro agrupamentos de minérios: carvão mineral, minério de ferro, minerais metálicos não-ferrosos e minerais não-metálicos. A maior parte da demanda de metálicos não-ferrosos concentra-se na produção de alumínio e seus concentrados (bauxita); e a de minerais não-metálicos na extração de minerais para fabricação de adubos, fertilizantes e outros produtos químicos.

A maior parte dos coeficientes técnicos de retirada e de consumo utilizados para a estimativa das demandas hídricas do setor mineral são baseados no estudo realizado pelo MMA (BRASIL, 2011), que contou com a participação do setor. Para esta edição do Manual, foram reavaliados os coeficientes anteriormente adotados para o carvão mineral e os minérios de manganês e estanho, a partir dos Relatórios Anuais de Lavra (RAL), disponibilizados à ANA pela ANM. Os coeficientes médios de 6,25 m<sup>3</sup>/t adotados para essas substâncias, pela inexistência de informações mais atualizadas em escala nacional, foram substituídos pelos

obtidos a partir da consistência e análise dos RAL.

Além dos diferentes valores de retirada (m<sup>3</sup>/t), destaca-se a variação no consumo médio: desde 8,6% da retirada (metais preciosos), alcançando até 85% (alumínio). Considerando a participação das diferentes tipologias minerais, o consumo médio global da atividade é da ordem de 30% da retirada.

As séries históricas de volume da produção mineral estão disponíveis apenas no agregado nacional. No período anterior a 2005, foram utilizados dados provenientes do MineralData, mantido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). As principais fontes do MineralData são o Anuário Mineral Brasileiro e o Sumário Mineral Brasileiro, que publicam dados desde 1972 e 1981, respectivamente. Dados anteriores a 1980 foram obtidos de publicações do IBGE (desde 1940) ou, no caso do minério de ferro, do Balanço Mineral Brasileiro (DNPM, atual ANM; desde 1930).

A partir de 2005, são utilizados preferencialmente os dados de produção da Pesquisa Industrial Anual - PIA (IBGE, 2021).

Para a desagregação da produção da escala nacional para a municipal, foram utilizadas séries auxiliares de dados da atividade

mineral: séries de valor da produção mineral dos Censos Industriais (decenais ou quinquenais), de 1940 a 1985; e, a partir de 2004, séries municipais de arrecadação da CFEM - Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, da Agência Nacional de Mineração (ANM).

A desagregação das demandas em base municipal também considerou a análise de dados georreferenciados de lavras, disponibilizados pela ANM. Essa análise identificou que a produção de minério de ferro distribui-se em municípios dos estados do Amazonas, Amapá, Bahia, Ceará, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e São Paulo. A produção de carvão mineral concentra-se nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nessas duas categorias, que concentram a maior parte da demanda, a desagregação da produção nacional nos municípios foi feita apenas nos respectivos Estados produtores identificados. Entretanto, a existência de lavras nem sempre significa que houve produção efetiva no município, conforme demonstram os dados desagregados da CFEM por substância mineral.

Dada a concentração da atividade mineral de grande porte em poucos municípios, a

utilização de dados secundários para desagregação da produção mineral, com os critérios adotados, resulta em importante refinamento de alocação territorial das demandas nos municípios. O cálculo utilizando unidades efetivamente produzidas (produção física) representa outro importante refinamento, em comparação com os métodos nacionais empregados anteriormente.

Ressalta-se que em anos sem dados, com dados omitidos ou com falhas, os valores de produção mineral ou de valor da produção foram preenchidos com outra fonte disponível ou interpolados linearmente entre anos com dados.

Com as informações de produção mineral (tonelada por classe mineral) e os coeficientes técnicos adotados (m<sup>3</sup> de água por tonelada), as vazões de retirada são calculadas pela simples multiplicação. O consumo é obtido aplicando-se o respectivo percentual e o retorno é a diferença entre esses indicadores.

## Resultados

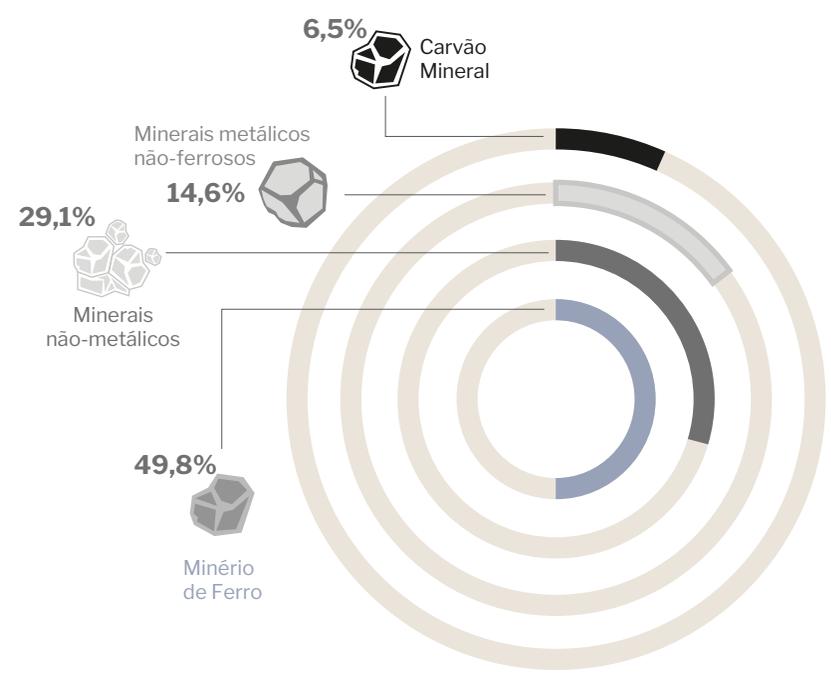
A principal referência de estudo setorial que aborda o cenário futuro do setor de mineração é o Plano Nacional de Mineração 2030 (BRASIL, 2011b), no qual foram definidas taxas de crescimento para diversas classes de minérios para um futuro próximo (até 2022) e distante (2022-2030).

O PNM 2050 ainda se encontrava em elaboração na atualização do Manual. Portanto, nesta 2ª edição foram adotadas as taxas do PNM 2030 para o período 2022-2030, extrapoladas até 2040.

Destaca-se inicialmente a proporção das vazões de retirada para as quatro categorias de substância mineral. O minério de ferro responde por cerca de 50% das retiradas, seguido pelos minerais não metálicos (29%), metálicos não-ferrosos (15%) e carvão mineral (6%).

O consumo, por outro lado, é maior dentre os minerais metálicos não-ferrosos, notadamente por conta do alumínio (80% da produção desse grupo) e cujo coeficiente médio de consumo é de 85% da retirada.

### Retirada por tipologia mineral (2022)



Mineração em Serrana (SP)  
Raylton Alves - Banco de Imagens/ANA

As séries de vazões de retirada de água pela mineração (1931-2040) revelam que ocorreu incremento significativo do uso a partir da década de 1970. A demanda dobrou entre 1970 e 1980 e quadruplicou entre 1980 e a atualidade. A queda observada em 2009 foi devida à crise econômica global vivenciada, com impactos significativos no mercado internacional de minério de ferro.

O total extraído pelo setor foi de 26,3 m<sup>3</sup>/s em 2022. As projeções futuras indicam um

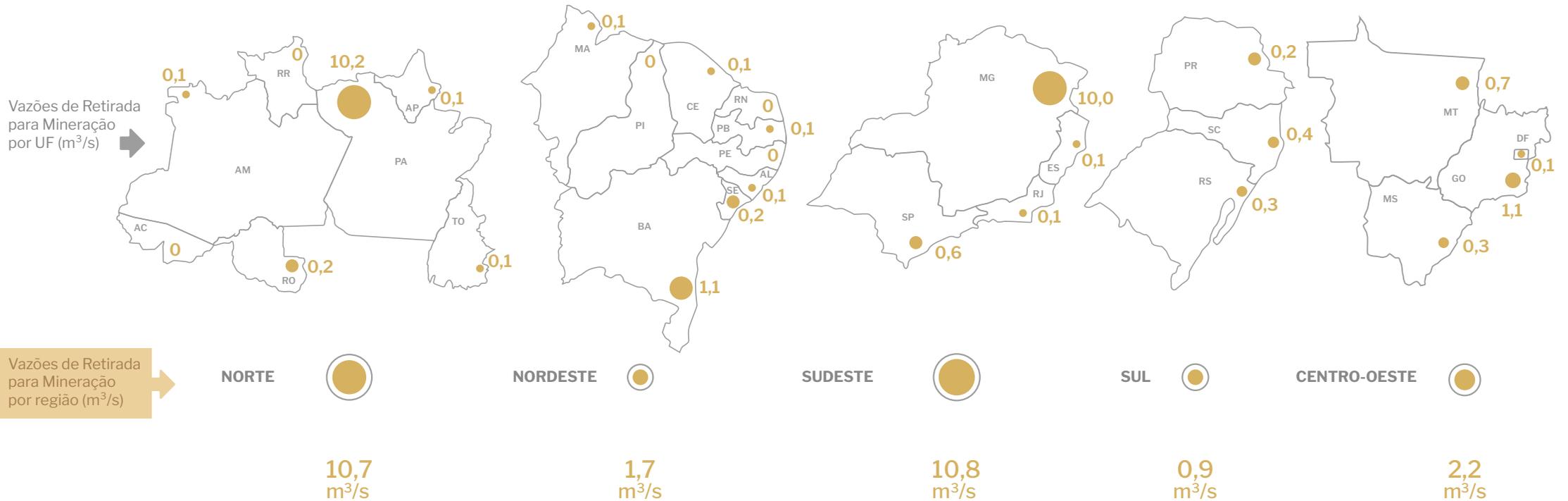
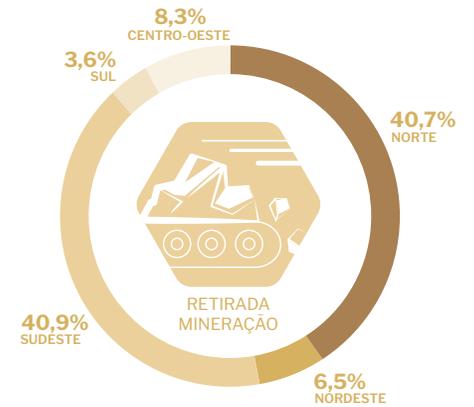
crescimento de até 75% das vazões para a extração mineral, alcançando 46 m<sup>3</sup>/s em 2040.

Os dados destacam a concentração do uso da água nos estados de Minas Gerais (38%) e Pará (39%), respondendo conjuntamente por 77% (20,3 m<sup>3</sup>/s) da retirada. Por consequência, as regiões Sudeste e Norte concentram a maior parte do uso.

Rio Grande do Sul, Santa Catarina, São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Bahia, em-

bora muito atrás dos maiores produtores, apresentam maiores demandas hídricas no contexto nacional.

Vazões de retirada para Mineração por região (%) - 2022

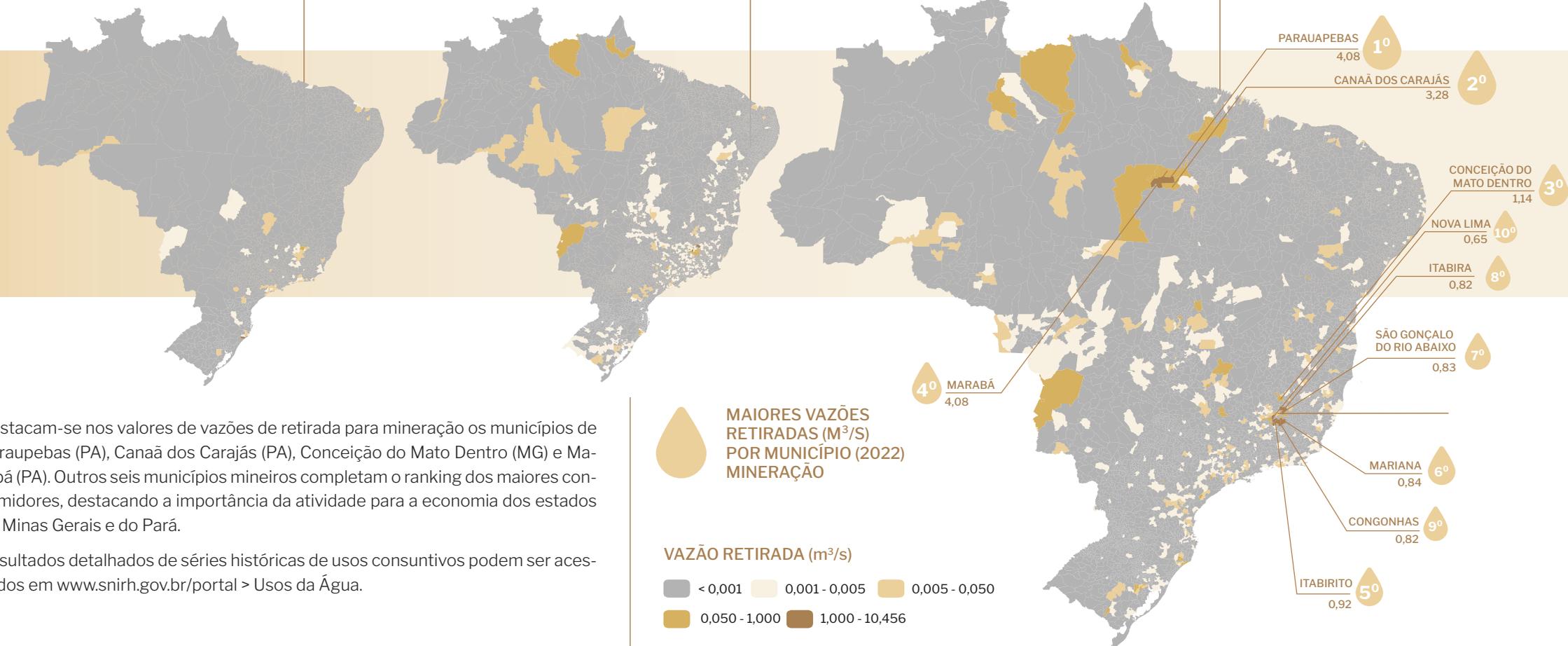
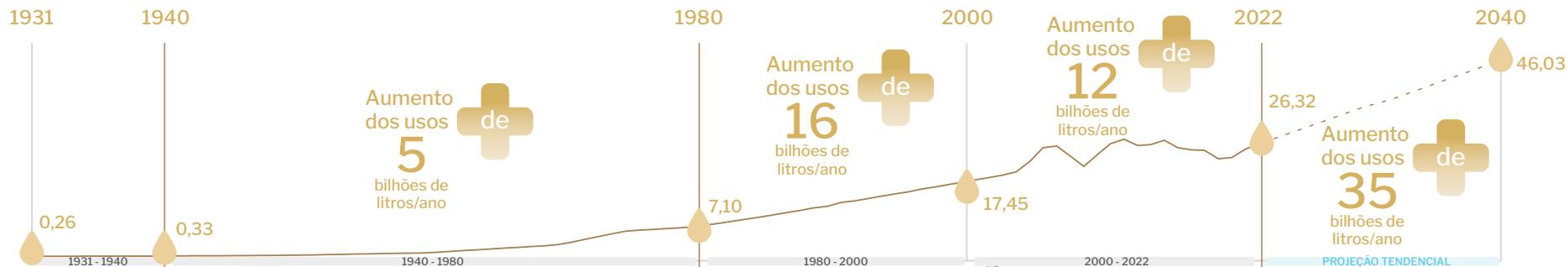




# Séries de Vazões 1931 a 2040 - Mineração



VAZÕES RETIRADAS (m³/s)



Destacam-se nos valores de vazões de retirada para mineração os municípios de Paraupebas (PA), Canaã dos Carajás (PA), Conceição do Mato Dentro (MG) e Marabá (PA). Outros seis municípios mineiros completam o ranking dos maiores consumidores, destacando a importância da atividade para a economia dos estados de Minas Gerais e do Pará.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.

MAIORES VAZÕES RETIRADAS (M³/S) POR MUNICÍPIO (2022) MINERAÇÃO



# TERMOELETRICIDADE

## Introdução

A energia termoelétrica é produzida por uma central com calor gerado pela queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Parte do calor não é convertida em eletricidade, sendo liberada principalmente por meio dos sistemas de resfriamento das turbinas. Os sistemas de resfriamento a água demandam volumes expressivos desse recurso.

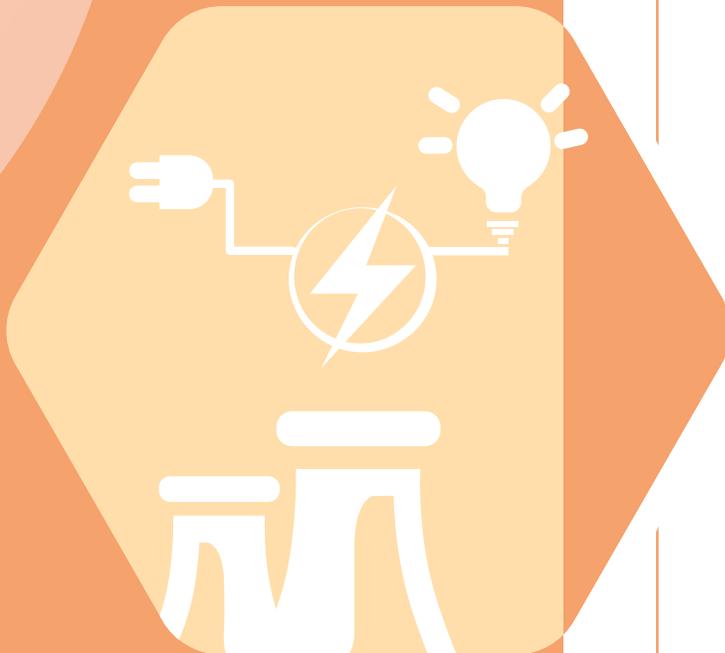
As térmicas têm ganhado relevância na capacidade instalada de geração de energia brasileira, especialmente a partir dos anos 2000, alcançando 24,3% (48,4 GW) de participação na matriz elétrica em operação em dezembro de 2023 (199,3 GW) - atrás apenas da hidroeletricidade com 51,3%, de acordo com o Sistema de Informações de Geração - SIGA (ANEEL).

As térmicas conferem flexibilidade e segurança ao sistema energético nacional. Expandiram-se também por conta de impactos e dificuldades na geração hidrelétrica, a exemplo das alterações interanuais no regime hidrológico, custos e longo tempo necessário para estudo, projeto, licenciamento

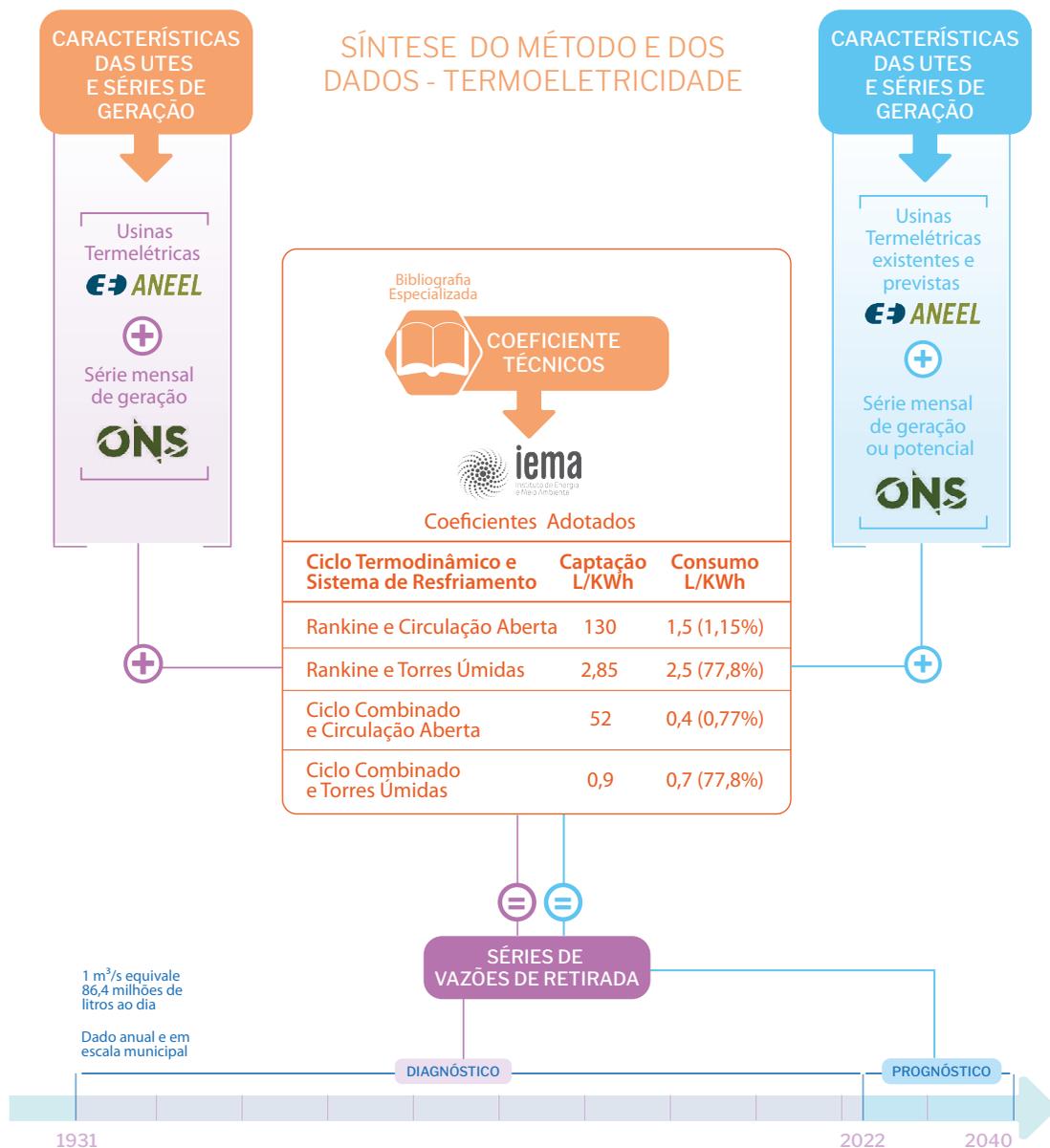
e construção, além do relativo esgotamento do aproveitamento hidrelétrico para empreendimentos atrativos de grande porte.

A crescente tendência de uso dessa alternativa tecnológica na geração de energia, a alta demanda de água associada e a maneira como a água residual é devolvida ao meio ambiente levaram a ANA a desenvolver estimativas para o setor. A inclusão dessa categoria de uso representa um desafio e, ao mesmo tempo, uma possibilidade para melhor caracterizar o uso dos recursos hídricos no território nacional.

A demanda de água em Usinas Termelétricas (UTE) depende das tecnologias de geração, tipo de combustível e sistema de resfriamento, bem como de condições ambientais intervenientes. A operação irregular - muitas vezes como fonte complementar à demanda não atendida pela geração hidrelétrica - também influencia expressivamente a variação sazonal e interanual das estimativas.



7



## Método e Base de Dados

O método para estimativa do setor termelétrico consiste na aplicação de coeficientes técnicos (litros por energia gerada) às séries de geração (energia efetivamente gerada) ou, na ausência dessa informação, ao potencial de geração.

Os coeficientes são agrupados em quatro categorias, com a associação entre a tecnologia de conversão do calor em energia elétrica (ciclo termodinâmico) e o sistema de resfriamento de cada UTE, conforme expresso no infográfico.

Das tecnologias de conversão mais utilizadas - Rankine, Brayton (ciclo aberto), combinado (combinação das duas anteriores) e motor a combustão - em geral apenas as do tipo Rankine e combinado dependem de sistemas de resfriamento, que podem ser a ar ou a água. O resfriamento com água pode ocorrer em sistema aberto ou sistema semi-fechado com torres úmidas evaporativas.

Dessa forma, a demanda relevante por água ocorre em térmicas que utilizam ciclo termodinâmico Rankine ou combinado e que possuem sistema de resfriamento a água (circulação aberta ou com torres úmidas).

Do universo de 3 mil unidades geradoras térmicas operadas com combustíveis fósseis, biomassa e nuclear no Brasil, a maior parte é de geradores de pequeno porte a diesel. Angra I e Angra II (nucleares) possuem capacidade de 2 GW e utilizam água do mar no sistema de resfriamento. De

acordo com o levantamento realizado, apenas cerca de 100 UTEs efetivamente demandam volumes de água significativos em seus processos - totalizando cerca de 45% da capacidade instalada total.

A ANEEL disponibiliza, por meio do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL) e do Banco de Informações de Geração (BIG), algumas características das usinas termelétricas. São disponibilizados dados referentes à localização, início da operação, potência outorgada, potência fiscalizada, destino da energia, proprietário, município e fonte/combustível.

As informações características de cada UTE para aplicação dos coeficientes técnicos (ciclo termodinâmico e sistema de resfriamento) foram obtidas diretamente do ONS e de publicações específicas, especialmente do IEMA (2016). Informações do sistema de resfriamento de UTEs que operam com carvão mineral também foram obtidas em Arroyo (2012). Para algumas UTEs a gás natural o ciclo termodinâmico consta no Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007) - VER 2050.

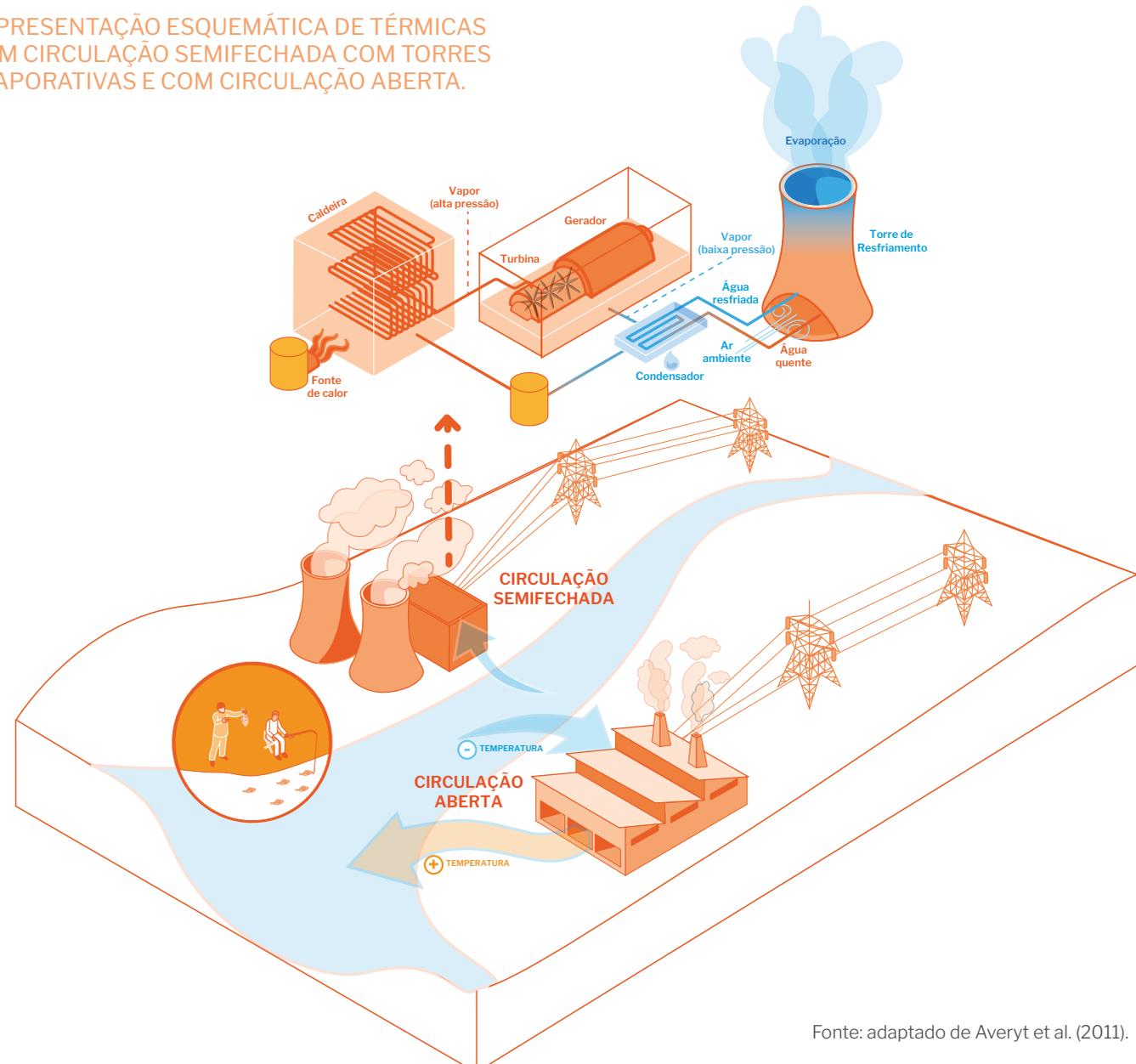
Quando não disponíveis os dados referentes ao ciclo termodinâmico e ao sistema de resfriamento, que definem o valor dos coeficientes utilizados, foram assumidas as características de acordo com a tabela apresentada a seguir.

Combustível	Sistema de resfriamento	Ciclo termodinâmico
Biogás	Circulação Aberta	Combinado
Carvão Mineral	Circulação Aberta	Rankine
Gás de Refinaria	Circulação Aberta	Combinado
Gás Natural	Torre Úmida	Combinado
Óleo Combustível	Circulação Aberta	Rankine
Efluente Gasoso	Circulação Aberta	Combinado
Enxofre	Circulação Aberta	Combinado
Gás de Alto Forno	Circulação Aberta	Combinado
Gás de Processo	Circulação Aberta	Combinado
Gás Siderúrgico	Circulação Aberta	Combinado

Os coeficientes técnicos adotados foram obtidos pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2016), com base em trabalhos de Stillwell (2011) e Delgado e Herzog (2012). Foram consideradas eficiências de 50% para o ciclo combinado e 34% para o ciclo Rankine.

Nota-se que no resfriamento por circulação aberta os coeficientes de retirada são sensivelmente superiores, mas o consumo é da ordem de 1% (quase toda a água retorna). Já no resfriamento com torres úmidas, a retirada de água é bastante inferior, mas o consumo é percentualmente elevado. Assim, os valores de consumo por energia gerada são comparáveis entre os diferentes sistemas de resfriamento, sendo superiores no uso de torres úmidas.

## REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE TÉRMICAS COM CIRCULAÇÃO SEMIFECHADA COM TORRES EVAPORATIVAS E COM CIRCULAÇÃO ABERTA.



Fonte: adaptado de Averyt et al. (2011).



As séries médias mensais de geração (2000-2023) das UTEs operadas de forma centralizada foram obtidas no ONS via painéis de histórico de operação. Essas UTEs concentram 70% da potência outorgada e apresentam grande variabilidade sazonal e intranual de geração, em função do acionamento variável, como fonte complementar ao sistema elétrico. Em anos sem informação ou com falhas nos dados, foi considerada a média mensal de geração de cada UTE, a partir da série disponível.

Para as demais usinas, sem séries de geração disponíveis, foi considerada uma geração constante correspondente à potência outorgada ou fiscalizada.

Com as séries mensais de geração de energia e os coeficientes técnicos (a partir do ciclo termodinâmico e do sistema de resfriamento associado a cada UTE), as demandas de retirada e de consumo são obtidas pela simples multiplicação, sendo o retorno aos mananciais a diferença entre retirada e consumo.

As séries médias mensais de geração ou, na ausência dessa informação, a potência foram os dados de entrada para as projeções de demandas até 2040, para as UTEs já em operação.

Destaca-se que conforme a disponibilidade de dados mensais de operação ou de previsão de novas UTEs, essas podem ser incorporadas em atualizações das séries históricas disponibilizadas no Portal do SNIRH.



**Barragem da Usina Hidrelétrica Jaguará, no rio Grande, na divisa entre Rifaina (SP) e Sacramento (MG).  
Raylton Alves / Banco de imagens ANA**

# Resultados

Mesmo sendo uma atividade de intensificação mais recente, a retirada de água por UTEs, em escala nacional, é superior à soma de todas as retiradas para mineração e abastecimento humano no meio rural.

O consumo médio, entretanto, é baixo, equivalente a 3% da retirada, uma vez que grande parte da demanda está relacionada a UTEs com sistemas de resfriamento de circulação aberta, onde quase toda a água retorna ao corpo hídrico. Há, entretanto, UTEs cujos consumos são superiores a 70% da

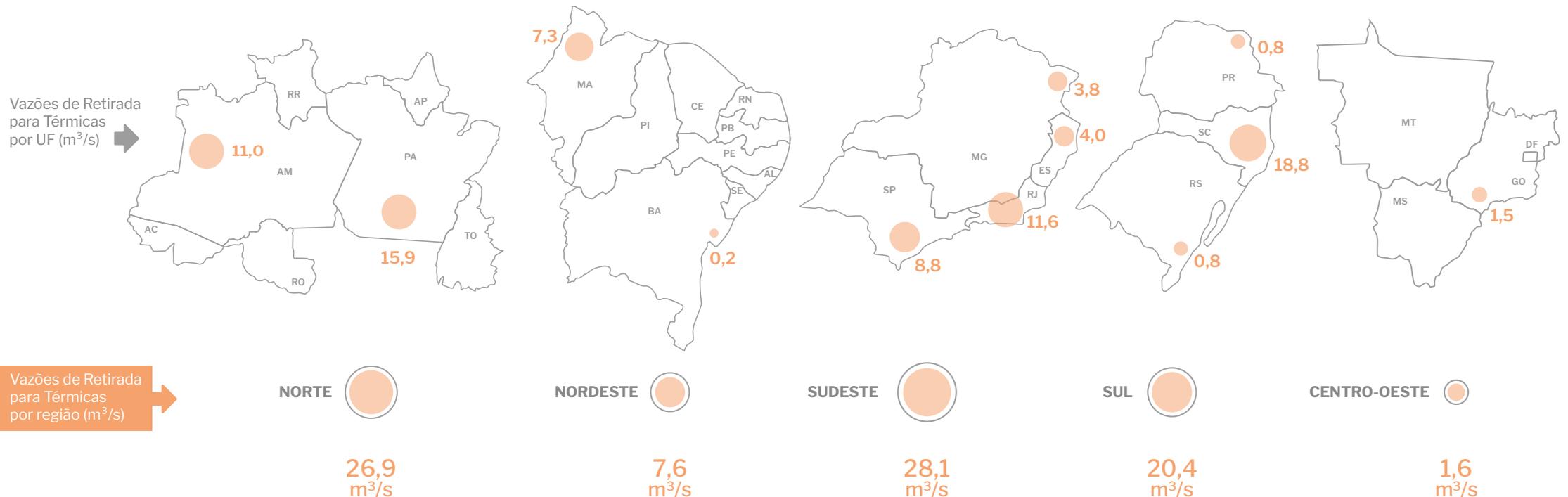
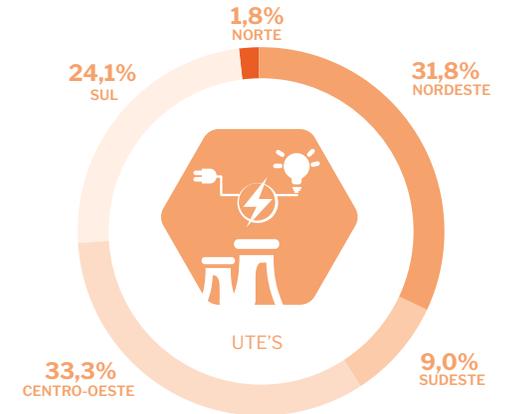
retirada, estando relacionadas aos sistemas de resfriamento com torres úmidas.

As termelétricas, por questões econômicas, são operadas como fonte complementar, sendo muitas vezes acionadas de acordo com a demanda não atendida pela geração hidrelétrica, sob determinado grau de risco. Esta característica confere às termelétricas uma condição de grande variabilidade na operação sazonal e interanual, observada no gráfico a partir do ano 2000, quando

passam a estar disponíveis séries de geração mensal efetiva.

A variabilidade operativa e, conseqüentemente, no uso da água é acentuada, onde são observados saltos expressivos na demanda, superando 100 m<sup>3</sup>/s em 2014 e 2015, em função do elevado nível de acionamento das UTEs em comparação com o histórico. Isso ocorreu em função da crise hídrica que afetou expressivamente a geração hidrelétrica nesses anos.

Vazões de retirada termoelétrica por região (%) 2022



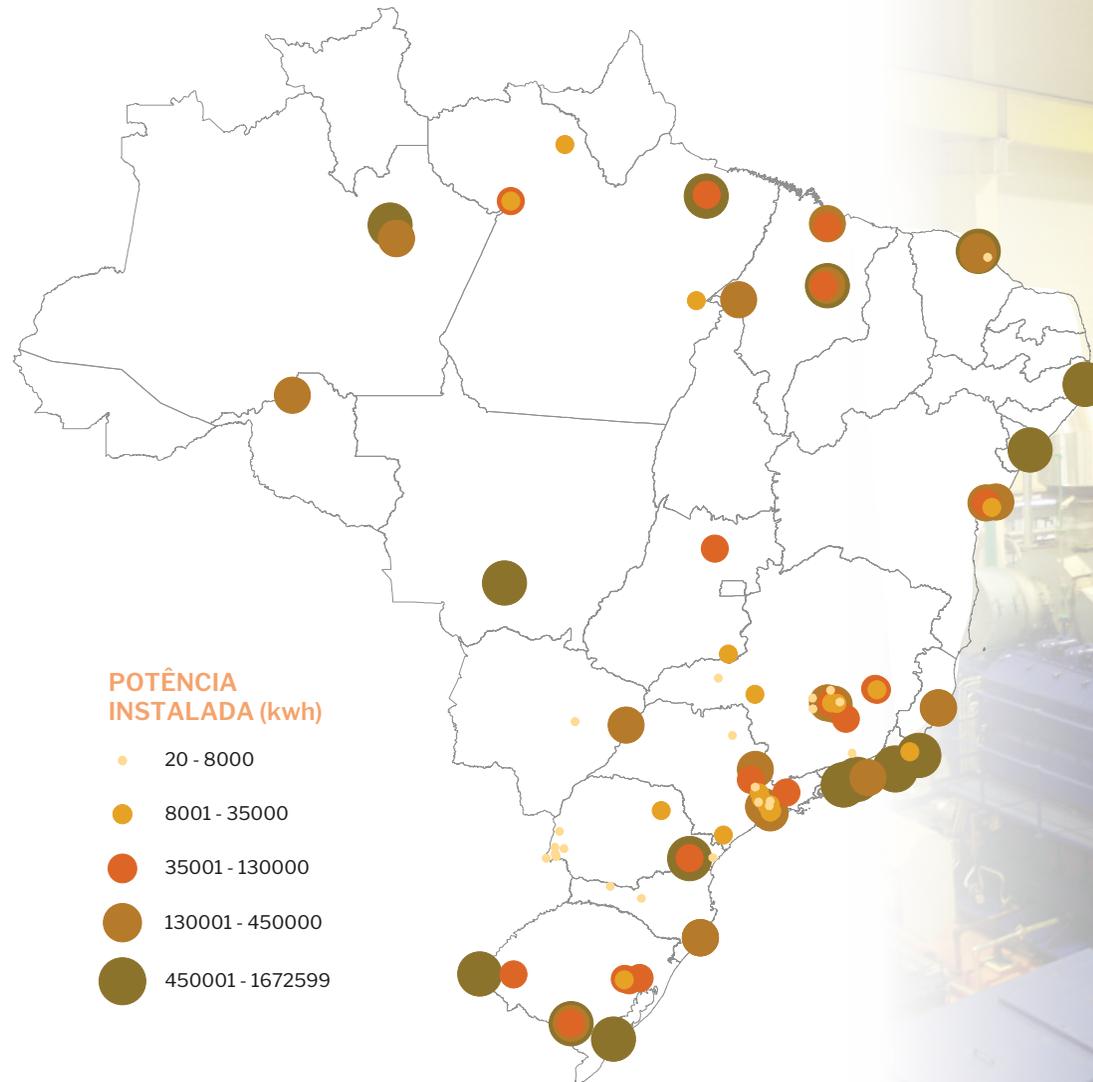


As séries de vazões de retirada de água pelas térmicas (1954-2030) reiteram a expansão a partir dos anos 1980. As demandas iniciam-se em 1954 na cidade de São Paulo com a inauguração da UTE Piratininga. Até 1960, a demanda concentra-se em São Paulo e no Rio Grande do Sul, totalizando 2 m<sup>3</sup>/s. Entre os anos de 1980 e 2000 observa-se uma maior distribuição espacial das termelétricas, resultando no aumento das vazões de retirada, com registros variando de 33,6 m<sup>3</sup>/s, em 1980, a 62,6 m<sup>3</sup>/s, em 2000. O total extraído pelo setor foi de 84,6 m<sup>3</sup>/s em 2022.

No cenário futuro, com a entrada em operação de novas unidades e a continuidade da operação das atualmente ativas, a demanda média deve aumentar. O cenário pode ser sensivelmente modificado com a previsão de novas UTEs, alterações nas condições hidrológicas e consequente mudanças no regime de operação das UTEs existentes em relação ao seu histórico de operação.

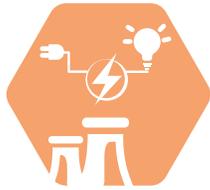
Os dados destacam que há importantes termelétricas que utilizam água especialmente nas regiões Sudeste, Norte e Sul, destacando-se os Estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Amazonas e Pará.

### LOCALIZAÇÃO E POTÊNCIA INSTALADA DAS TÉRMICAS ANALISADAS



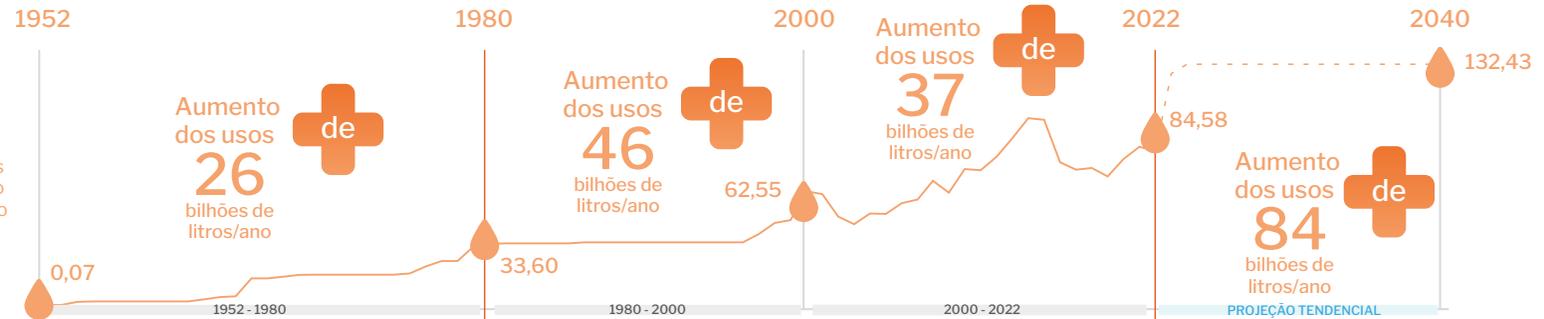
Termelétrica Camaçari - BA  
Manu Dias / Banco de imagens ANA

## Séries de Vazões 1952 a 2040 - Termelétricas



**VAZÕES  
RETIRADAS (m<sup>3</sup>/s)**

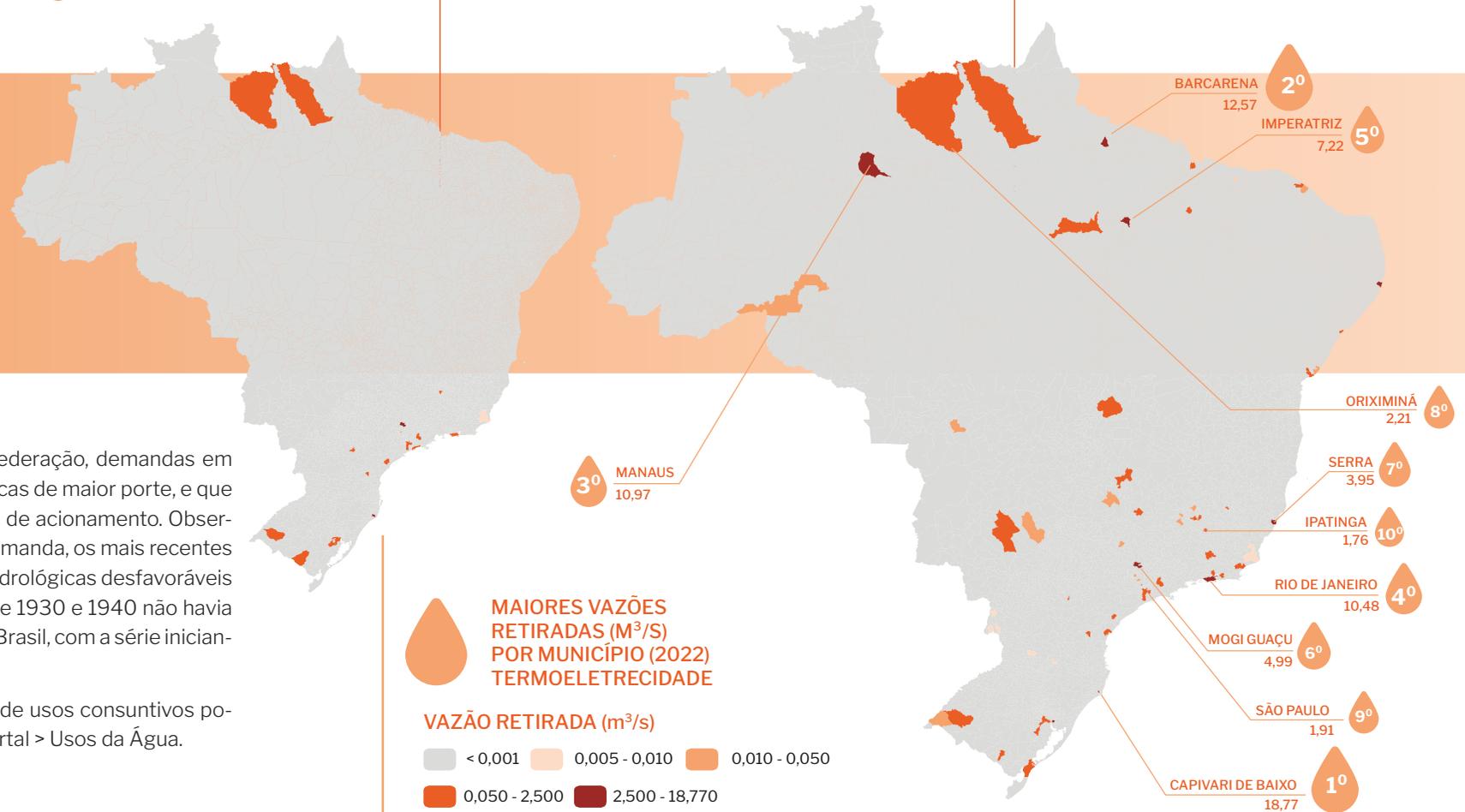
As séries históricas das usinas termelétricas no Brasil iniciam a partir do ano de 1952.



Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)

Destacam-se, em diferentes unidades da federação, demandas em municípios com concentração de termelétricas de maior porte, e que possuem alta variabilidade anual e intranual de acionamento. Observa-se no gráfico diversos anos de pico da demanda, os mais recentes em 2014 e 2015, em função de condições hidrológicas desfavoráveis para a geração hidroelétrica. Nas décadas de 1930 e 1940 não havia retirada de água relevante para esse uso no Brasil, com a série iniciando em 1954 na cidade de São Paulo.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.





# EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DE RESERVATÓRIOS

## Introdução

A construção de reservatórios pressupõe que os benefícios à regularidade e garantia da oferta de água superam eventuais impactos negativos sobre a vazão natural e os usos. Assim, a evaporação que ocorrerá no lago é considerada desde a fase de concepção e projeto e permanece como um dado importante para a gestão do reservatório pelo operador. No setor elétrico, por exemplo, esses valores são considerados desde a reconstituição das séries de vazões naturais e a modelagem de garantias físicas até a operação diária do Sistema Interligado Nacional (SIN) pelo Operador Nacional do Sistema (ONS).

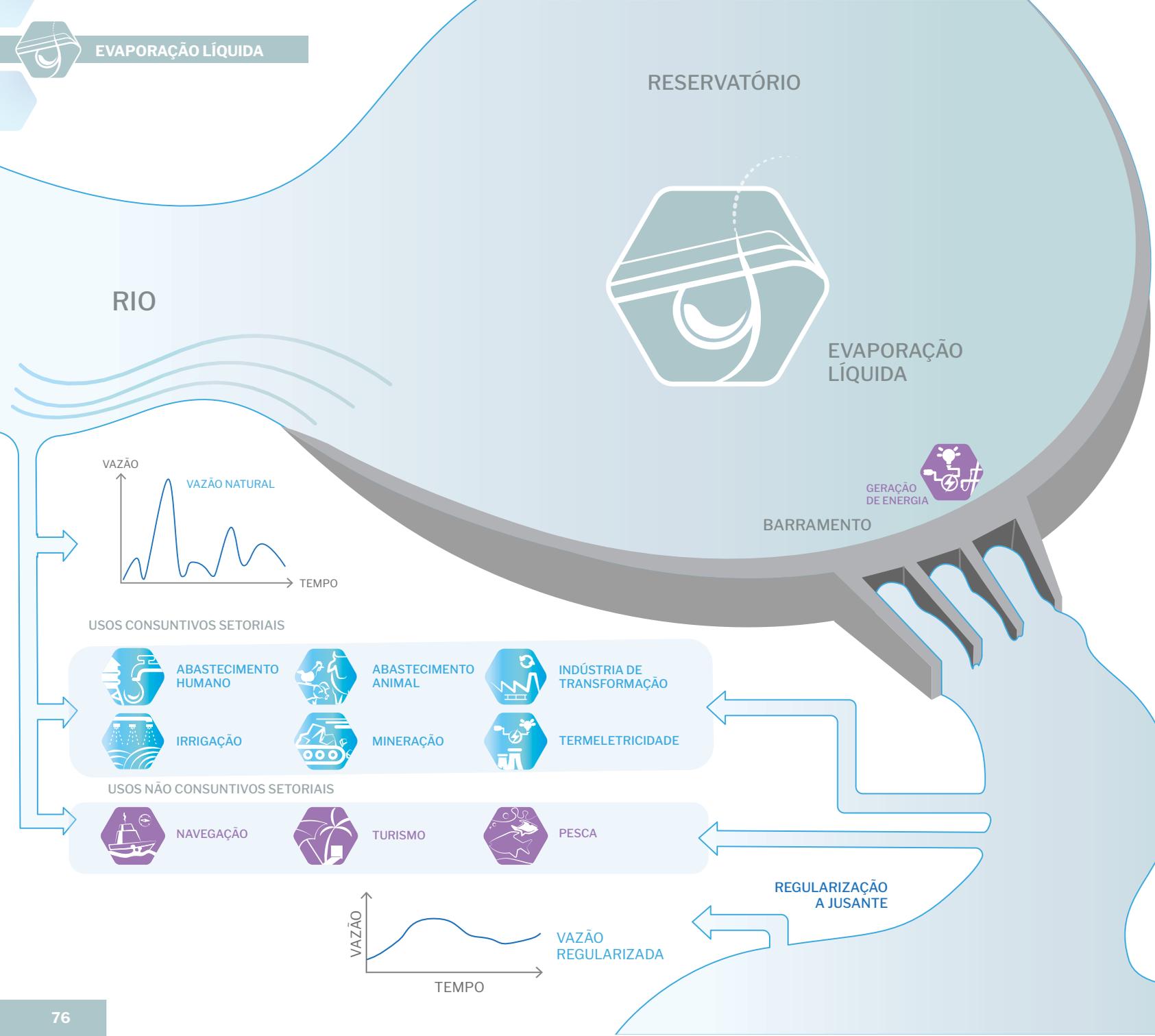
A evaporação líquida é dada pela diferença entre a evaporação real do reservatório e a evapotranspiração real esperada para a mesma área caso não existisse o reservatório. Contabiliza, portanto, o efeito causado pelo reservatório, em função das condições ambientais locais e das suas características de construção e operação.

A evaporação líquida difere dos usos setoriais abordados no Manual por não ser devida a um setor específico, mas decorrente de estruturas para usos múltiplo e difusos.

Um reservatório pode trazer benefícios econômicos, sociais e de segurança hídrica para toda a bacia hidrográfica, ou até mesmo fora dela, quando levamos em consideração transferências de água viabilizadas pela reservação ou transferências de energia entre os subsistemas do SIN.

A água armazenada em um reservatório é parcialmente consumida pela evaporação, tornando-se indisponível para outros usos/usuários no mesmo local e tempo. Essa indisponibilidade deve ser cada vez mais conhecida e tornada explícita na gestão de recursos hídricos, colaborando para temas como o controle de demandas hídricas, a operação da infraestrutura existente e o planejamento da infraestrutura complementar (verde e cinza).

Assim, a evaporação líquida ( $E_{\Delta}$ ) é um conceito derivado da subtração de dois processos físicos bastante conhecidos, mas de difícil estimativa por envolverem o estado gasoso da água – a evaporação do lago ou evaporação bruta ( $E_L$ ) e a evapotranspiração real que ocorreria na mesma área na ausência do lago ( $E_R$ ). Assim,  $E_{\Delta} = E_L - E_R$



A 1ª edição do Manual apresentou estimativas de evaporação líquida utilizando os modelos CRLE (*Complementary Relationship Lake Evaporation*) para evaporação do lago e CRAE (*Complementary Relationship Areal Evapotranspiration*) para estimativa da evapotranspiração real (Morton, 1983a; 1983b; Morton, Ricard, & Fogarasi, 1985). Obteve-se avanço substancial em cobertura espacial e temporal das estimativas em relação aos estudos pioneiros do ONS (2003; 2004). Nesse método, as alturas de evaporação líquida são calculadas mensalmente em estações meteorológicas e interpoladas para os lagos.

Em 2021, a ANA concluiu o estudo *Evaporação Líquida de Reservatórios Artificiais no Brasil*, que apresenta uma nova metodologia, com base física e com amplo aproveitamento de produtos de sensoriamento remoto consistidos, incluindo, de forma inédita, dados diários de temperatura superficial de todos os lagos brasileiros (ANA, 2021). Para a  $E_L$  foi desenvolvido o *Sistema de Evaporação em Lago Embasado na Temperatura da Superfície* (SELET).

Em nova parceria com a UFPR, em 2022 e 2023 foram avaliadas potenciais melhorias no SELET. As avaliações reforçaram a robustez do método, propondo pequenos ajustes em parâmetros de cálculo e na filtragem das séries de evaporação em lago. O modelo resultante foi denominado *Surface-*

-Temperature- and Available-Energy-Based Lake Evaporation - STAEBLE (Dias Hoeltgebaum, & Santos, 2023), e é uma evolução do modelo SELET.

Este capítulo apresenta uma síntese desses materiais (ANA, 2021; Dias et al., 2023), incorporando-os ao Manual.

## Método e Base de Dados

Destaca-se que boa parte do esforço metodológico concentra-se na estimativa da evaporação do lago ( $E_L$ ), uma vez que a evapotranspiração real ( $E_R$ ) é derivada do tratamento de produtos disponíveis.

Para a  $E_R$ , após a análise de opções de métodos e fontes de dados, concluiu-se pela utilização do produto MOD16A do MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), que é baseado na equação de Penman-Monteith (Mu Zhao, & Running, 2011). O MOD16A foi o que mais se aproximou do fechamento do balanço hídrico de longo curso nas áreas de contribuição hidrográfica de 1.088 estações fluviométricas avaliadas no Brasil (ANA, 2021). Entretanto, ainda se fez necessária a correção de vies regional do produto, implementada por meio de uma superfície de correção.

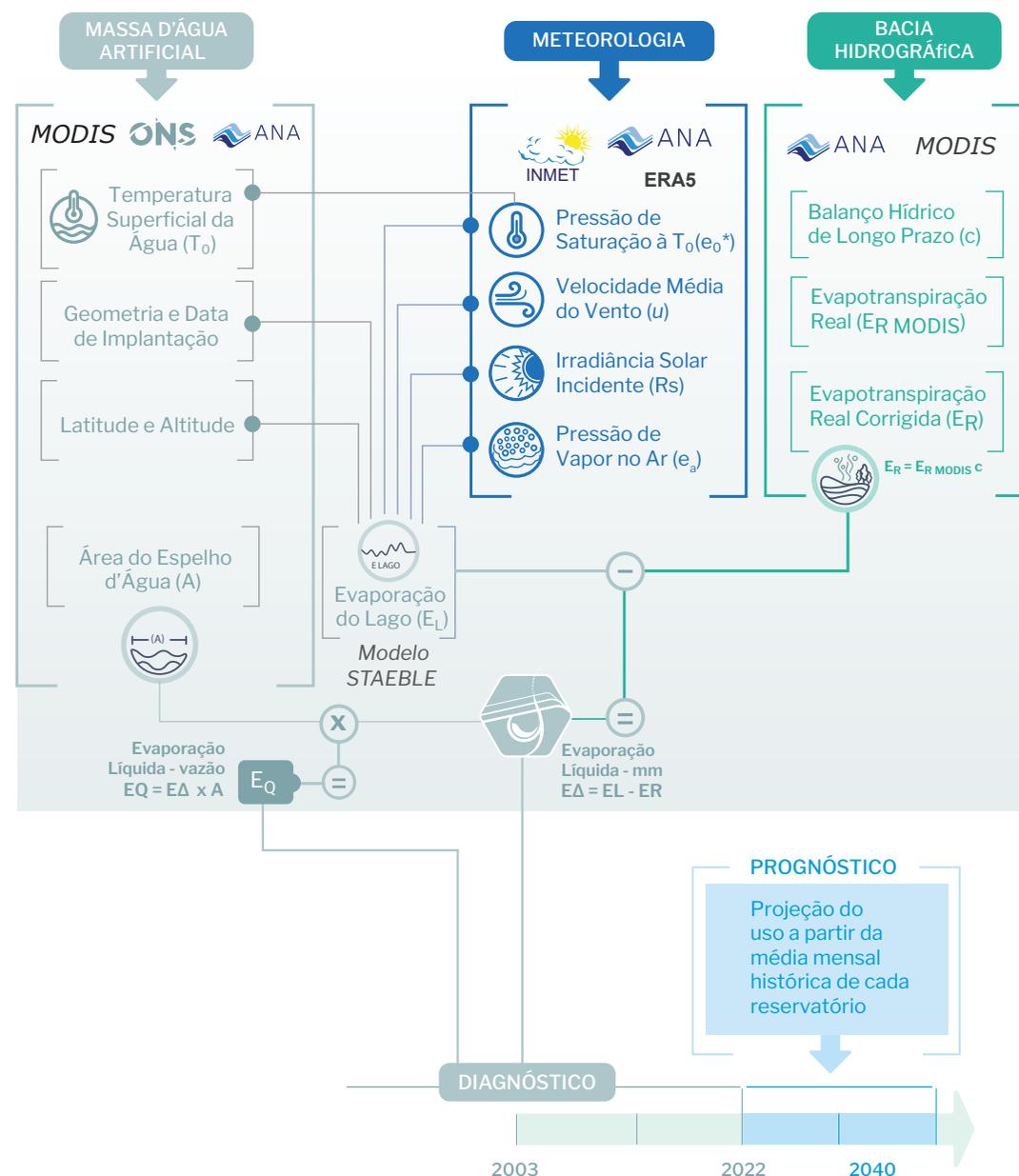
Para a  $E_L$ , os modelos SELET/STAEBLE permitem lidar com a disponibilidade e a qualidade de dados em um país de dimensões

como o Brasil e, ao mesmo tempo, captar as características individuais de reservatórios com tamanhos e em condições geográficas diversas.

Os modelos são fundamentados nas equações de transferência de massa e calor e de balanço de energia, métodos consagrados na literatura científica, e na proposição de novas alternativas para utilizar apenas dados meteorológicos medidos em terra (eventualmente, indiretamente, via bancos de dados de reanálise) e dados de temperatura da superfície da água obtidos por sensoriamento remoto.

O STAEBLE garante, em cada lago, o fechamento do balanço de energia, possuindo aplicabilidade geral já que os únicos coeficientes envolvidos são calibrados para cada lago de interesse utilizando o balanço de energia de longo curso. O método mostrou-se robusto inclusive em lagos profundos onde o termo problemático de armazenamento de entalpia é mais relevante para as estimativas. Para sua operacionalização, o STAEBLE necessita de um conjunto de séries de dados de entrada da massa d'água de interesse: a) temperatura diária da superfície da água ( $T_0$ ) oriunda dos satélites Terra e Aqua do MODIS; b) variáveis diárias de estações meteorológicas automáticas ou de produtos de reanálise (ERA5): velocidade do vento ( $u$ ), temperatura do ar ( $T_a$ ), pressão de vapor d'água no ar ( $e_a$ ) e irradiância solar

## SÍNTESE DO MÉTODO E DOS DADOS - EVAPORAÇÃO LÍQUIDA



incidente na superfície ( $R_g$ ); c) grandezas astronômicas determinadas a partir da latitude e do dia do ano: duração em radianos de meio dia ( $h_p$ ) e irradiância solar extra-atmosférica ( $R_{sea}$ ); d) a altitude do reservatório em relação ao nível médio do mar; e e) o albedo da água, que é interpolado para diferentes latitudes e dias do ano a partir de uma tabela extensa disponível na literatura (Cogley, 1979).

As próximas páginas ilustram a aplicação do método para um lago e as etapas de cálculo do modelo STAEBLE.

O inventário de massas d'água artificiais (geometria, data de implantação, latitude e altitude) é essencial para parametrizar os cálculos e os locais de estimativa de altura de  $E_L$  e  $E_R$  e, por consequência, de evaporação líquida -  $E_\Delta$  (dada em mm = litro/m<sup>2</sup>). A área variável de cada lago ao longo do tempo (área média mensal observada ou a área mapeada) é utilizada para converter as alturas em vazões médias (m<sup>3</sup>/s).

Em muitos lagos, as vazões são mais sensíveis à variação de área do que às alturas de evaporação líquida, as quais variam em um intervalo menor. O inventário atual da ANA (2020) conta com 175.000 massas d'água artificiais onde os cálculos foram processados, cobrindo 46.000 km<sup>2</sup> - uma superfície 15% superior à do inventário da 1ª edição do Manual (com 7.400 reservatórios). Cabe

destacar que, apesar do grande número de massas d'água, 90% possuem área inferior a 10 ha (ou 0,1 km<sup>2</sup>) e apenas 57 reservatórios, cuja área superficial individual é superior a 10.000 ha (ou 100 km<sup>2</sup>), respondem a cerca de 70% da área total.

Por fim, destaca-se a temporalidade dos cálculos de evaporação líquida no Manual de Usos, limitada ao período posterior a 2003 pela disponibilidade de dados de temperatura dos lagos por sensoriamento remoto.

Para outras aplicações que requeiram reconstituições históricas, estimativas para o período anterior a 2003 podem ser realizadas a partir do banco de dados do período recente, por exemplo, com o cálculo de médias de  $E_R$  e  $E_\Delta$  em diferentes temporalidades (mês, dia etc.) ou correlações com outras variáveis observadas no passado, como a temperatura do ar. Essas alturas podem ser então associadas com as variações de área efetivamente observadas em escala submensal para estimar vazões ( $E_L$ ) no passado.

As alturas (mm) de evapotranspiração real são estimadas inicialmente a cada 8 dias, e as alturas de evaporação do lago são inicialmente calculadas diariamente. O resultado final da evaporação líquida em vazões é mensal, assim como para os demais usos, mas com disponibilidade efetiva a partir de 2003 - quando se iniciam as séries de dados requeridas na metodologia.

Séries para o período anterior a 2003, por reservatório, podem ser obtidas utilizando as alturas médias diárias, eventualmente com correlações/regressões com outras variáveis medidas em terra no passado, como a temperatura do ar e o vento. A essas variáveis devem ser agregadas as informações diárias de área ocupada pelo respectivo lago. As séries de vazões mensais também podem ser utilizadas para estimativas pré-2003.

Para lagos sem informação ou em planejamento (ainda não existentes), pode-se adotar valores calculados ou médios de reservatórios próximos, especialmente se houver disponibilidade para lagos atuais com características semelhantes.

RESERVATÓRIO HIPOTÉTICO

criação: FEVEREIRO DE 1996

ÁREA MAPEADA: 35 km<sup>2</sup>

MÉDIA DA TEMPERATURA



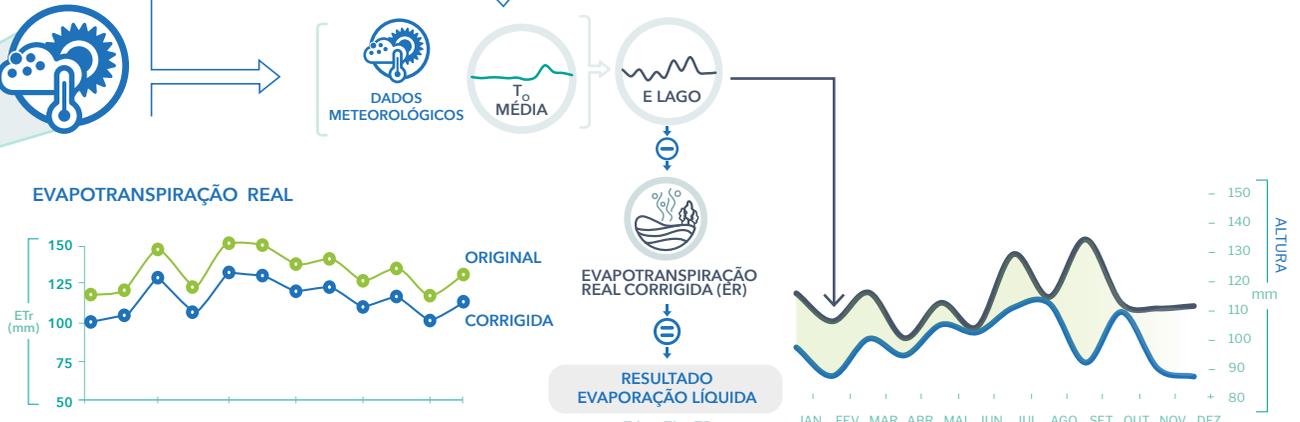
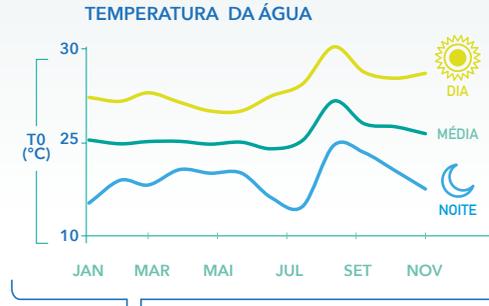
MÉDIA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO



ILUSTRAÇÃO DO MÉTODO - EVAPORAÇÃO LÍQUIDA

DADOS METEOROLÓGICOS

- VENTO (m/s)
- PRESSÃO DE VAPOR ATUAL DO AR  $e_a$  (kPa)
- RADIÇÃO SOLAR INCIDENTE  $R_s$  (MJ/m<sup>2</sup>)
- TEMPERATURA DO AR  $T_o$  (°C)



EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL



RESULTADO EVAPORAÇÃO LÍQUIDA

$$E\Delta = EL - ER$$

VAZÃO MENSAL DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA



Para lidar com o elevado número de reservatórios (175 mil) e as diversas variáveis de cálculo consideradas na metodologia, são necessárias diversas etapas de consistência, preenchimento, filtragem e interpolação temporal e espacial de dados – conforme detalhado na publicação completa Evaporação Líquida de Reservatórios Artificiais no Brasil (ANA, 2021b).

## Modelo STAEBLE

Conforme mencionado, o STAEBLE combina os métodos de balanço de energia e de transferência de massa e calor. O balanço de entalpia de um lago é dado por:

Equação 8.1

$$R_n + D_A = H + LE + D_B$$

onde  $R_n$  é a irradiância líquida,  $D_A$  é a advecção de entalpia para o (ou do) lago,  $H$  é o fluxo de calor sensível,  $LE$  é o fluxo de calor latente e  $D_B$  é a taxa de variação de entalpia armazenada no corpo do lago. No STAEBLE, utiliza-se por simplicidade um valor fixo para o calor latente de evaporação,  $L = 2,464 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ .

A irradiância líquida é calculada por:

Equação 8.2

$$R_n = R_s(1 - \alpha) + \epsilon R_a - \epsilon \sigma T_0^4$$

onde  $\epsilon = 0,97$  é a emissividade/absorvidade da superfície da água,  $R_a$  é a irradiância atmosférica incidente, e  $\sigma = 5,67037 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$  é a constante de Stefan-Boltzmann. Os demais símbolos já foram definidos acima. Para a aplicação do STAEBLE utilizou-se valores de  $R_s$  e de  $T_0$  observados, respectivamente, de estações meteorológicas e/ou de reanálise; e do processamento de produtos MODIS.

A irradiância atmosférica incidente  $R_a$  é calculada em uma série de passos. Inicialmen-

te, calcula-se a irradiância atmosférica de céu claro  $R_{ac}$  por meio de:

Equações 8.3 e 8.4

$$R_{ac} = \epsilon_{ac} \sigma T_a^4$$

$$\epsilon_{ac} = a_B \left( \frac{e_a}{T_a} \right)^{b_B}$$

A equação 8.4 foi proposta por (Brutsaert, 1975a) para a emissividade atmosférica de céu claro  $\epsilon_{ac}$ , e os coeficientes 0,625 e 0,131 utilizados neste trabalho foram obtidos por Duarte et al. (2006). A irradiância atmosférica incidente é calculada por:

Equação 8.5

$$R_a = (1 + 0,22C^2) R_{ac}$$

Levando em consideração o aumento da irradiância atmosférica incidente devido à nebulosidade (Brutsaert, 1982, seção 6.1),  $C$ , por sua vez, é obtido por meio da sequência de cálculos:

Equações 8.6 a 8.9

$$h_D = \arccos(-\text{tg}(\phi) \text{tg}(\delta))$$

$$R_{sea} = \left( \frac{r_a}{r_E} \right) \left( \frac{R_{s0}}{\pi} \right) [h_D \text{sen}(\delta) \text{sen}(\phi) + \cos(\delta) \cos(\phi) \text{sen}(h_D)]$$

$$S = \frac{\frac{R_s}{R_{sea}} - a_P}{b_P}$$

$$C = 1 - S$$

onde  $h_D$  é a metade da duração do dia (do brilho do sol) em radianos,  $\phi$  é a latitude,  $\delta$  é a declinação do sol,  $R_{s0}$  é a radiação solar extra-atmosférica,  $r_a$  é o semi-eixo maior da trajetória da terra e  $r_E$  é a distância Sol-Terra (ambas em unidades astronômicas),  $R_{s0} = 1.361,5 \text{ W m}^{-2}$  é a constante solar, e  $a_P = 0,25$  e  $b_P = 0,50$  são os coeficientes da equação de Prescott (Allen et al., 1998). Impõe-se que  $S$  (porcentagem de horas de brilho intenso de sol durante o dia):

Equação 8.10

$$0 \leq S \leq 1$$

Os fluxos de calor sensível e latente do modelo STAEBLE são calculados com o método de transferência de calor/massa:

Equações 8.11 e 8.12

$$H = \rho c_p f(u)(T_0 - T_a)$$

$$LE = \rho c_p f(u) \frac{e_0^* - e_a}{\gamma}$$

onde  $\rho$  é a massa específica do ar seco à temperatura  $T_h$  e pressão nominal do lago em uma atmosfera padrão (COESA, 1976),

calculada conforme os seguintes passos:

Equações 8.13 a 8.15

$$T_h = T_s - 0,0065h$$

$$\rho_h = \rho_s \left( \frac{T_h}{T_s} \right)^{5,256}$$

$$\rho = \frac{\rho_h}{R_d T_h}$$

onde  $p_s = 101.325 \text{ Pa}$  é a pressão atmosférica ao nível do mar,  $T_s = 288,15 \text{ K}$  é a temperatura ao nível do mar,  $h$  é a altitude nominal do lago,  $c_p = 1005 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  é o calor específico à pressão constante do ar seco,  $R_d = 287,038 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$  é a constante de gás do ar seco.

Na equação 8.12,  $e_0^*$  é a pressão de saturação de vapor d'água à temperatura da superfície  $T_0$ , e a constante psicrométrica  $\gamma$  é dada por:

Equação 8.16

$$\gamma = \frac{c_p \rho_h}{0,622L}$$

O único parâmetro de calibração do modelo STAEBLE é a rugosidade efetiva da superfície,  $z_0$ . Como o modelo utiliza dados meteorológicos médios diários medidos ou estimados em terra ( $e_a$ ,  $T_a$ ,  $u$ ) juntamente com a temperatura da superfície da água nas equações de transferência (8.11 e 8.12), o valor de  $z_0$  obtido por calibração em cada lago não pode ser comparado com estimativas obtidas sobre a mesma superfície

evaporante em períodos de 30 min – 1 hora, como é comum em estudos micrometeorológicos. Mesmo assim, Dias et al. (2023) demonstraram que os efeitos de estratificação de densidade no ar sobre o lago são importantes, e que as equações clássicas de transferência da Teoria de Similaridade de Monin-Obukhov aplicadas a dados diários e medidos em terra ainda assim são capazes de capturar esses efeitos e produzir estimativas confiáveis de  $H$  e  $LE$ . A calibração de  $z_0$  para cada lago e seu uso em  $f(u)$  nas equações 8.11 e 8.12 são feitos como descrito a seguir.

Para cada dia, as seguintes quantidades são calculadas iterativamente até a convergência em  $\zeta$  a partir de uma estimativa para  $z_0$  pelas equações 8.17 a 8.26.

Em 8.17 a 8.26,  $\Psi_u$  e  $\Psi_s$  são as funções de Businger-Dyer para a velocidade de vento e para um escalar (Brutsaert, 1982, seção 4.2). A altura de referência para a medição de  $e_a$ ,  $T_a$  e  $u$  é  $z=2$  m;  $\kappa=0,4$  é a constante de von Kármán;  $q_a$  é a umidade específica do ar;  $q_0$  é a umidade específica de saturação à temperatura  $T_0$ ;  $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$  é a aceleração da gravidade;  $\zeta$ ,  $\zeta_0$  e  $\zeta_{0s}$  são as variáveis de estabilidade Obukhov calculadas  $z$ ,  $z_0$  e  $z_{0s}$  respectivamente; a rugosidade dos escalares  $z_{0s}$  é calculada em conforme a teoria de Brutsaert (1975b) supondo escoamento turbulento rugoso; e  $\nu$  é a viscosidade cinemática do ar calculada à temperatura  $T_h$  segundo (Montgomery, 1947).

#### Equações 8.17 a 8.21

$$u_* = \frac{\kappa u}{\ln\left(\frac{z_a}{z_0}\right) - \Psi_u(\zeta) + \Psi_u(\zeta_0)}$$

$$Re_0 = \frac{u_* z_0}{\nu}$$

$$z_{0s} = 7,4 z_0 \exp(-2,25 Re_0^{1/4})$$

$$T_* = \frac{\kappa(T_0 - T_a)}{\ln\left(\frac{z_a}{z_0}\right) - \Psi_u(\zeta) + \Psi_u(\zeta_0)}$$

$$q_* = \frac{\kappa(q_0 - q_a)}{\ln\left(\frac{z_a}{z_0}\right) - \Psi_u(\zeta) + \Psi_u(\zeta_0)}$$

Após a convergência, o coeficiente de transferência  $f(u)$  para cada dia é dado por:

#### Equação 8.27

$$f(u|z_0) = \frac{\kappa^2 u}{\left[\ln\left(\frac{z}{z_0}\right) - \Psi_u(\zeta) + \Psi_u(\zeta_0)\right] \left[\ln\left(\frac{z}{z_{0s}}\right) - \Psi_s(\zeta) + \Psi_s(\zeta_{0s})\right]}$$

Observe que todos os cálculos são feitos para um valor fixo de  $z_0$ . Nada garante, portanto, que as séries diárias de  $H$  e  $LE$  obtidas com 8.27 em 8.11 e 8.12 estarão corretas. Para isso, é necessário calibrar  $z_0$ . O ponto central do modelo STAEBLE é que  $z_0$  pode ser calibrado sem a utilização de medições diretas de  $LE$ .

A calibração de  $z_0$  é feita da seguinte forma: considere um registro de  $N_a$  anos (por simplicidade, mas não necessariamente, anos civis de 1 de janeiro a 31 de dezembro), e seja  $j=1, \dots, N_a$  o índice de cada ano. Desejamos encontrar o conjunto  $(z_{01}, z_{02}, \dots, z_{0N_a})$  de rugosidades anuais que garante o fe-

#### Equações 8.22 a 8.26

$$T_{v*} = (1 + 0,61q_a)T_* + 0,61T_a q_*$$

$$T_{va} = T_a (1 + 0,61q_a)$$

$$\zeta = - \frac{\kappa g z T_{v*}}{T_{va} u_*^2}$$

$$\zeta_0 = - \frac{\kappa g z_0 T_{v*}}{T_{va} u_*^2}$$

$$\zeta_{0s} = - \frac{\kappa g z_{0s} T_{v*}}{T_{va} u_*^2}$$

chamento do balanço de entalpia (8.1) para cada ano. Somamos então para todos os dias  $i=1, \dots, 365$  (ou 366) para cada ano  $j$ :

#### Equações 8.28 a 8.30

$$\sum_{(i=1)}^{365} [R_{ni} + D_{ai}] = \sum_{(i=1)}^{365} [H_i + LE_i + D_{Bi}]$$

$$H_i = \rho c_p f(u|z_{0j})(T_{0i} - T_{ai})$$

$$LE_i = \rho c_p f(u|z_{0j}) \frac{e_{0i} - e_{ai}}{\gamma}$$

Agora levamos 8.29-8.30 em 8.28, e supomos que ao longo de um ano a soma dos termos de advecção e variação de entalpia no corpo do lago é desprezível:

#### Equação 8.31

$$\sum_{(i=1)}^{365} [D_{Ai} - D_{Bi}] = 0,$$

onde

#### Equação 8.32

$$\sum_{(i=1)}^{365} R_{ni} = \sum_{(i=1)}^{365} \rho c_p f(u|z_{0j}) T_{0i} - T_{ai} \frac{e_{0i} - e_{ai}}{\gamma}$$

A equação acima pode agora ser resolvida iterativamente para  $z_{0j}$ . Repetindo o procedimento para todos os anos do histórico, encontra-se o conjunto de  $z_{0j}$ s desejado.

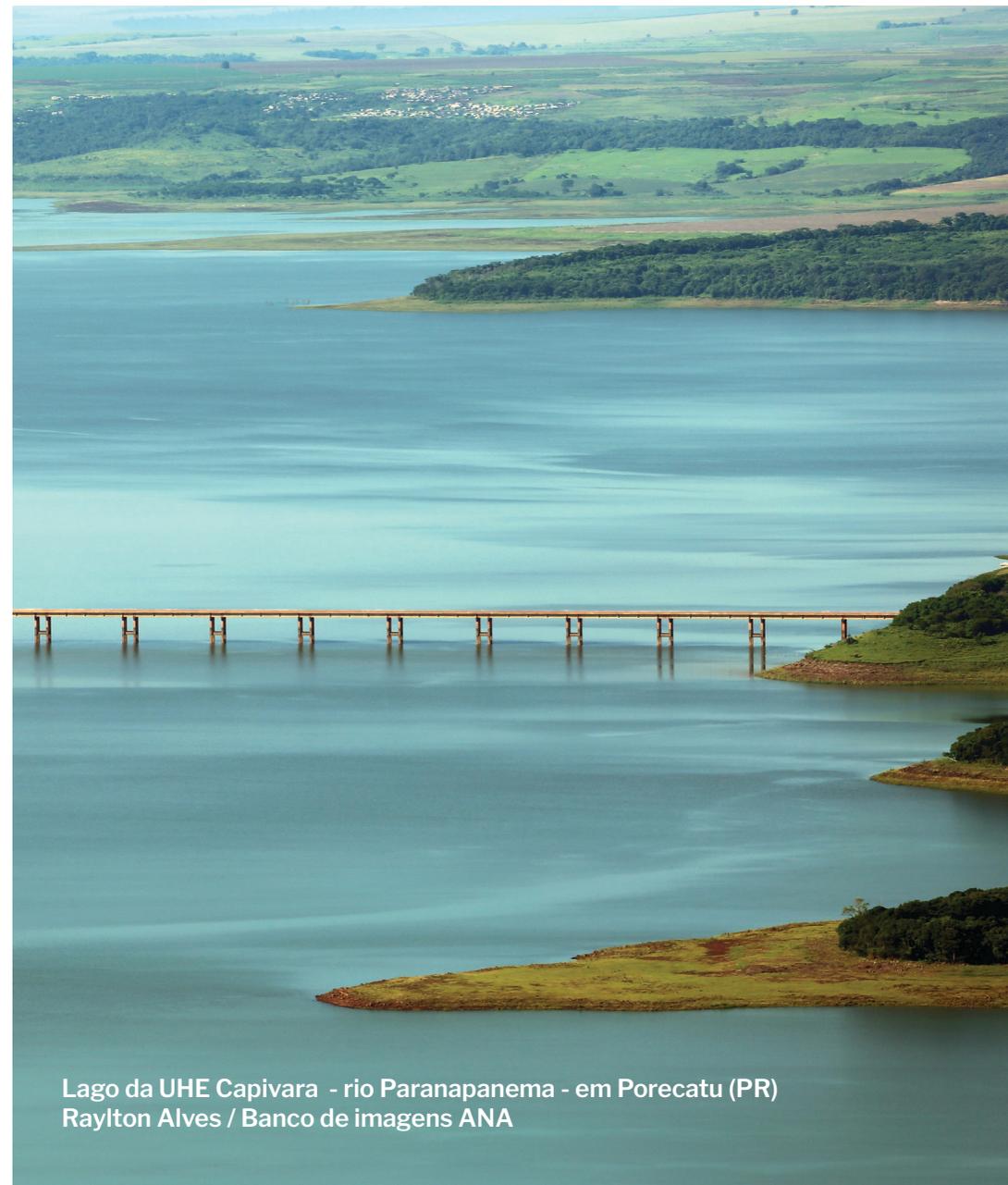
Finalmente, note que o ajuste de uma rugosidade a cada ano permite que os parâmetros do modelo sejam atualizados incrementalmente (apenas o  $z_{0N_a+1}$  precisa ser calculado) sem que as estimativas da série preexistente sejam modificadas, o que aconteceria se calibrássemos um único  $z_0$  para toda a série de dados calculada.

## SELET x STAEBLE

O SELET foi o modelo desenvolvido em parceria entre a UFPR e a ANA para estimar de forma operacional a evaporação em lago (ANA, 2021b). Como mencionado anteriormente, o SELET utiliza um método de estimativa de evaporação conhecido como “método de transferência de massa”, que nada mais é do que uma equação simples em que a evaporação é uma função da velocidade do vento  $u$  do tipo  $f(u)=a+bu$ , onde  $a$  e  $b$  são constantes, multiplicada pela diferença entre as pressões de vapor da água e do ar. A principal novidade do SELET é que os coeficientes  $a$  e  $b$  são calibrados localmente, para cada lago, impondo o fechamento do balanço de energia a cada ano (a cada ano, a evaporação e o fluxo de calor para a atmosfera têm que ser iguais à radiação líquida disponível).

O modelo foi então testado em um lago com longas medições diretas de evaporação. O lago encontrado, com dados publicamente disponíveis, foi o lago Mead, nos EUA, onde existem longos períodos em que a temperatura da água permanece mais alta/mais baixa do que a temperatura do ar. Isso gera efeitos de estratificação de densidade do ar sobre o lago que modificam consideravelmente os coeficientes  $a$  e  $b$  descritos acima.

Foi necessário, portanto, adaptar o modelo para incluir esses efeitos, usando funções padrão existentes na literatura. O resultado foi o modelo STAEBLE-C (Dias et al., 2023), aplicado operacionalmente no Manual de Usos. O novo modelo produz resultados muito parecidos com os resultados do SELET para lagos em que os efeitos de estratificação de longo prazo observados no lago Mead estão ausentes, com é o caso da maioria dos lagos brasileiros. E, por outro lado, aprimora consideravelmente estimativas em que as condições de estratificação são mais severas.



Lago da UHE Capivara - rio Paranapanema - em Porecatu (PR)  
Raylton Alves / Banco de imagens ANA

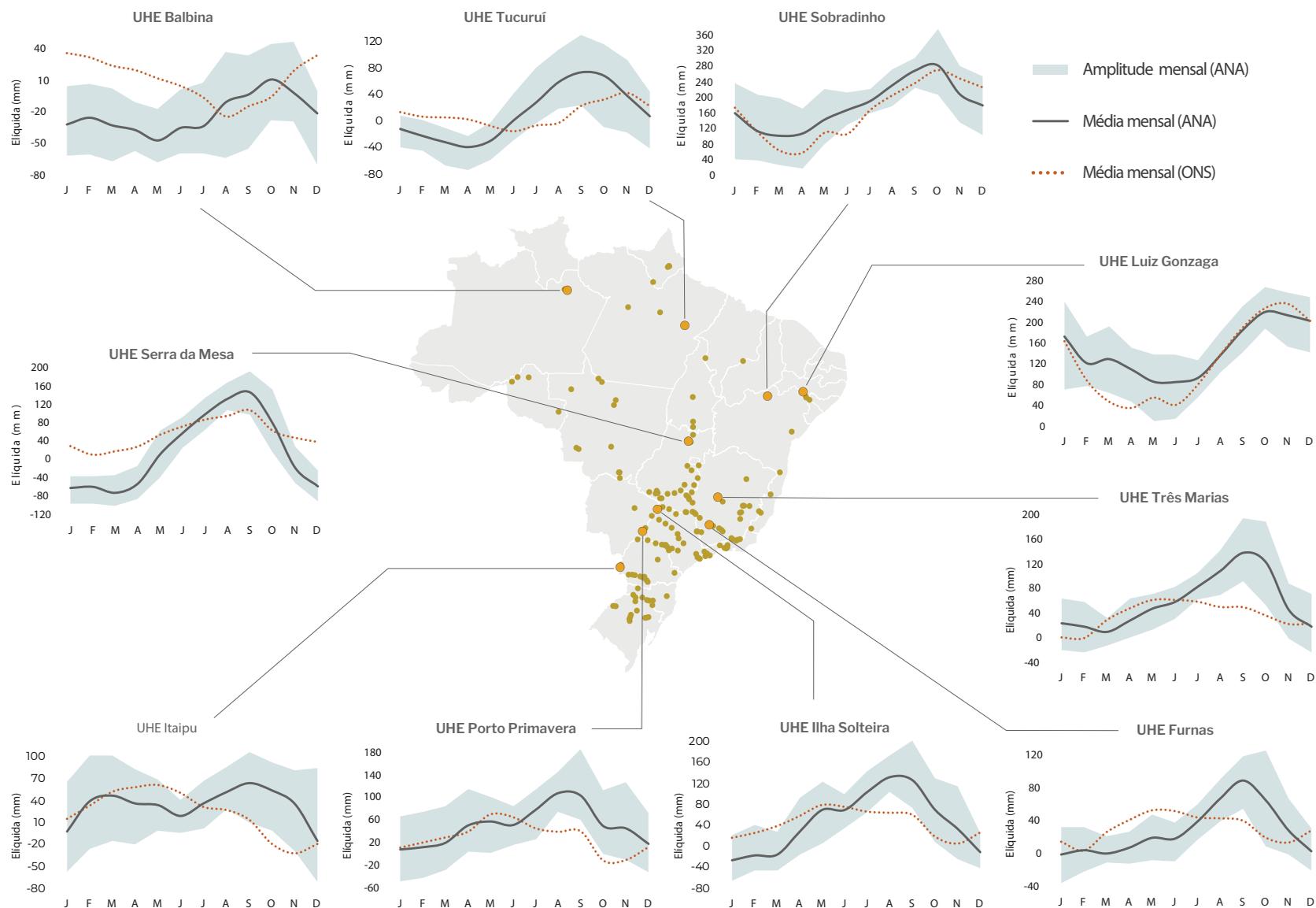
# Resultados

As perdas por evaporação líquida totalizaram 769,1 m<sup>3</sup>/s em 2022 (24,2 trilhões de litros no ano), em uma superfície média de 43,6 mil km<sup>2</sup> - uma taxa média de 18 litros por segundo por km<sup>2</sup> de superfície. Neste ano, 110 reservatórios apresentaram evaporação líquida superior a 500 litros por segundo (0,5 m<sup>3</sup>/s) e somaram vazão média anual de 633,4 m<sup>3</sup>/s (82% do total nacional).

Esses resultados reiteram que um número pequeno de lagos do universo de 175 mil atualmente mapeados é responsável pela maior parte das perdas por evaporação, embora o efeito combinado e somado de muitos pequenos reservatórios em escala de bacia não possa ser desprezado para diversas análises.

Em comparação aos valores adotados atualmente pelo setor elétrico, a evaporação líquida apresenta, em termos de totais médios anuais, ordem de grandeza similar para alguns reservatórios e maiores discrepâncias em outros. O paralelo entre os resultados é apenas ilustrativo, dadas as diferenças metodológicas e de período de dados entre as fontes, como, por exemplo, o fato de que o setor elétrico adota 12 valores fixos (médias mensais) e, no Manual de Usos, os valores são calculados diariamente para o período de análise (2003-2022) - os vetores comparativos (ANA) representam a média mensal desse período.

## AMPLITUDE E MÉDIA MENSAL DA EVAPORAÇÃO LÍQUIDA NOS 10 MAIORES RESERVATÓRIOS DO BRASIL

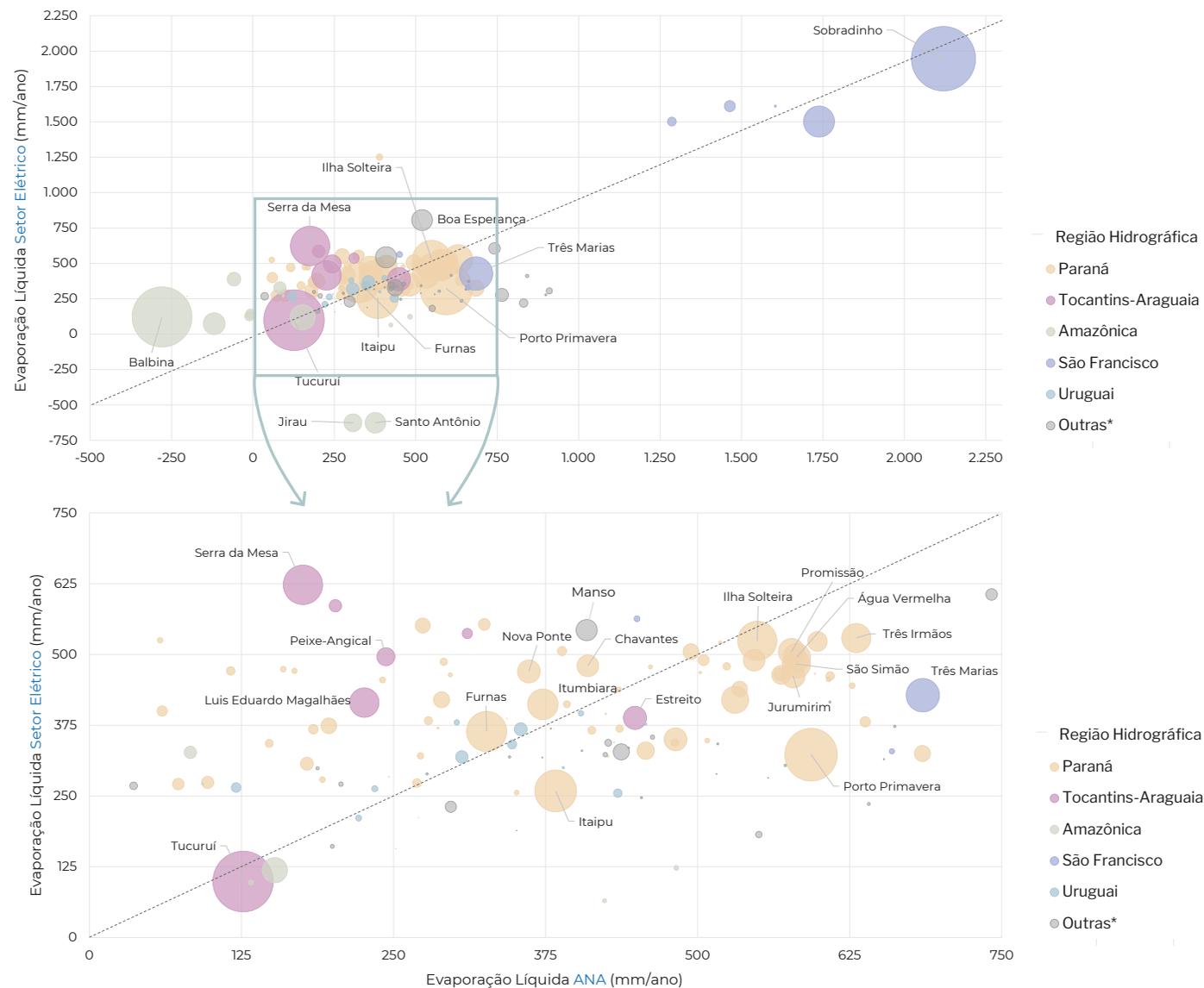


Com relação à sazonalidade, os resultados apresentam diferenças ainda mais importantes entre os estudos, tendo comportamentos distintos ao longo do ano para parcela significativa dos reservatórios avaliados. As altas amplitudes mensais indicam que o uso de valores médios fixos pode levar a imprecisões relevantes no planejamento e na operação dos setores elétrico e de recursos hídricos.

A sazonalidade da evaporação líquida é bem mais acentuada que a da própria evaporação bruta dos lagos. Esse comportamento é esperado pois a evaporação líquida é afetada igualmente pela evapotranspiração real estimada para a área atualmente ocupada pelo lago, que depende, além das condições atmosféricas, a exemplo da evaporação do lago, também e, principalmente, das condições de disponibilidade hídrica local no solo. Ou seja, a evaporação líquida reflete, além das condições ambientais que controlam o processo de evaporação, também a dinâmica do regime pluviométrico e da capacidade de retenção de água no solo.

Os 12 reservatórios com vazões acima de 10 m<sup>3</sup>/s em 2022, destacados no mapa e no infográfico a seguir, foram responsáveis por 58% do total de vazão atribuída à evaporação líquida e 34% da área. As cinco maiores vazões concentraram 46% do total nacional: Sobradinho (225,8 m<sup>3</sup>/s) e Luiz Gonzaga (34,5 m<sup>3</sup>/s) na RH São Francisco; Porto Primavera (38,3 m<sup>3</sup>/s), Ilha Solteira (32,8 m<sup>3</sup>/s) e Itumbiara (20,3 m<sup>3</sup>/s) na RH Paraná.

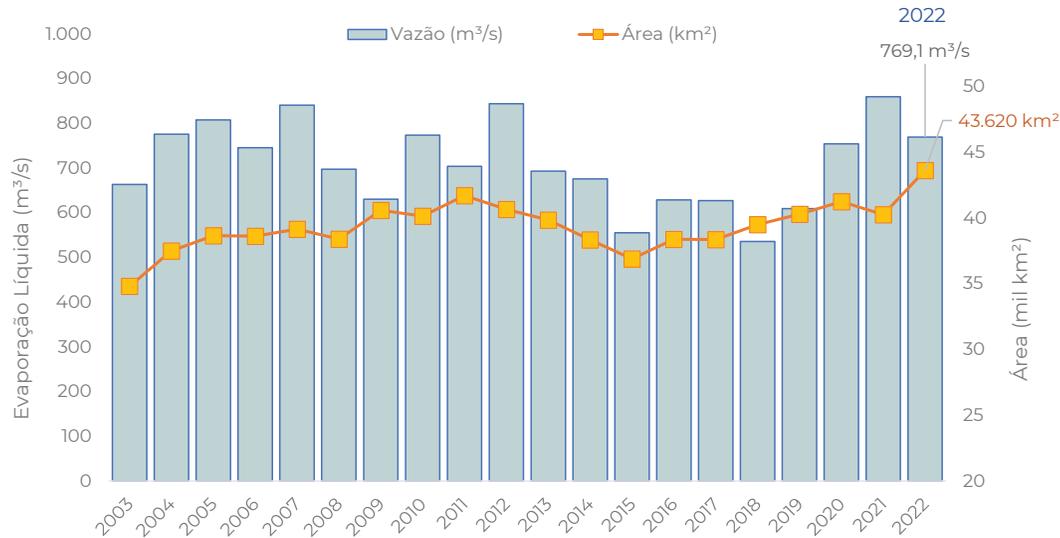
## COMPARATIVO DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA COM VALORES DO SETOR ELÉTRICO



Nota: o tamanho das esferas é proporcional à área média relativa dos reservatórios.

Fonte: ANA: período 2003-2022 | ONS: normais climatológicas / médias históricas (ONS, 2003a; 2004)

## VAZÃO MÉDIA DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA NO BRASIL 2003-2022



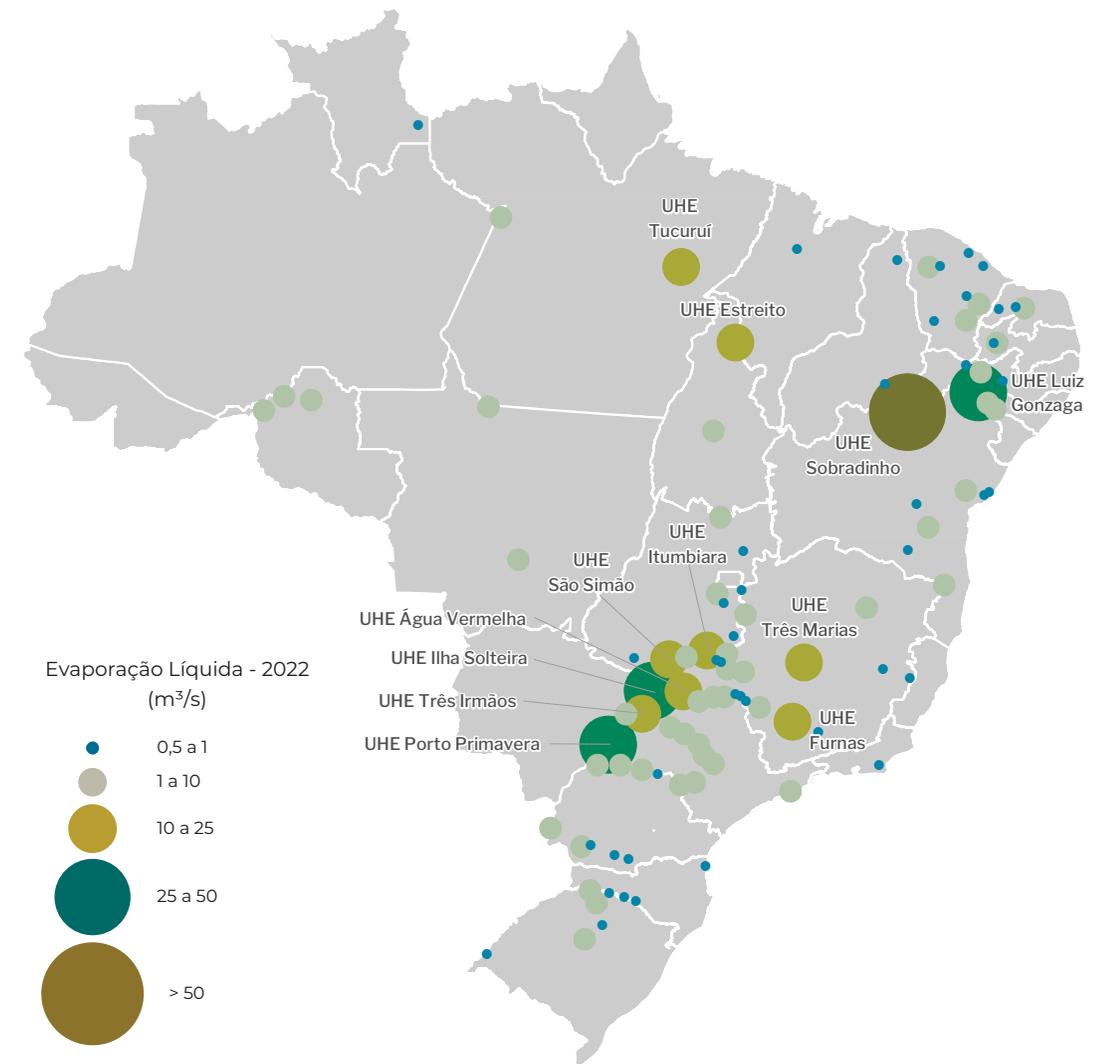
Destaca-se a relevância de Sobradinho, maior lago artificial do mundo com 320 km de extensão e capacidade de armazenamento de 34 bilhões de m<sup>3</sup>. Localizado no coração do Semiárido brasileiro, possui altas taxas de evaporação e limitações hídricas para a evapotranspiração. Sobradinho apresentou grande área ocupada média (3.638 km<sup>2</sup>) em 2022 em relação à média 2001-2021 (2.700 km<sup>2</sup>), quando a média da evaporação líquida registrou 175 m<sup>3</sup>/s. Sua participação na evaporação líquida nacional variou de 17 a 29% no período analisado (média de 25%), com 2004, 2006 e 2022 registrando a máxima participação (29%).

Na vazão total para o período 2003-2022, os maiores valores de evaporação líquida no

Brasil foram registrados em 2012 (844 m<sup>3</sup>/s), 2007 (840 m<sup>3</sup>/s) e 2021 (860 m<sup>3</sup>/s). Já as vazões específicas oscilaram entre 14 e 21 litros por segundo por km<sup>2</sup> de superfície (média anual), com média de 18 L/s.km<sup>2</sup>, com o menor valor observado em 2018 (14 L/s.km<sup>2</sup>) e os maiores em 2004, 2005, 2007, 2012 e 2021 (21 L/s.km<sup>2</sup>).

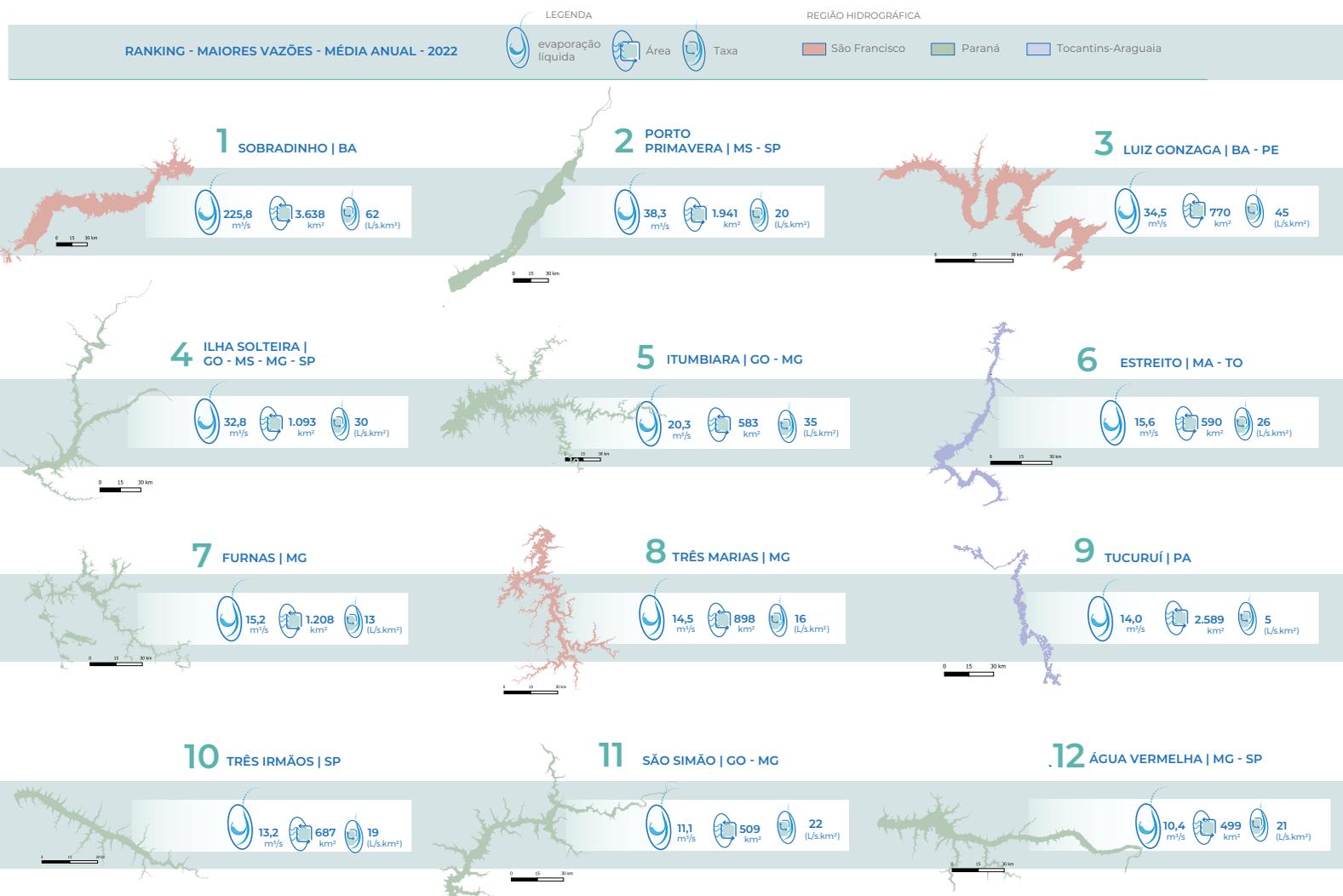
Considerando a consolidação dos resultados para a base de reservatórios inventariada, os reservatórios do Sistema Interligado Nacional - SIN totalizaram em 2022 uma vazão média anual proporcional à área média que ocupam (71%). Esse saldo varia anualmente de acordo com a área efetivamente ocupada e as condições ambientais de evaporação e evapotranspiração.

## MAIORES VAZÕES DE EVAPORAÇÃO LÍQUIDA - 2022 (MÉDIA ANUAL SUPERIOR A 0,5 m<sup>3</sup>/s)



Nota: os 110 reservatórios em destaque no mapa concentram 82% da vazão de evaporação líquida no Brasil, em 2022. Os 12 maiores consumidores (58% da vazão) encontram-se com o nome em destaque.

## MAIORES EVAPORAÇÕES LÍQUIDAS POR RESERVATÓRIO - 2022



Nota: Sobradinho apresentou grande área ocupada média em 2022 em relação à média 2001-2021, quando a média da área do lago foi de 2.700 km² e a de evaporação líquida foi de 175 m³/s.

Os resultados apresentam tendências e sazonalidades similares ao publicado anteriormente (ANA, 2021), mas em patamares um pouco inferiores com o aprimoramento da metodologia dos cálculos, ocasionando em redução de alturas de evaporação líquida para a maior parte dos reservatórios.

Um conjunto grande e importante de reservatórios apresenta tendência de valores negativos entre dezembro ou janeiro e março (a depender das condições observadas em um ano específico em relação às médias).

Valores negativos nesses meses ocorrem especialmente em reservatórios no bioma Amazônia - onde há equilíbrio constante entre a evaporação do lago e a evapotranspiração real do entorno, com maiores diferenças em alguns meses, podendo ocorrer até mesmo evaporação líquida negativa na média anual em determinados anos e reservatórios.

Também ocorrem valores negativos no bioma Cerrado em meses de chuvas concentradas, quando a umidade do solo exerce pouca ou nenhuma restrição à evapotranspiração, com essa superando com frequência a evaporação do lago. No período seco, concentrado entre julho e outubro, a relação se inverte significativamente, com baixas evapotranspirações reais e altas taxas de evaporação do lago. Com isso, as vazões positivas do período seco superam as negativas do período úmido, não havendo ocorrência de valores negativos médios anuais.

Portanto, embora seja comum verificar evaporações líquidas negativas em determina-

dos meses do ano para muitos reservatórios (podendo superar o número de positivos), poucos reservatórios apresentam evaporação líquida média anual negativa. Os casos concentram-se na região Amazônica e em pequenos reservatórios cercados de florestas ou silvicultura, ou seja, em condições locais específicas de alta evapotranspiração.

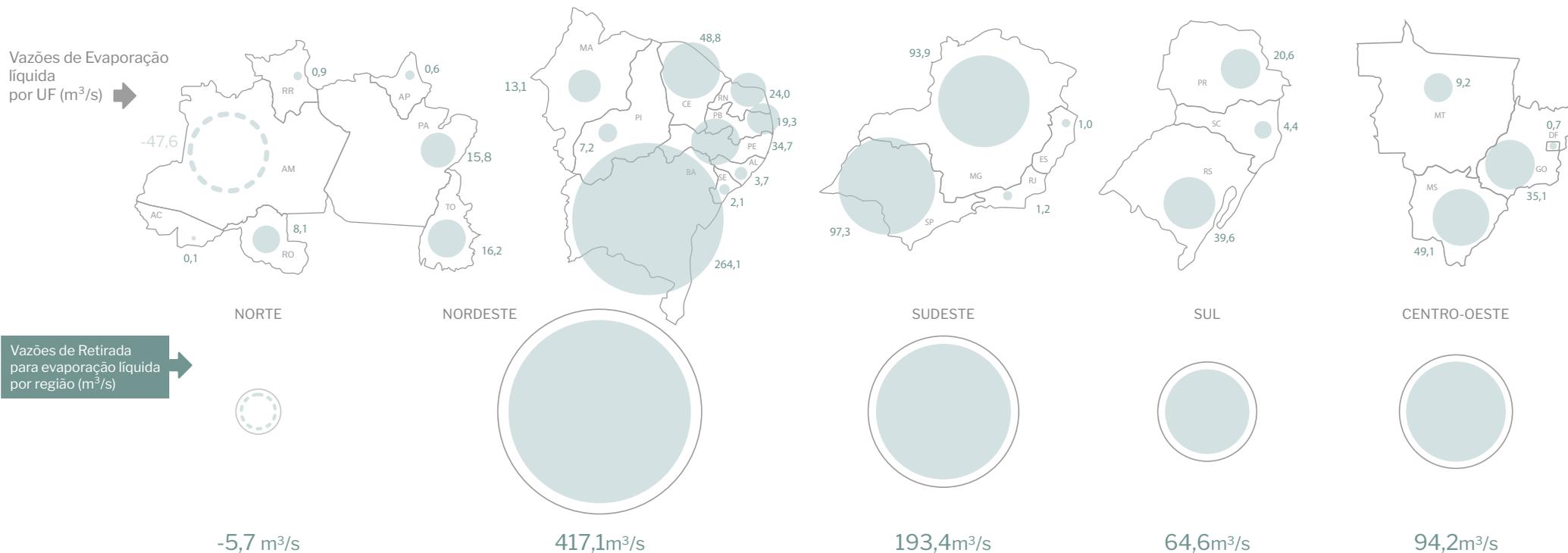
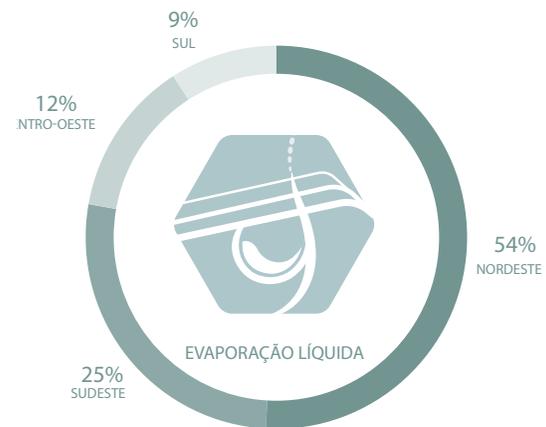
Regionalmente, o Nordeste concentra 54% da evaporação líquida nacional, com destaque para a Bahia (34% do total), seguido do Sudeste (25%), do Centro-Oeste (12%) e do Sul (9%).

É importante reiterar que a evaporação líquida apresenta amplitudes sazonais expressivas e seu comportamento é altamente influenciado pelas condições hidrometeorológicas intra e interanuais. As maiores evaporações líquidas mensais tendem a ocorrer no auge do período mais seco onde concentra-se boa parcela da superfície de reservatórios no Brasil (agosto a outubro). Em 2022, agosto, setembro e outubro registraram evaporações líquidas em um patamar próximo ao dobro da vazão média anual (769 m<sup>3</sup>/s), com média da ordem de 1.720 m<sup>3</sup>/s. Em mar-

ço de 2022, por outro lado, a média mensal de evaporação líquida foi negativa no Brasil; e em abril a vazão foi de apenas 6% da média anual (50 m<sup>3</sup>/s).

Os resultados reforçam que a sazonalidade da evaporação líquida é menos controlada por oscilações de área e mais controlada pelas condições atmosféricas e de energia disponível para a evaporação, assim como de menores precipitações (e a consequente umidade do solo) como importantes limitadoras da evapotranspiração real.

Vazões de evaporação líquida por região (%) 2022



Nota: estimativa por Região e UF aproximada, considerando a proporção da área mapeada de lagos interestaduais entre as respectivas UFs/regiões.

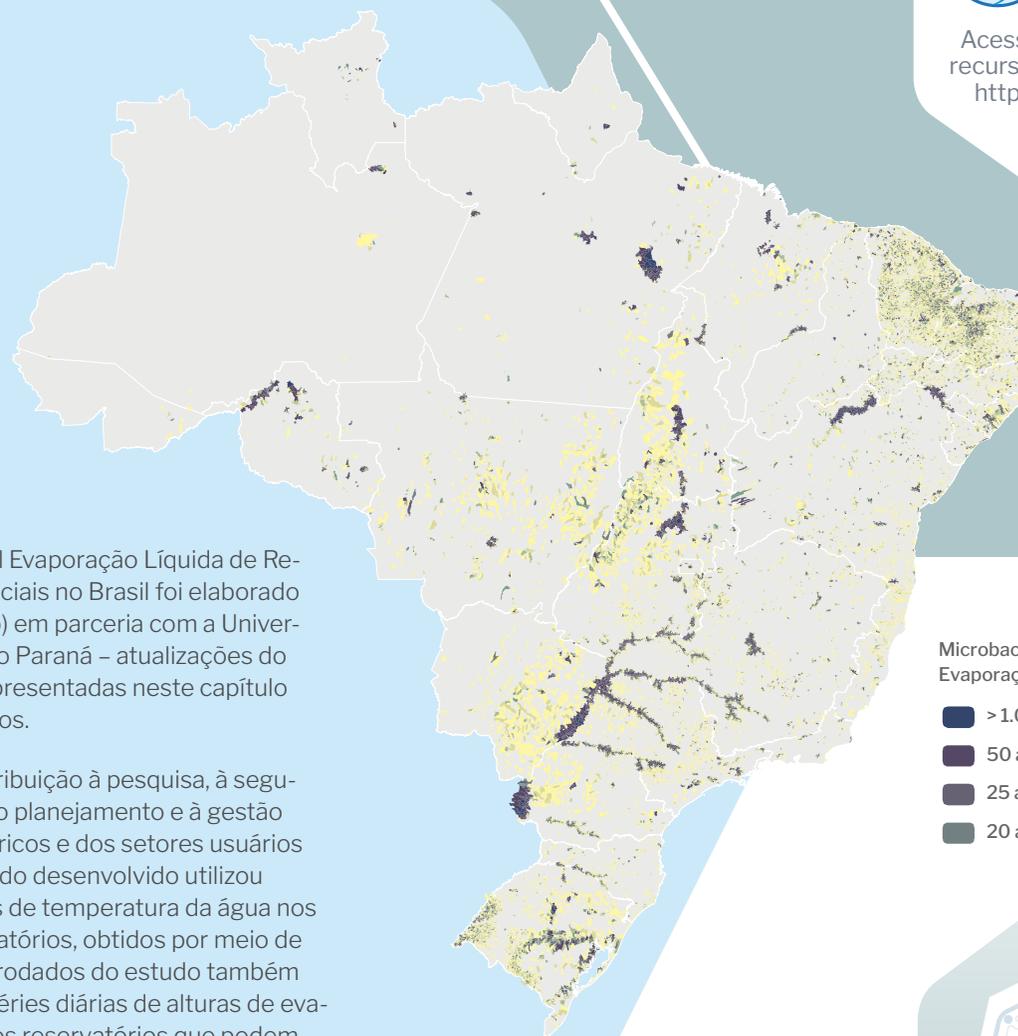
Acesse a publicação e recursos interativos em:  
<https://snirh.gov.br/>

A nova metodologia desenvolvida no estudo de Evaporação Líquida substitui a utilizada na 1ª edição do Manual, representando a principal modificação para esta 2ª edição, em conjunto com o novo método para o arroz irrigado sob inundação convencional. Para os demais usos, a 2ª edição do Manual traz mais atualizações em bases de dados e ajustes em métodos e parâmetros de cálculo.

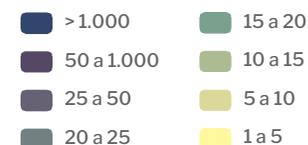


O estudo setorial Evaporação Líquida de Reservatórios Artificiais no Brasil foi elaborado pela ANA (2021b) em parceria com a Universidade Federal do Paraná – atualizações do modelo foram apresentadas neste capítulo do Manual de Usos.

Importante contribuição à pesquisa, à segurança hídrica e ao planejamento e à gestão dos recursos hídricos e dos setores usuários no Brasil, o método desenvolvido utilizou dados subsidiários de temperatura da água nos lagos dos reservatórios, obtidos por meio de satélites. Os microdados do estudo também compreendem séries diárias de alturas de evaporação bruta dos reservatórios que podem auxiliar tanto na reconstituição de vazões naturais quanto na operação – individualmente e considerando o conjunto dos reservatórios de uma bacia hidrográfica.



Microbacias acima de 1 l/s  
Evaporação Líquida - 2022 (m³/s)



Os reservatórios beneficiam múltiplos usuários, direta e indiretamente. Portanto, a perda por evaporação líquida não pode ser atribuída a um setor específico da economia. Os usuários beneficiados podem ser tanto os consuntivos setoriais, como uma indústria, como os não consuntivos, como a navegação, o turismo e o lazer. O controle de cheias, a diluição de efluentes e a própria geração de energia no sistema interligado (extrapolando a bacia geradora) são outros importantes usos beneficiados por reservatórios.



MANUAL E BASE  
NACIONAL DE USOS  
CONSUNTIVOS

# SÍNTESE DOS USOS E APLICAÇÕES DO MANUAL

A seguir são destacados os números gerais e as principais tendências e padrões observados nos usos consuntivos da água no Brasil no período analisado pelo Manual de Usos. Dentre os indicadores nacionais pode-se destacar:

Atualmente (2022), a retirada total de água no Brasil é de

**89**  
trilhões  
de litros ao ano  
(2.813 m<sup>3</sup>/s).

**73%**  
pelos usos consuntivos  
setoriais e

**27%**  
por perdas na evaporação  
líquida de reservatórios.

Em 2040, os usos setoriais demandarão de água em relação a 2022.

A variação na evaporação líquida dependerá da expansão e a operação de reservatórios e do clima.

**+30%**

A expansão média da retirada de água para os usos setoriais passou de

**550**  
bilhões

de litros ao ano entre  
1940 e 1980 para

**830**  
bilhões

ao ano entre 1980 e  
2000 (+ 67%).

Entre 2000 e 2022, a expansão média dos usos setoriais foi de

**1 trilhão e  
30 bilhões**

de litros ao ano - estima-se  
que até 2040 o ritmo de  
expansão alcance

**1 trilhão e  
170 bilhões**

de litros ao ano

9

## Dentre os setores,

agricultura irrigada



52,9%

abastecimento urbano

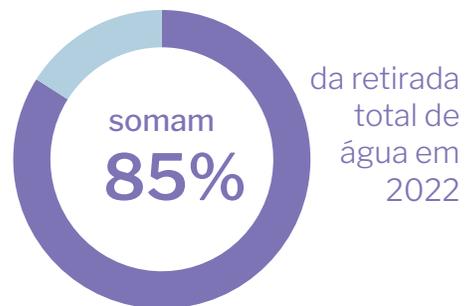


22,5%

e indústria de transformação



9,4%



➤ O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do País. A situação atual revela maior diversidade de usos, com ampliação da importância do uso urbano e relevante expansão dos usos industrial e para a agricultura irrigada.

➤ Mesmo com o baixo desempenho da economia brasileira na década 2011-2020, somada aos impactos da pandemia de COVID-19, o crescimento do uso da água foi recorde, puxado pela agricultura irrigada.

➤ A irrigação, a agroindústria e as cidades continuarão sendo o motor do crescimento do uso da água.

➤ Especialmente nas cidades, esse abastecimento será cada vez mais complexo e de mananciais distantes. No meio rural, deve-se atentar à intensificação de conflitos e usos competitivos.

➤ As mudanças climáticas podem aumentar expressivamente as demandas por água, especialmente as de evaporação líquida e de irrigação, uma vez que muitos cenários convergem para o aumento de temperaturas e diminuição ou alteração da distribuição das chuvas.

➤ Regionalmente, a agricultura irrigada predomina no Sul desde a década de 1930, refletindo o pioneirismo dessa prática no arroz. No Nordeste a irrigação supera as cidades e torna-se o principal uso nos anos 1990, reflexo de grandes investimentos públicos em infraestrutura hídrica e financiamentos para o setor. No Centro-Oeste, a predominância da agricultura irrigada ocorreu nos anos 2000, superando o uso animal. No Sudeste, maior polo urbano e agroindustrial, a irrigação superou o abastecimento urbano recentemente, deixando o Norte como única região onde esse uso não é preponderante.

➤ As séries do Manual são também sensíveis às crises hídricas, como aquelas verificadas no Nordeste entre 2013 e 2019 com forte redução ou estabilidade de áreas irrigadas, e em anos de maior necessidade de ativação de termelétricas ocasionada pela redução no volume de água disponível para geração hidroelétrica.

➤ O cenário futuro do Manual de Usos para 2040 é uma referência com base nas tendências históricas e recentes dos usos, mas se deve atentar sempre às novas possibilidades de desenvolvimento local e regional que afetem as estimativas, bem como aos impactos da mudança do clima sobre a demanda.

➤ Os usos consuntivos estimados pelo Manual são aqueles com bases de dados capazes de retratar um uso em todo o Brasil e no longo prazo, mas se deve atentar sempre a outros usos não estimados ou de baixa expressão, aos quais podem ser conhecidos por outras fontes e métodos.

Os infográficos das próximas páginas apresentam a evolução e a síntese dos usos consuntivos no Brasil, os municípios com maiores vazões retiradas e os dados agregados por Unidades de Gestão de Recursos Hídricos (UGRHs).



MANUAL E BASE NACIONAL DE USOS CONSUNTIVOS

Resultados mais detalhados da série histórica de usos consuntivos podem ser acessados em tabelas, mapas e recursos interativos em [www.snirh.gov.br/porta1](http://www.snirh.gov.br/porta1) > Usos da Água.

## OUTROS USOS CONSUNTIVOS E USOS NÃO CONSUNTIVOS

Por definição, o Manual não aborda estimativas para usos não consuntivos, como a energia hidrelétrica, a navegação, a pesca, a aquicultura em tanque-rede, o turismo e o lazer. Embora não retirem água diretamente, esses usos podem afetar a disponibilidade de água para outros usos, em quantidade e em qualidade.

A geração de energia hidrelétrica e a aquicultura são, por exemplo, usos outorgáveis pelos órgãos gestores de recursos hídricos. A operação desses setores, especialmente quando envolvem reservatórios, podem afetar positivamente ou negativamente a operação de outros setores, no local do empreendimento e/ou na bacia hidrográfica. Usos como o turismo e o lazer não são outorgáveis atualmente, mas podem ser considerados na outorga de outro uso/usuário – por exemplo, uma central hidrelétrica que deve operar em regime diferenciado aos finais de semana para permitir a visitação de uma cachoeira de interesse turístico do município.

Fato é que as restrições operativas ou indisponibilidades geradas por usos não consuntivos tendem a ser consideradas no balanço hídrico (oferta vs. demanda) pelo lado da

oferta, e não pelo lado da demanda – embora essa contabilidade seja uma abstração.

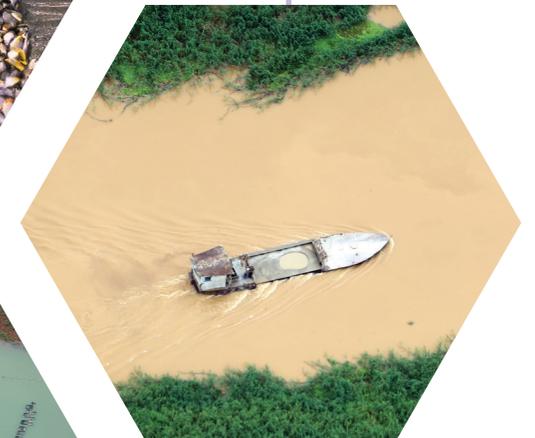
Quanto aos usos consuntivos, o Manual aborda os principais usos que detenham bases de dados na temporalidade (desde 1931) e na espacialidade (nacional) requeridas. Mesmo para os usos considerados, o Manual detalhou a dificuldade em padronizar dados com recorrentes mudanças de escala espacial e temporal e no teor dos indicadores das pesquisas, e com a própria mobilidade da escala municipal que passou de 1.365 municípios em 1931 para 5.570 atualmente.

A depender da aplicação e da escala de análise, deve-se considerar outros usos não estimados pelo Manual e/ou de baixa expressão. A melhor forma de considerar outros usos é agregando o monitoramento direto desses usuários ou, não havendo, estimativas indiretas por métodos validados. O cadastro de usuários, embora forneça uma expectativa de uso e não o uso efetivo, é uma alternativa para caracterizar demais usos na ausência das fontes anteriores – nesses casos, a análise de consistência e de representatividade do cadastro é essencial.

Região Hidrográfica Atlântico Sul  
Zig Koch / Banco de Imagens ANA



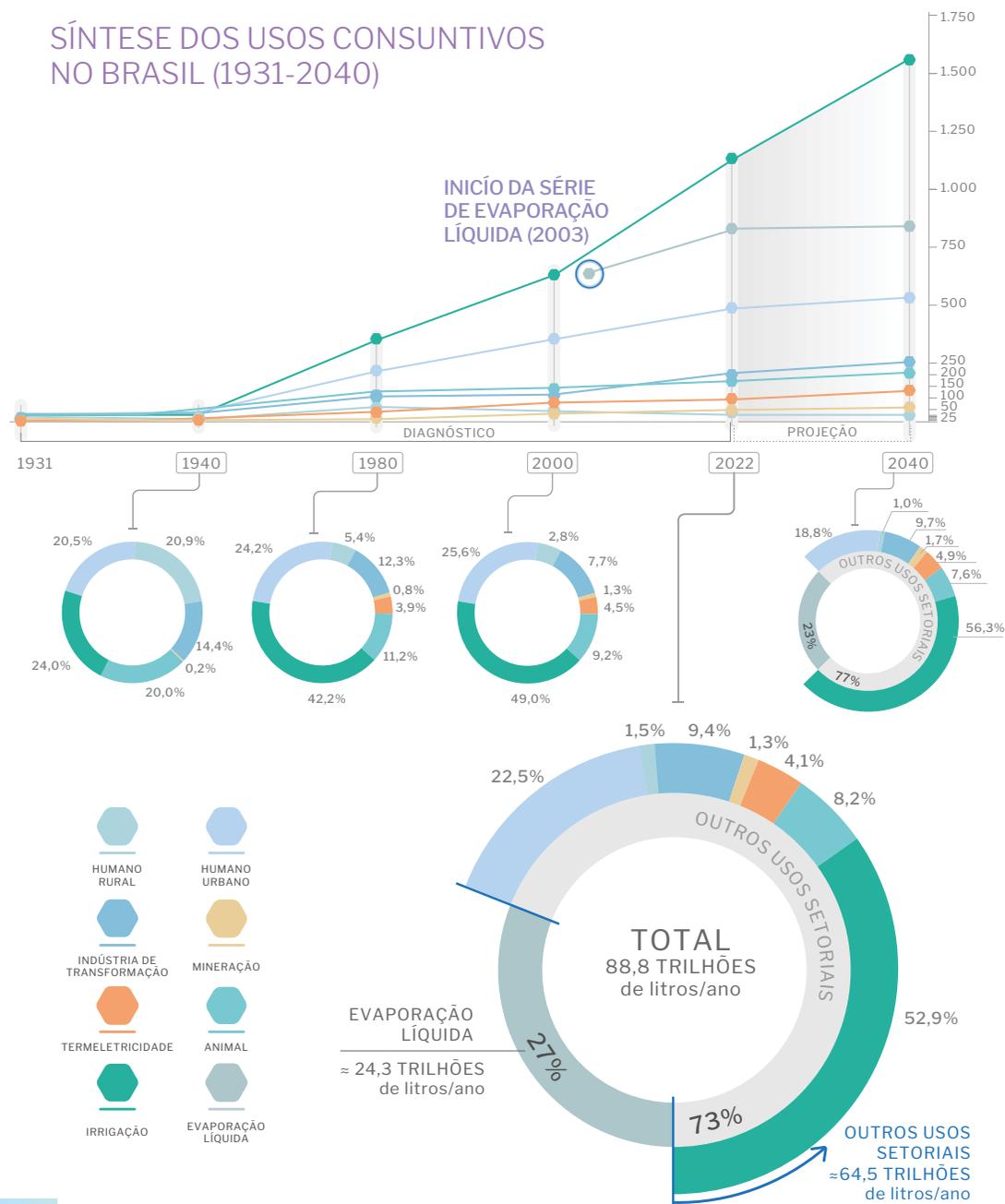
Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia  
Rui Faquini / Banco de Imagens ANA



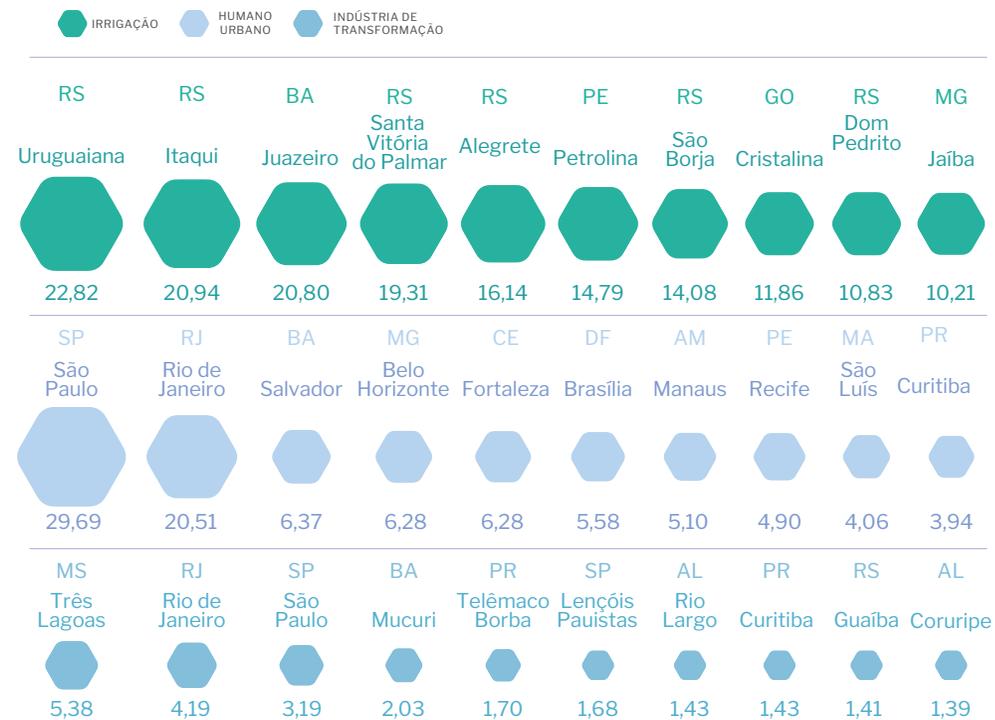
Sobrevoo à bacia  
do rio Grande  
Raylton Alves /  
Banco de Imagens ANA



## SÍNTESE DOS USOS CONSUNTIVOS NO BRASIL (1931-2040)



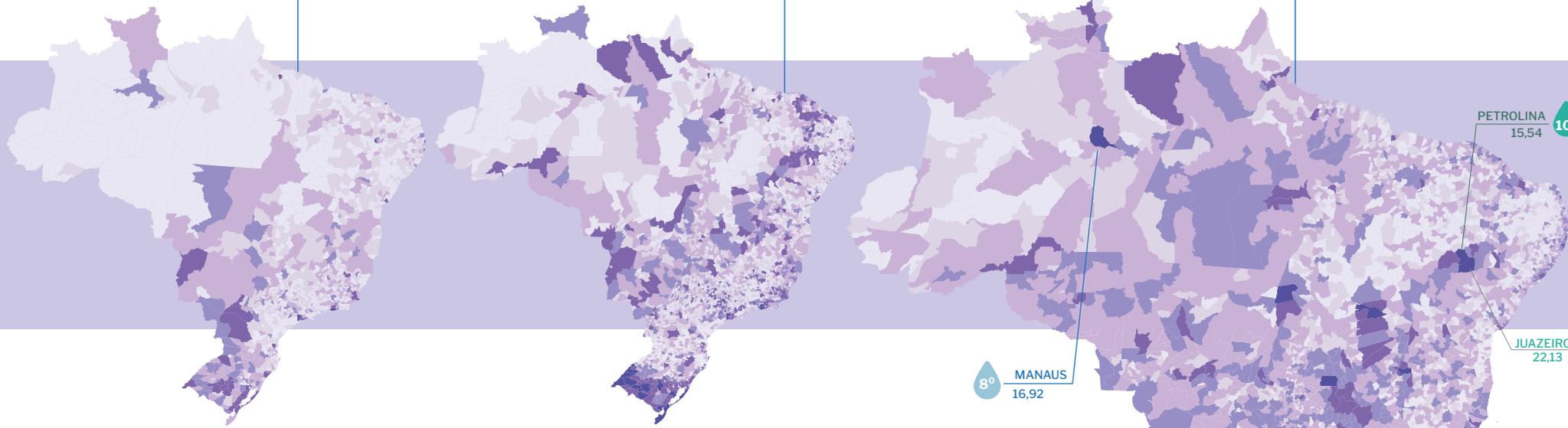
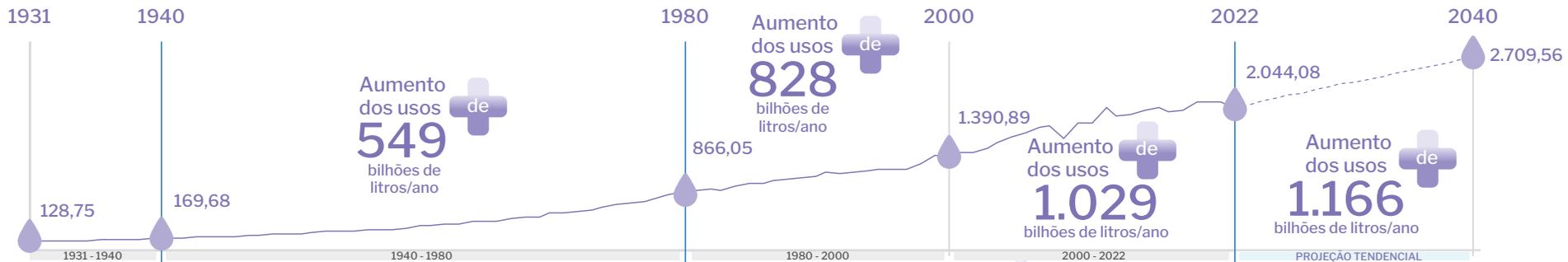
## MAIORES USOS DA ÁGUA POR MUNICÍPIO E USO (MAIORES USOS)



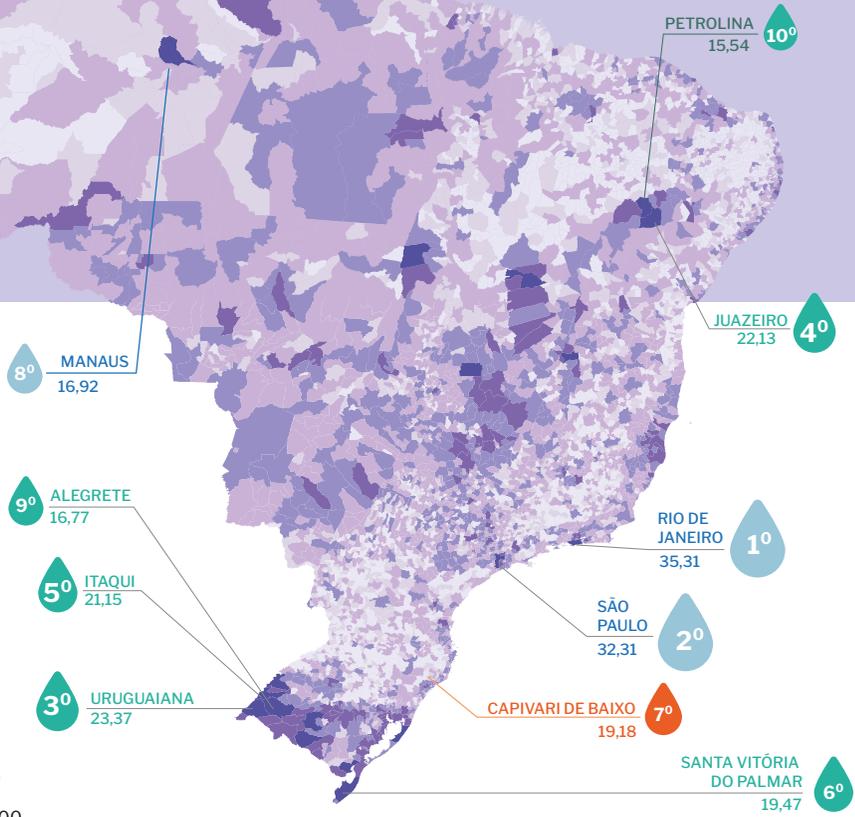
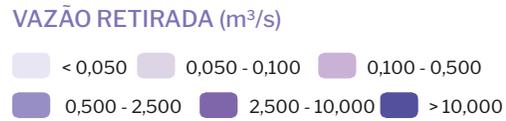
# Séries de Vazões 1931 a 2040 - Total



VAZÕES RETIRADAS (m<sup>3</sup>/s)



- MAIORES VAZÕES RETIRADAS (M<sup>3</sup>/S) POR MUNICÍPIO (2022) TERMOELETRECIDADE**
- MAIORES VAZÕES RETIRADAS (M<sup>3</sup>/S) POR MUNICÍPIO (2022) ABASTECIMENTO HUMANO**
- MAIORES VAZÕES RETIRADAS (M<sup>3</sup>/S) POR MUNICÍPIO (2022) IRRIGAÇÃO**



Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.

## Unidades de Gestão de Recursos Hídricos - UGRHs

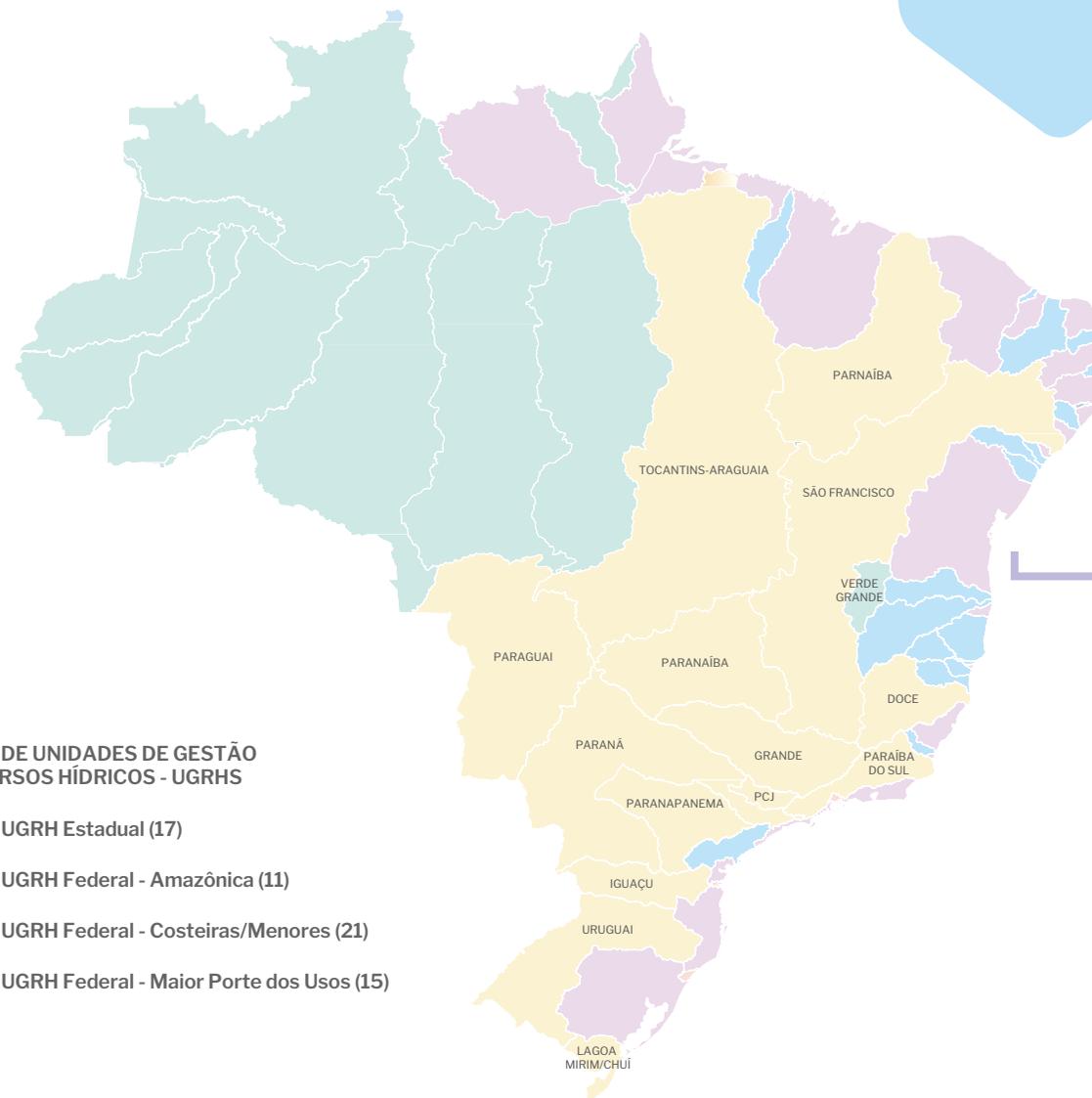
As 12 regiões hidrográficas (RHs) foram estabelecidas pela Resolução CNRH nº 32, de 15 de outubro de 2003, representando o maior nível de agregação de bacias no território brasileiro. Com o avanço da gestão e da implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, surge a necessidade de se trabalhar com novos recortes, compatíveis, por exemplo, com as dimensões territoriais e com a presença ou às demandas por gestão (Comitê de Bacia, Plano de Recursos Hídricos, mobilização social etc.).

Nesse contexto, foram estabelecidas 64 Unidades de Gestão de Recursos Hídricos - UGRHs, sendo 47 de domínio da União e 17 de domínio dos Estados. Essas unidades representam uma evolução de unidades similares estabelecidas anteriormente e são a base para o novo ciclo do Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH 2022-2040.

As RHs Parnaíba, Uruguai, Tocantins-Araguaia e Paraguai mantêm-se com os mesmos limites como UGRHs, enquanto as demais são subdivididas. A RH São Francisco se mantém exceto pelo destaque da bacia do Verde-Grande, que possui Comitê próprio. A RH Paraná é dividida nas UGRHs Parnaíba, Grande, PCJ, Paranapanema, Iguaçu e Paraná (essa formada pelas demais bacias afluentes estaduais como a do rio Tietê).

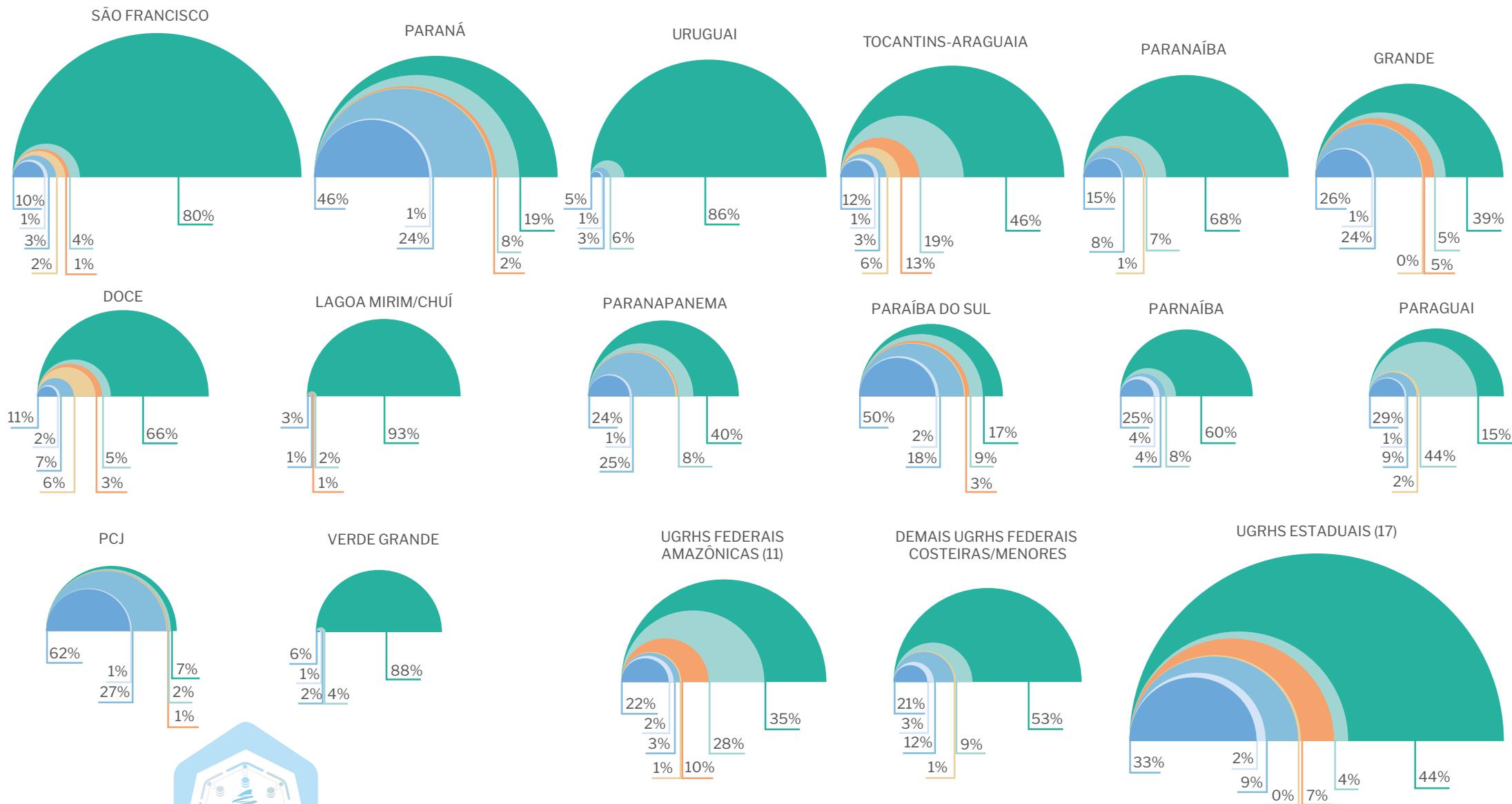
### GRUPOS DE UNIDADES DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS - UGRHS

- UGRH Estadual (17)
- UGRH Federal - Amazônica (11)
- UGRH Federal - Costeiras/Menores (21)
- UGRH Federal - Maior Porte dos Usos (15)



Para mais informações,  
acesse:  
[www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) >  
Usos da Água

# SÍNTESE DOS USOS DA ÁGUA NOS GRUPOS DE UGRHS



MANUAL E BASE NACIONAL DE USOS CONSUNTIVOS



Resultados mais detalhados da série histórica de usos consuntivos podem ser acessados em tabelas, mapas e recursos interativos em [www.snirh.gov.br/portal](http://www.snirh.gov.br/portal) > Usos da Água.

■ Abastecimento Urbano   
 ■ Abastecimento Rural   
 ■ Indústria  
■ Mineração   
 ■ Termelétrica   
 ■ Animal   
 ■ Irrigação

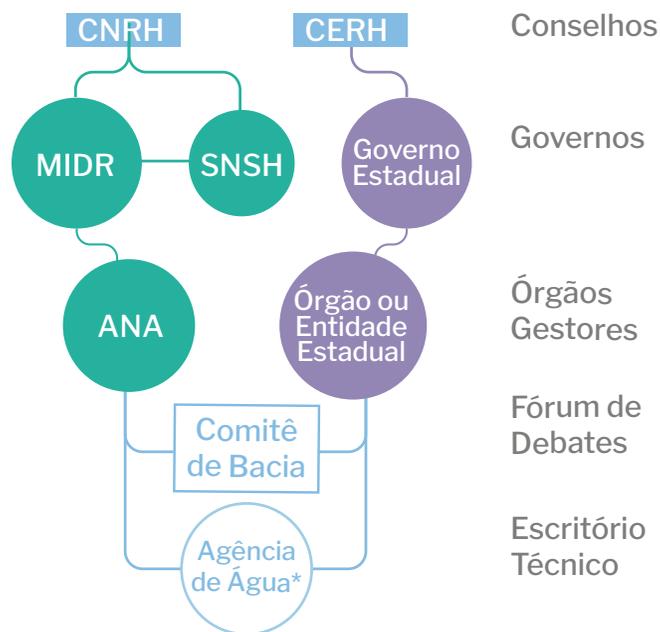
## Aplicações do Manual e da BD-Usos

Inicialmente, cabe lembrar que a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997) instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) – suas instituições são predominantemente deliberativas (Conselhos de Recursos Hídricos e Comitês de Bacias) ou operacionais (Órgãos Gestores e Agências de Água).

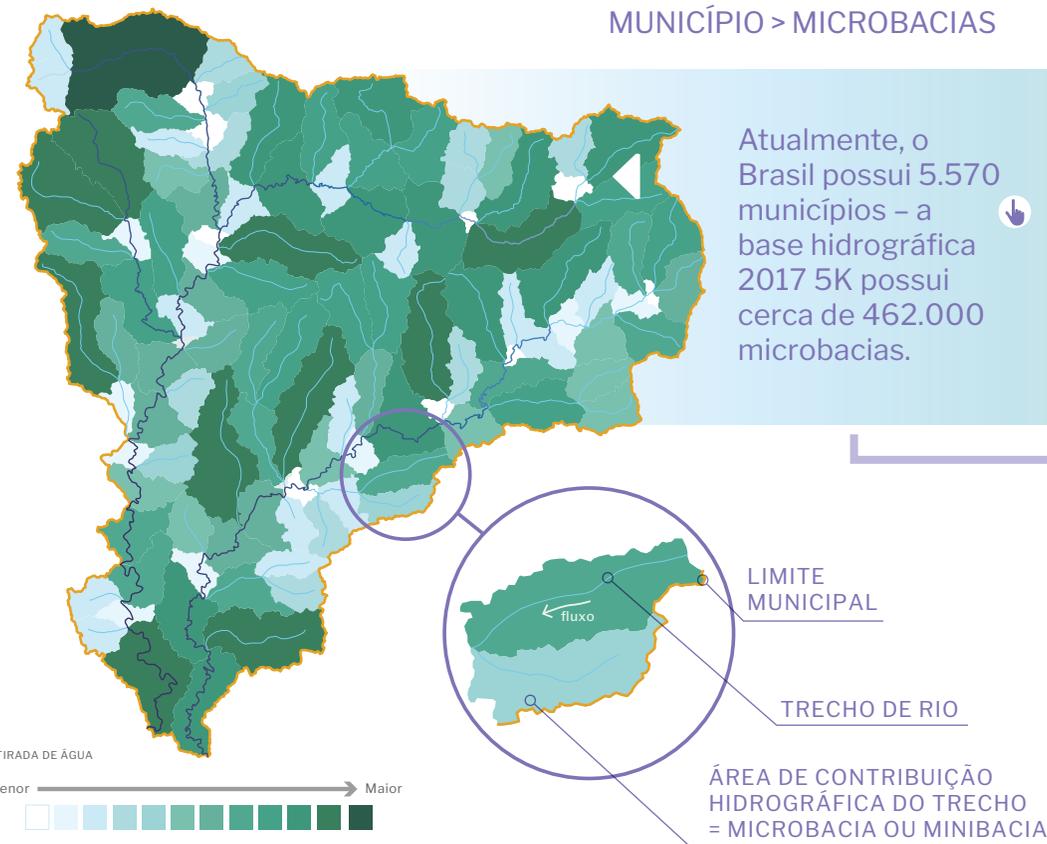
A busca pela segurança hídrica depende

de um esforço integrado de políticas, instituições e instrumentos de gestão. As políticas e iniciativas setoriais (irrigação, agrícola, industrial, urbana, desenvolvimento regional, energética etc.), públicas ou privadas, afetam e são afetadas pela agenda da água. O Manual de Usos e a BD-Usos contribuem para o avanço da agenda de recursos hídricos e as necessárias interfaces setoriais – a seguir serão ilustrados alguns dos temas centrais dessas aplicações.

### MATRIZ INSTITUCIONAL DO SINGREH



### ALOCAÇÃO DE DEMANDAS MUNICÍPIO > MICROBACIAS



A aplicação da BD-Usos na implementação de instrumentos de gestão é possível pois as estimativas, inicialmente em base municipal para a maior parte dos usos, são modeladas espacialmente para as microbacias de qualquer base hidrográfica de referência, a partir de um processo interativo de

crucamento de planos de informação. Com isso, as demandas estimadas pela BD-Usos são comparáveis com a disponibilidade hídrica dos trechos de rios ou reservatórios e com as parcelas já comprometidas por usuários outorgados/cadastrados.

## ESPACIALIZAÇÃO DE DEMANDAS EM MICROBACIAS

A maior parte das estimativas de usos consuntivos abordadas no Manual tem o município como unidade territorial, essencialmente porque os dados de entrada são disponibilizados nesta escala, tais como população urbana e rural, rebanhos, áreas irrigadas e trabalhadores na indústria. Muitos dados, especialmente históricos, estão disponíveis em escala nacional e estadual – nesses casos o Manual estabelece critérios de desagregação da informação para os municípios.

De qualquer forma, uma vez em escala municipal, os dados precisam ser desagregados na base hidrográfica de referência para a gestão (microbacias) para que, então, as informações dos usos possam ser comparadas com a disponibilidade de água. Com esse processo é possível extrair indicadores de comprometimento da segurança hídrica (balanço hídrico).

Em produtos anteriores à 1ª edição do Manual de Usos (2019), era comum a distribuição da vazão total destinada aos usos uniformemente nas microbacias contidas no município. Ou seja, se uma microbacia ocupasse 5% do município, era atribuída 5% da vazão total calculada para o mesmo município.

Posteriormente, com avanços técnicos, foram excluídas do cálculo as microbacias que não apresentassem uso antrópico, seja por serem áreas protegidas (terras indígenas e unidades de conserva-



ção de proteção integral) ou classificadas como de vegetação natural por produtos como os do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDDBS/IBAMA). Assim, apenas as microbacias com evidência de atividade humana eram consideradas para distribuir a demanda municipal. Eventualmente, em algumas análises, as microbacias eram ainda subdivididas em majoritariamente urbanas ou rurais para alocação dos usos.

Cabe destacar que, mesmo com as simplificações impostas, essas versões anteriores atenderam bem a diversos propósitos, notadamente porque as escalas de análise eram muitas vezes bastante agregadas (como nas 12 regiões hidrográficas) e a própria base hidrográfica de referência não subdividia o território em tantas microbacias como as bases atuais.

Nos estudos desenvolvidos pela ANA que culminaram na 1ª edição do Manual, identificou-se que com as bases de dados e técnicas de geoprocessamento então disponíveis poderia-se avançar expressivamente na consistência da alocação de demandas em microbacias.

A primeira evolução foi a de trabalhar a modelagem de demandas em microbacias por finalidade ou setor usuário, com indicadores que melhor representem cada uso. Em alguns casos, como a mineração e a irrigação, foi possível trabalhar a alocação espacial por tipologias dentro do próprio uso.

A tabela na próxima página sintetiza os planos de informação e fontes utilizados atualmente para alocar vazões em microbacias. A ideia geral consiste em atribuir às microbacias de um município um fator de espacialização por uso ou tipologia de uso,

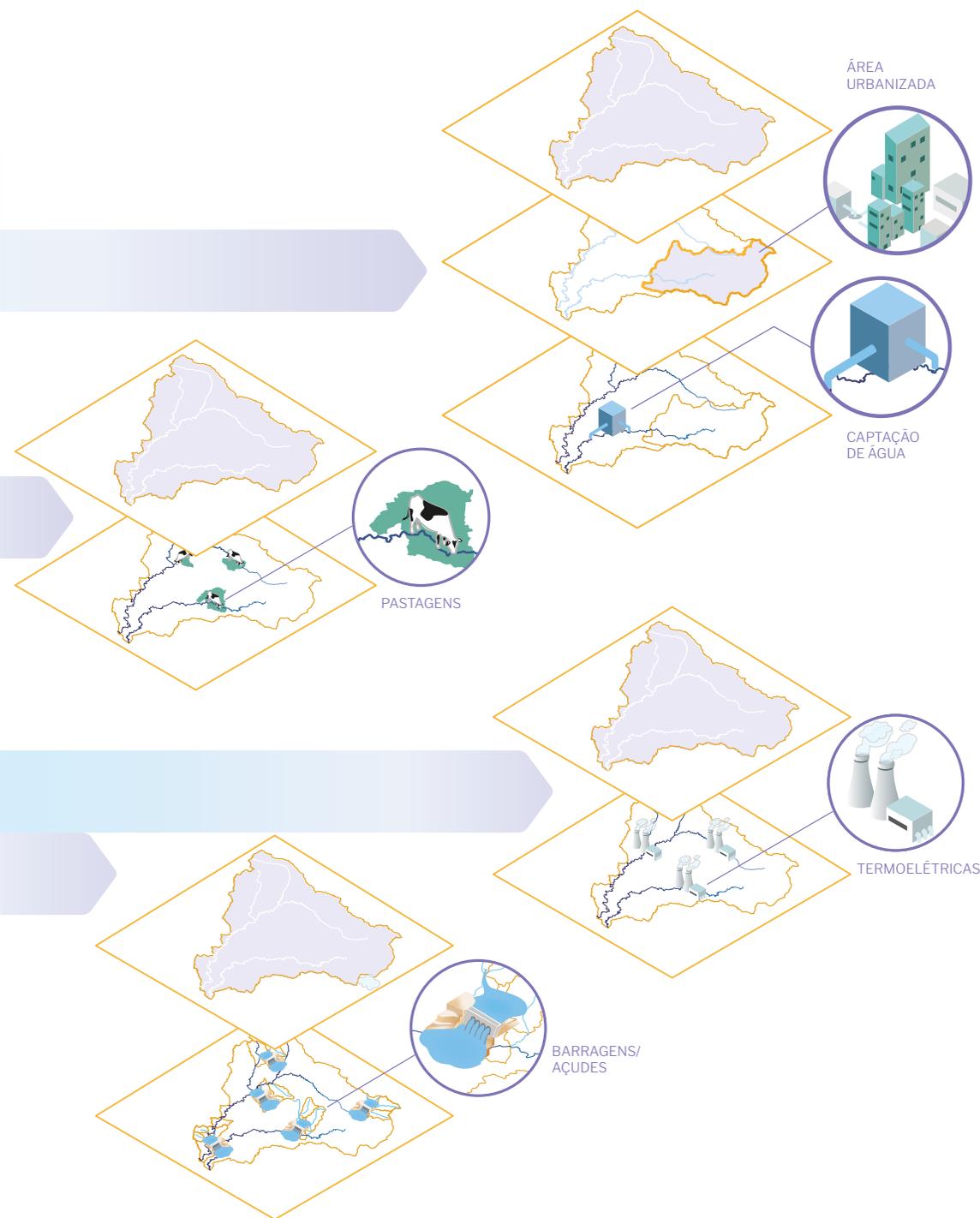
com base nas evidências disponíveis nos planos/fontes. No caso do abastecimento urbano, há dois formatos de espacialização – um proporcional à área urbanizada ocupada (onde está a demanda) e outro nos pontos de captação de água (onde a água é retirada).

A termoelectricidade e a evaporação líquida são casos especiais – na primeira o cálculo é no ponto de cada térmica e na segunda os valores são atribuídos à área mapeada do reservatório. Assim, os valores de vazões podem ser atribuídos diretamente às microbacias.

Por fim, destaca-se a importância de mapeamentos e estudos setoriais produzidos pela ANA e por parceiros para permitir a melhor alocação dos usos consuntivos nas versões mais atuais da BD-Usos.

## USOS CONSUNTIVOS E ESPACIALIZAÇÃO EM MICROBACIAS

Finalidade	Escala da estimativa de vazões	Desagregação para microbacias	Fonte
Abastecimento Humano Urbano	municipal	Área urbanizada; Captações superficiais de abastecimento	IBGE; ANA/Atlas Águas
Abastecimento Humano Rural	municipal	Setores censitários rurais (proporcional à população)	IBGE
Indústria de Transformação	municipal	Captações industriais; Área urbanizada	ANA/CNARH; IBGE
Abastecimento Animal	municipal	Mapa das pastagens	UFG e MapBiomas
Agricultura Irrigada	municipal	Mapeamentos de área irrigada (arroz, cana, pívôs, café e Semiárido); e de área agrícola (complemento)	ANA/Atlas Irrigação; MapBiomas
Mineração	municipal	Lavras minerais (carvão, minério de ferro e outras); e mapeamento	ANM; MapBiomas
Termoeletricidade	por térmica	cruzamento espacial direto (pontual)	-
Evaporação Líquida	por reservatório	cruzamento espacial direto (área mapeada)	ANA/Massas d'água



## Balanço Hídrico

Os usos consuntivos representam um dos lados da principal contabilidade feita na gestão dos recursos hídricos – indicadores de risco ou criticidade não surgem diretamente das estimativas ou medições dos usos, sendo necessário compará-las com a disponibilidade de água no manancial.

A razão entre a demanda e a oferta de água, ou balanço hídrico, apresenta-se como ferramenta de gestão capaz de identificar pressões e potenciais conflitos que podem incidir sobre os recursos hídricos diante de diferentes cenários. O grau de comprometimento da disponibilidade hídrica expresso no balanço pode motivar diferentes tomadas de decisão, desde a revisão de autorizações não utilizadas e o indeferimento de novas autorizações até a produção de estudos para ampliação da oferta por meio de infraestrutura cinza ou verde.

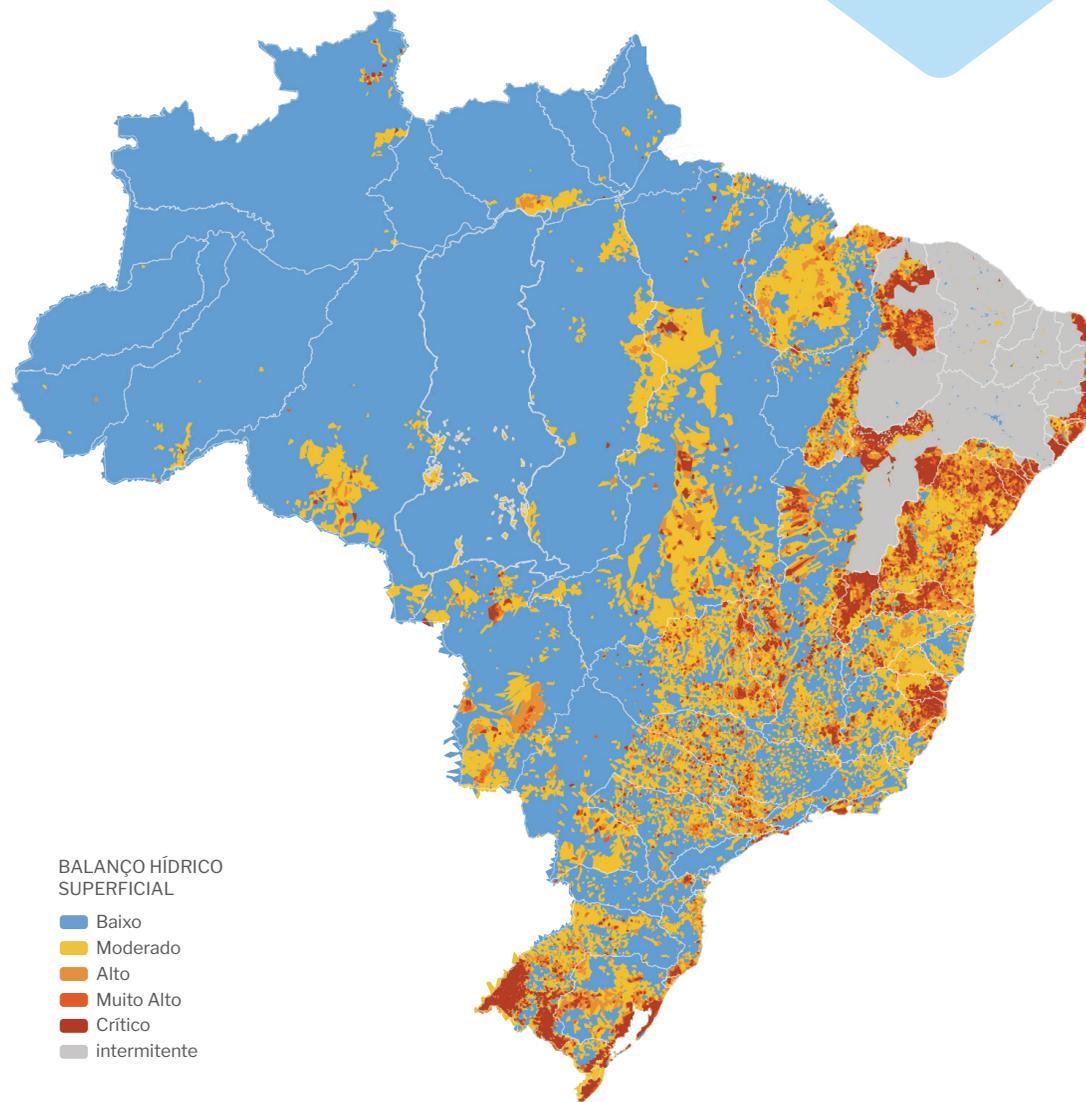
Com a impossibilidade de se medir a oferta e os usos em cada microbacia do território, os órgãos fazem uso de diferentes critérios para essa contabilidade hídrica, e esses critérios podem variar de acordo com a aplicação pretendida. Na ANA, a disponibilidade hídrica superficial é geralmente uma vazão mínima de referência com garantia de 95% no tempo ( $Q_{95\%}$ ) - que pode ser anual (quando estimada a partir de todo histórico de vazões), ou mensal (quando estimada considerando a série de vazões de cada mês do ano). A ANA autoriza o uso de até 100% da  $Q_{95\%}$  pelo conjunto de usuários.

A fonte de informações sobre os usos varia também de acordo com a aplicação, podendo adotar desde exclusivamente o cadastro de usuários (balanço hídrico legal), exclusivamente a BD-Usos (balanço hídrico efetivo) ou informações consolidadas de diferentes fontes. Cálculos de balanço hídrico com a BD-Usos são possíveis pois as estimativas, inicialmente em base municipal para a maior parte dos usos, são modeladas espacialmente para as microbacias de qualquer base hidrográfica de referência, conforme detalhado anteriormente.

Como indicador, o mapa ao lado apresenta o atual balanço hídrico superficial por microbacia no Brasil, utilizando a  $Q_{95\%}$  como oferta e a soma das vazões de retirada dos usos setoriais como demanda. O balanço hídrico foi realizado por trecho de rio, classificando-se o nível de comprometimento hídrico dos trechos em: baixo (abaixo de 5% da oferta), moderado (5% a 30%), alto (30% a 70%), muito alto (70% a 100%), crítico (acima de 100%) e intermitente (oferta nula). Observa-se que os comprometimentos mais elevados aparecem prioritariamente em áreas de concentração populacional e de desenvolvimento econômico, com consequente maior impacto no balanço. No Semiárido, dada a baixa garantia de oferta nos rios, a maior parte do território encontra-se na classe intermitente, havendo resultado do balanço hídrico nos reservatórios e trechos perenizados.

## BALANÇO HÍDRICO SUPERFICIAL POR MICROBACIA

2022



Detalhes sobre os dados e a metodologia para a Disponibilidade Hídrica Superficial (BHO 2017 5K) encontram-se disponíveis no SNIRH em:

<https://metadados.snirh.gov.br>

## Regularização de Usuários e Sistemas de Informação

Para a captação de água em mananciais superficiais ou subterrâneos, a regularização (outorga e/ou cadastro) é obrigatória junto aos órgãos gestores de recursos hídricos dos Estados e do Distrito Federal ou, em corpos hídricos de domínio da União, da ANA. Podem ser dispensados de outorga os usos de baixa expressão considerados insignificantes (captações pequenas), mas o cadastro junto ao respectivo órgão gestor segue obrigatório.

O Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos (CNARH) foi criado para conter os registros dos usuários que captam água, lançam efluentes ou realizam demais interferências diretas em corpos hídricos (rio ou curso d'água, reservatório, açude, barragem, poço, nascente etc.). A ANA é a responsável por manter o CNARH e armazenar as informações dos usuários de domínio da União e estaduais, além de disponibilizar ferramentas computacionais para a gestão dos dados. A inserção de informações no CNARH é de responsabilidade dos respectivos órgãos gestores, conforme Resolução ANA nº 1.935/2017. A ANA alimenta o CNARH com as interferências em corpos de domínio da União – os estados podem adotar o CNARH

como seu sistema oficial de cadastro de usuários (assim como a ANA) ou inserir essas informações no formato do sistema a partir de seus sistemas próprios de cadastro.

A regularização de usuários e a sua correta representação em uma base única (CNARH) é essencial à segurança hídrica dos usuários já instalados e daqueles que requeiram novas autorizações ou expansão de seus empreendimentos. A BD-Usos, em escala de bacias e sub-bacias hidrográficas, pode ser utilizada em análises de grau de regularização dos setores usuários e eventual priorização de áreas especiais para cadastro e fiscalização em campo. Também, ao fornecer projeções tendenciais futuras, a BD-Usos indica aos órgãos gestores e usuários as bacias onde conflitos potenciais podem se instalar, auxiliando em análises de risco e tomadas de decisão.

Em bacias com alto grau de regularização, a BD-Usos pode indicar onde a soma das vazões regularizadas é muito superior à estimativa do uso efetivo, já que os valores de vazão outorgada/cadastrada representam uma reserva, uma expectativa de uso da água. Eventualmente pode-se concluir por ajustes na outorga do conjunto de usuários instalados, aproximando o uso autorizado do efetivo, para permitir a entrada de novos usu-

ários com segurança hídrica.

A BD-Usos também tem sido aplicada nos últimos anos nos processos de emissão de DR-DHs e outorgas de aproveitamentos hidrelétricos, dos quais a vazão autorizada consiste em séries de vazão afluyente descontadas de séries alocadas para todos os demais usos consuntivos da bacia (atuais e projetadas) – o que difere dos demais usos que têm uma vazão alocada diretamente para uso próprio. Pela característica da outorga, o setor elétrico acaba sendo beneficiado por uma contabilidade hídrica que aproxime mais o uso autorizado do uso efetivo pelo conjunto dos demais usos consuntivos.

Por fim, cabe salientar que as informações sobre os usos da água geradas pelo Manual e por estudos setoriais compõem atualmente parte relevante do portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), coordenado pela ANA, servindo de base para diversos estudos e avaliações por um amplo conjunto de atores. Para melhor aproveitamento dos resultados, a BD-Usos deve ser continuamente incorporada e atualizadas nos sistemas de informação infranacionais (estaduais, de bacias hidrográficas), sejam eles públicos ou internos às instituições que tomam decisões sobre recursos hídricos.

## Planejamento e Estudos sobre Recursos Hídricos

O Manual e a BD-Usos têm sido desde 2018 a principal fonte de informação sobre os usos da água para o diagnóstico e o prognóstico de diversos instrumentos de planejamento e gestão. São exemplos de aplicação direta do Manual em âmbito nacional: o Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH); o Plano Nacional de Recursos Hídricos – PNRH 2022-2040; o Atlas Irrigação; o Atlas Águas: segurança hídrica do abastecimento urbano; e os informes anuais e relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil.

Quanto ao PNRH 2022-2040, principal referência para a gestão das águas do Brasil, a 1ª edição do Manual de Usos (2019) indicou que seus resultados poderiam embasar o futuro PNRH, o que acabou se concretizando nas discussões, oficinas e análises técnicas que culminaram com a aprovação do Conjuntura dos Recursos Hídricos (relatório pleno 2021) como o Volume I do novo Plano Nacional. Com isso, sob o prisma dos usos e do balanço hídrico, o Manual e a BD-Usos orientaram diretamente a formulação de ações e a priorização de unidades de gestão no PNRH em seu escopo que conta com 5 programas e 23 subprogramas.

Em âmbito regional, destaca-se a aplicação do Manual nos relatórios de Conjuntura dos Recursos Hídricos dos Estados do Paraná e do Pará, assim como em diversos Planos de Recursos Hídricos (interestaduais, estaduais e de bacias afluentes estaduais), que são instrumentos formais da Política Nacional e das Políticas Estaduais relacionadas à água, orientando demais instrumentos como outorga e cobrança pelo uso.

A identificação e a quantificação dos usos atuais e potenciais nas sub-bacias hidrográficas brasileiras, por setor econômico, representa também uma oportunidade de aprimorar o processo participativo na gestão da água e na definição de agendas operativas com foco de atuação setorial e priorização em bacias com problemas de balanço entre a oferta e a demanda de recursos hídricos. Zoneamentos e instrumentos similares podem utilizar o Manual e a BD-Usos – a base, auxiliou, por exemplo, na delimitação dos Polos Nacionais de Agricultura Irrigada, publicada pelo Atlas Irrigação (ANA, 2021).

## Automonitoramento e Cobrança pelo Uso

Por definição, a vazão outorgada/cadastrada é uma expectativa de uso máximo regularizado da água (estimativa com elevada garantia e segurança), enquanto a BD-Usos procura estimar o uso efetivo como forma de monitoramento indireto dos usos. Por isso espera-se que, mesmo em locais e setores onde tanto o CNARH quanto a BD-Usos possuam elevado nível de acerto, as vazões no CNARH sejam entre 50% e 400% superiores às da BD-Usos, a depender dos critérios adotados pelos órgãos gestores, da proporção de grandes usuários no total, da sazonalidade do uso e da finalidade.

Ou seja, a aplicação exclusiva de cadastros de usuários é insuficiente por não monitorar o uso efetivo, mas por revelar expectativas de uso que tendem a ser consideravelmente inferiores em situação de campo.

De acordo com os registros de Declaração Anual de Uso de Recursos Hídricos (DAURH) quando comparados aos valores autorizados pela ANA, apenas 53% dos volumes de água outorgados foram efetivamente utilizados pelos usuários entre 2017 e 2021. Destaca-se que esses valores representam uma amostra e são mais representativos de grandes e médios usuários, aos quais a

DAURH é obrigatória ou estimulada para fins de cobrança do uso.

A distância entre valor outorgado e efetivamente utilizado tende a diminuir em bacias com a cobrança pelo uso da água e sistemas hídricos com marcos regulatórios e alocações negociadas de água, mas também é afetada por outras variáveis de ordem hídrica e econômica. A possibilidade de expansão do empreendimento, a forma como os mecanismos da cobrança e seus valores estimulam ou desestimulam a revisão de outorgas, a disposição a pagar por uma reserva hídrica excedente, a política interna de empresas e concessionárias de serviços públicos e mesmo a morosidade ou agilidade dos órgãos gestores na revisão de pedidos de outorga são alguns dos elementos que movem a distância entre valores requisitados na outorga e valores efetivamente utilizados/declarados pelos usuários.

O automonitoramento do uso da água, ou seja, o ciclo completo de monitoramento (medir, registrar e armazenar os dados de consumo de água) e de declaração (processar e transmitir os dados ao órgão gestor) é a principal forma de monitorar diretamente o uso da água.

## Planejamento Setorial

Em março de 2024 foi publicada a Resolução ANA nº 188/2024, que define os critérios de obrigatoriedade do automonitoramento pelos usuários regularizados em corpos de domínio da União, que inclui tanto a quantidade de água captada quanto a quantidade e a qualidade dos efluentes (água lançada nos corpos de água).

Com o novo marco legal, o automonitoramento será ampliado e deve levar a um aumento considerável sobre o uso efetivo da água pelos usuários nos próximos anos. Entretanto, a natureza autodeclaratória desse instrumento, além de possuir caráter amostral, indica a necessidade de constante apoio de bases auxiliares como a BD-Usos, e de um cadastro representativo e consistente como o CNARH.

Tanto a cobrança pelo uso quanto o automonitoramento podem aplicar a BD-Usos para avançar em simulações de valores, priorização de áreas e consistência de dados, tanto atualmente quanto em projeções futuras. Em conjunto com o cadastro, os instrumentos ganham maior precisão e força quando são utilizados e evoluídos de forma complementar.

Pelos aspectos mencionados anteriormente, o Manual de Usos é fonte de informação para o planejamento dos setores usuários por retratar todos os principais usos, em todo o território e em um longo período. Ao mesmo tempo, os estudos e bases de dados setoriais são e continuarão sendo fonte para o aprimoramento contínuo das estimativas realizadas pela ANA e divulgadas pelo Manual, pelo Conjuntura e pelo portal do SNIRH.

O uso da BD-Usos ocorre geralmente de forma voluntária, mas também pode ocorrer por regulamentação da ANA ou de outras instituições. Exemplo de regulamentação são as Resoluções ANA nº 92 e nº 93, de 23 de agosto de 2021, que dispõem, respectivamente, sobre as séries históricas e as projeções futuras de usos consuntivos a montante de aproveitamentos hidrelétricos. As resoluções formalizaram a BD-Usos da ANA em recorte espacial para aplicações no setor elétrico e nos órgãos gestores de recursos hídricos, e abarcam os usos setoriais cujas bases permitem as estimativas mensais desde 1931. As resoluções foram promulgadas anteriormente à nova base sobre evaporação líquida concluída pela ANA, em sua primeira versão, ao final de 2021.

As Resoluções ANA nº 92 e nº 93/2021 têm sido então avaliadas e incorporadas pelo setor elétrico, notadamente em processos do Operador Nacional do Sistema Elétrico

(ONS) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) – como em instrumentos de planejamento energético, cálculos de garantia físicas e estudos de vazões naturais afluentes.

A BD-Usos já é também fonte para as outorgas e DRDHs do setor elétrico e deve, com o aprimoramento dos processos e dos sistemas de tomada de decisão, configurar-se como informação de apoio também para a regularização dos demais setores usuários.



O panorama da situação e da gestão das águas no Brasil, incluindo as atualizações e estudos sobre os usos, é divulgado anualmente no Relatório Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil

# CONSIDERAÇÕES FINAIS

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos no Brasil demandam informações precisas e atualizadas sobre o balanço hídrico, ou seja, sobre a relação entre a oferta e os usos da água. Os estudos sobre oferta avançaram expressivamente ao longo das últimas décadas, contando com a ampliação da rede hidrometeorológica e a disponibilização de séries históricas. O aperfeiçoamento dos modelos hidrológicos e da base hidrográfica otocodificada, aliados aos novos desenvolvimentos tecnológicos, têm contribuído para a caracterização mais precisa da disponibilidade hídrica nacional. A incorporação das mudanças climáticas e seu impacto na oferta tem sido uma nova fronteira de investigação nos estudos sobre recursos hídricos.

Com relação às demandas, diversos esforços de aprimoramento também têm sido empreendidos pela ANA, seguindo três vertentes principais. A primeira refere-se ao constante aprimoramento metodológico e tecnológico. A segunda consiste na produção, refinamento ou recuperação de bases de dados consistidas, ou seja, dos dados primários e secundários de entrada para os modelos de estimativas. A terceira vertente de atuação

ocorre no acompanhamento do estado da arte da ciência, em estudos de caso próprios ou com parcerias, monitorando novas práticas que podem ser aplicadas em estimativas nacionais em edições futuras dos estudos.

O Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil é um importante produto de sistematização dos esforços no sentido de melhoria e padronização das estimativas. Com isso, consolida e amplia as estimativas em todos os municípios do território e sua modelagem em microbacias hidrográficas, em um horizonte de 110 anos, incluindo projeções futuras (1931-2040).

Por trás dos resultados gerados há grande esforço na montagem de uma base de dados geoespacial consistente e atualizável, que continuará permitindo a constante incorporação de desenvolvimentos metodológicos, tecnológicos e em bases de dados. Por isso, o Manual de Usos é a referência metodológica de edições da Base Nacional de Referência de Usos Consuntivos da Água (BD-Usos) que também é atualizada para o Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil e outras aplicações disponíveis no SNIRH.



10

Com a ampla divulgação e transparência dos resultados, espera-se também que os usuários dessas informações contribuam para o seu aperfeiçoamento, especialmente quando da condução de análises setoriais e em escala municipal ou microrregional. Em próximas edições, a base poderá agregar categorias de usos consuntivos ainda não consideradas, como a aquicultura em tanque escavado, e usos da água no exterior em bacias que drenam para o território brasileiro.

O Manual e a BD-Usos seguem contribuindo para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos em diversas instâncias, com a missão de ajudar na garantia da segurança hídrica à população e ao desenvolvimento das atividades econômicas.

Tanto para a atualização quanto para as diferentes aplicações, deve-se destacar a importância do fortalecimento de parcerias com instituições produtoras de dados e de pesquisas, tais como a Conab, a Embrapa, o IBGE e as Universidades, em âmbito nacional; além de organismos internacionais como FAO e o *United States Geological Survey* (USGS). A parceria com as Unidades da Federação, especialmente na

articulação com órgãos gestores de recursos hídricos, também deve ser aprimorada e fortalecida, tanto para atualização quanto para aplicação dos resultados.

Na esfera das agendas setoriais, essa base fornece aos setores produtivos um panorama atualizado e uma visão de futuro dos usos da água e do balanço hídrico nas bacias hidrográficas do território nacional, balizando as análises de risco e de sustentabilidade hídrica dos empreendimentos. O planejamento do Estado brasileiro junto aos setores contará com essas informações de referência aprimoradas, orientando importantes instrumentos como os Planos Nacional e Estaduais de Irrigação e as revisões de garantias físicas do parque hidrelétrico, assim como o Plano Nacional e os Planos Decenais de Energia.

Por fim, reitera-se que resultados desagregados das séries de usos consuntivos geradas no estudo (1931-2040) e suas atualizações, por setor usuário e município, bem como mapas interativos, painéis de indicadores e outros conteúdos, podem ser acessados no portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH (<http://www.snirh.gov.br>).

# REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado da bacia do rio São Francisco e da sua zona costeira:** relatório final. Brasília: ANA, 2004.

\_\_\_\_\_. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil.** Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2005, 134p.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos 2009.** Brasília: ANA, 2009, 204 p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Brasil:** abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA, 2010.

\_\_\_\_\_. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos.** Brasília: ANA, 2013a, 252 p.

\_\_\_\_\_. **Estudo de Modelagem Quantitativa e Qualitativa de Trechos de Rio em Bacias Hidrográficas Consideradas Críticas:** resumo executivo. Brasília: ANA, 2016.

\_\_\_\_\_. **Água na Indústria:** uso e coeficientes técnicos. Brasília: ANA, 2017a, 76 p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Irrigação:** uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017b.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017:** relatório pleno. Brasília: ANA, 2017c, 177 p.

\_\_\_\_\_. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na Região Centro-Sul do Brasil.** Brasília: ANA, 2017d.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Relatório Pleno:** 2017. Brasília: ANA, 2017e.

\_\_\_\_\_. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil.** Brasília: ANA, 2019a.

\_\_\_\_\_. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil.** Brasília: ANA, 2019b.

\_\_\_\_\_. **Coeficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada.** Brasília: ANA, 2019c.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Brasília: ANA, 2019d.

\_\_\_\_\_. **Estimativas de evapotranspiração real por sensoriamento remoto no Brasil.** Brasília: ANA, 2020a.

- . **A indústria na bacia do rio Paranapanema: uso da água e boas práticas.** Brasília: ANA, 2020b.
- . **Polos nacionais de agricultura irrigada: mapeamento de áreas irrigadas por imagens de satélite.** Brasília: ANA, 2020c.
- . **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada - 2ª ed.** Brasília: ANA, 2021a.
- . **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano** Brasília: ANA, 2021b.
- . **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Relatório Pleno: 2021.** Brasília: ANA, 2021c.
- . Base Nacional de Usos da Água e as Resoluções ANA nº 92 e nº 93/2021. **Boletim do SNIRH**, n.1, 2022a.
- . Ferramentas para monitoramento da agricultura irrigada. **Boletim do SNIRH**, n.2, 2022b.
- . Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil: Uso da Água na Agricultura de Sequeiro e Irrigada. **Boletim do SNIRH**, n.3, 2022c.
- . Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil - 1985-2022. **Boletim do SNIRH**, n.4, 2023.
- . Mapeamento do Arroz Irrigado no Brasil - safra 2022/2023. **Boletim do SNIRH**, n.5, 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil); Embrapa. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil – 2014:** relatório síntese. Brasília: ANA & Embrapa, 2016.
- . **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil (1985-2017).** Brasília: ANA & Embrapa, 2019.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil); COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Brasil). **Mapeamento do arroz irrigado no Brasil.** Brasília: ANA & Conab, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil); IBGE. **Uso da água na agricultura de sequeiro no Brasil (2013-2017).** Brasília: ANA, 2020.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Perspectivas e avanços da gestão de recursos hídricos na mineração.** Brasília : ANA, IBRAM, 2024.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Boletim de Acompanhamento das Centrais Geradoras Termelétricas.** Brasília: ANEEL, 2016.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration:** guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56. Rome: FAO, 1998.
- AMARAL, L. G. H. do; RODRIGUEZ, R. del G.; PRUSKI, F. F.; RAMOS, M. M. Vazão retirada e consumo efetivo de água em diferentes sistemas de irrigação do arroz. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 3, p. 178-192, jul./set. 2005. Disponível em: <http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/Vol13/v13n3p178-192.pdf>.
- ARROYO, E. M. V. **Proposta metodológica para avaliação da vulnerabilidade da geração termelétrica a carvão mineral no Brasil às mudanças climáticas.** Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012, 176 p.
- AVERYT, K. et al. **Freshwater use by U.S. power plants:** electricity's thirst for a precious resource. Cambridge/MA: Union of Concerned Scientists, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos:** Síntese executiva. Brasília, DF, 2006. 135 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030.** Brasília: MME: EPE, 2007.
- . **Plano Nacional de Mineração 2030.** Brasília: MME, 2011b.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil Projeções do Agronegócio 2010/2011 a 2020/2021.** Brasília: MAPA, 2011a.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Desenvolvimento de matriz de coeficientes técnicos para recursos hídricos no Brasil:** relatório final dos coeficientes técnicos de recursos hídricos das atividades industrial e agricultura. [S.l. : s.n.], 2011.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:** Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016. Brasília: SNSA/MCidades, 2018, 220 p. Disponível em: <http://www.snis.gov.br>. Acesso em: 10 out. 2018.
- BRUTSAERT, W. On a derivable formula for long-wave radiation from clear skies. **Water Resour. Res.**, 11, 742–744, 1975a.
- BRUTSAERT, W. Roughness length for water vapor, sensible heat and other scalars. **Jas**, 32, 2028–2031, 1975b.
- BRUTSAERT, W. **Evaporation into the atmosphere.** Dordrecht: D. Reidel, 1982.
- COESA. **U.S. Standard Atmosphere, 1976.** U.S. Government Printing Office, 1976.
- COGLEY, J. G. The albedo of water as a function of latitude. **Mon. Wea. Rev.**, 107(6), 775–781, 1979.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Indústria em números (março/2017).** Brasília: CNI, 2017, 8 p.
- COSTA, A.D.M. **Quantificação de atributos físicos de solos de várzea, relacionados com a disponibilidade de água, o espaço aéreo e a consistência do solo.** Dissertação (Mestrado em Agronomia). Pelotas: UFPEL-FAEM, 1993, 134p.

DELGADO, A.; HERZOG, H. J. **A simple model to help understand water use at power plants.** Massachusetts Institute of Technology: Energy Institute, 2012.

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY (DWAFF). South African Water Quality Guidelines. **Livestock Watering.** ed. 2, 1996, 163 p.

DIAS, N. L., HOELTGEBAUM, L. E. B., & SANTOS, I. STAEBLE: A surface-temperature- and available-energy-based lake evaporation model. **Water Resour. Res.**, WRCR26469, 2023.

DUARTE, H. F., DIAS, N. L., & MAGGIOTTO, S. R. Assessing daytime downward longwave radiation estimates for clear and cloudy skies in Southern Brazil. **Agric For Meteorol**, 139, 171-181, 2006.

EMBRAPA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil.** Embrapa Clima Temperado, 2003. Disponível em: <http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz>. Acesso em: 09 maio 2005.

\_\_\_\_\_. **Estimando o Consumo de Água de Suínos, Aves e Bovinos em uma Propriedade.** Cartilha. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2005.

\_\_\_\_\_. **Consumo de água na produção animal:** comunicado técnico 102. São Carlos/SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013, 6p.

\_\_\_\_\_. **Dados conjunturais da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil (1986 a**

**2017):** área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em: 20 out. 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2025:** projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: FIESP, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Livestocks's Long Shadow:** Environmental issues and options, FAO, 2006.

GLEICK, P. et al. **Waste not, want not:** the potential for urban water conservation in California. [S.l.]: Pacific Institute, 2003

GOMES, A. do S.; PAULETTO, E.A. (Ed.) **Manejo do solo e da água em áreas de várzea.** Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 1999. 201p.

GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil.** Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

IBGE. **Estatísticas do Século XX.** Rio de Janeiro: IBGE, 2006, 577 p

\_\_\_\_\_. **Censo Agropecuário 2006.** Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

\_\_\_\_\_. **Evolução da divisão territorial do Brasil 1872 - 2010:** conteúdo digital, 2011. Disponível em: [http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default\\_evolucao.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_evolucao.shtm). Acesso em: 11 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Projeções da População:** Brasil e Unidades da Federação: revisão 2018. Série Relatórios Metodológicos, v. 40 - 2a. Ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

\_\_\_\_\_. **Produção da Pecuária Municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, v. 41, p.1-108, 2013b.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Industrial:** empresa. Rio de Janeiro: IBGE, v. 35, n. 1, p. 1-44, 2016a.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Industrial:** produto. Rio de Janeiro: IBGE, v. 35, n.2, p.1-20, 2016b.

\_\_\_\_\_. **Produção da Pecuária Municipal.** Rio de Janeiro: IBGE, v. 45, p.1- 17, 2017.

IDAHO DEPARTMENT OF WATER RESOURCES (IDWR). **Domestic, Commercial, Municipal and Industrial Water Demand Assessment and Forecast in Ada and Canyon Counties.** Idaho: [s.n.], 2001.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado do Paraná:** Relatório 1.1.: Diagnóstico das Demandas e Disponibilidades Hídricas Superficiais. Curitiba, 2010.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Uso de água em termoeletricas.** Série Termoeletricidade em foco. São Paulo: IEMA, 2016, 34 p.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL (IMASUL). SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado de Mato Grosso do Sul.** Campo

Grande: IMASUL: SEMAC, 2010.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Cultivares.** [S.l. : s.n.], 2005. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/cultivares.pdf>. Acesso em: 09 maio 2005.

KONIG, O. **Rendimento do milho sob três níveis estáticos de drenagem e irrigação sub-superficial em plano-sol (RS).** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1983, 85p.

MACHADO, R.L.; TURATTI, A.L.; MACHADO, A.L.; ALONÇO, A.S.; REIS, A. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.3, p.175-178, 1996.

MARCHEZAN, E. et al. Desempenho de genótipos de arroz irrigado cultivados no sistema pré-germinado com inundação contínua. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1349-1354, 2004.

MAUPIN, M.A. et al. **Estimated use of water in the United States in 2010:** U.S.Geological Survey Circular 1405, 2014.

McMAHON, T.A.; PEEL, M.C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; McVICAR, T.R. **Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data:** a pragmatic synthesis. Hydrology and Earth System Sciences, 17, 1331-1363, 2013. Disponível em: <http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/1331/2013>. Acesso em: 08 mar. 2017.

- MEDEIROS, A. M. **Bases metodológicas para a incorporação da variável ambiental no planejamento da expansão termelétrica no Brasil**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2003, 126 p.
- MORTON, F.I.; RICARD, F.; FOGARASI, S. **Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation**: Program WREVAP. NHRI Paper 24. Ottawa: National Hydrology Research Institute, 1985.
- MORTON, F.I. Operational estimates of areal evaporation and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 1-76, 1983a.
- Operational estimates of lake evaporation. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 77-100, 1983b.
- MU, Q., ZHAO, M., & RUNNING, S. W. Improvements to a modis global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sens. Environ.**, 115(8), 1781-1800, 2011.
- NORTHERN IRELAND ENVIRONMENT AGENCY (NIEA). **How to Calculate Water Usage on Farms**. [S.l. : s.n.], 2009, 10p.
- ONTARIO MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS - OMAFRA (Canada). **Water Requirements of Livestock**. Ontario, Canada, 2009.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉ-TRICO (ONS). **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. [S.l. : s.n.], 2003a.
- **Vetores de Evaporação Líquida para o Subsistema Nordeste** (ONS-NT-074/2003). Rio de Janeiro: ONS, 2003b, 41 p.
- **Evaporações líquidas nas usinas hidrelétricas**. Rio de Janeiro: ONS, 2004, 61 p.
- **Estimativas das Vazões para as Atividades de Uso Consuntivo da Água em Bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. Brasília: ONS: FAHMA-DZETA: ANA: ANEEL: MME, 2005.
- ORANGE, M.N. et al. California Simulation of Evapotranspiration of Applied Water and Agricultural Energy Use in California. **Journal of Integrative Agriculture**, 12(8), p. 1371-1388, 2013.
- PEREIRA, R.M. et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, SP, p. 149-157, 2015.
- PETRINI, J.A. et al. **Sistema de cultivo de arroz pré-germinado e transplante de mudas**. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.
- ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, 139 p.
- ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASSELLA, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971-1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, p.113 - 122, 2004.
- SCARPARE, F. V. et al. Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. **Journal of Cleaner Production**, ELSEVIER, 1-9, 2015.
- SHAFFER, K; RUNKLE, D. **Consumptive Water–Use Coefficients for the Great Lakes Basin and Climatically Similar Areas**. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 5197. Virginia: USGS, 2007.
- SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Itajaí/SC: SOSBAI, 2003.
- STILLWELL, A.S.; KING, C.W.; WEBBER, M,E; DUNCAN, I.J.; HARDBERGER, A. The Energy-Water Nexus in Texas. **Ecology and Society**, v. 16(1), n 2, 2011. Disponível em: <http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art2>. Acesso em: 12 fev. 2016.
- SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA (Estado do Paraná). **Manual Técnico de Outorgas**. Curitiba: SUDERHSA, 2006, 107 p.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste – PLIRHINE**. Recife/PE: SUDENE, 1980.
- TOMASELLA, J., HODNETT, M.G., ROSSATO, L. Pedotransfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, 64, 327-338, 2000.
- TRONCHONI, J.G. Pré-germinação e semeadura. In: ENCONTRO ESTADUAL DO SISTEMA PRÉ-GERMINADO EM ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas, 1995. **Resumos...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1995, p.41-45.
- U.K. Environment Agency (EA-UK). **Waterwise on the Farm**: a simple guide to implementing a water management plan. UKEA: 2007.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica**. Belo Horizonte: Ed. IGC/UFMG, 2015, 146 p. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/pecuaria>. Acesso em: 11 fev. 2017.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Irrigation water requirements**. Tech. Rel. n. 21, 1970.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Method for Estimating Water Withdrawals for Livestock in the United States**: 2005. [S.l.]: USGS, 2009.

VASCONCELLOS, E.B. **Levantamento dos atributos físicos e hídricos de três solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Dissertação (mestrado em Agronomia). Pelotas: UFPEL-FAEM, 1995, 120 p..

WARD D.; McKAGUE K. Water requirements of livestock. **FactsSheet**. v. 5, p. 07-23, 2007.

WEBER, L.; MARCHEZAN, E.; CARLESSO, R.; MARZARI, V. Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes sistemas de cultivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.27-33, 2003.



MINISTÉRIO DA  
INTEGRAÇÃO E DO  
DESENVOLVIMENTO  
REGIONAL

