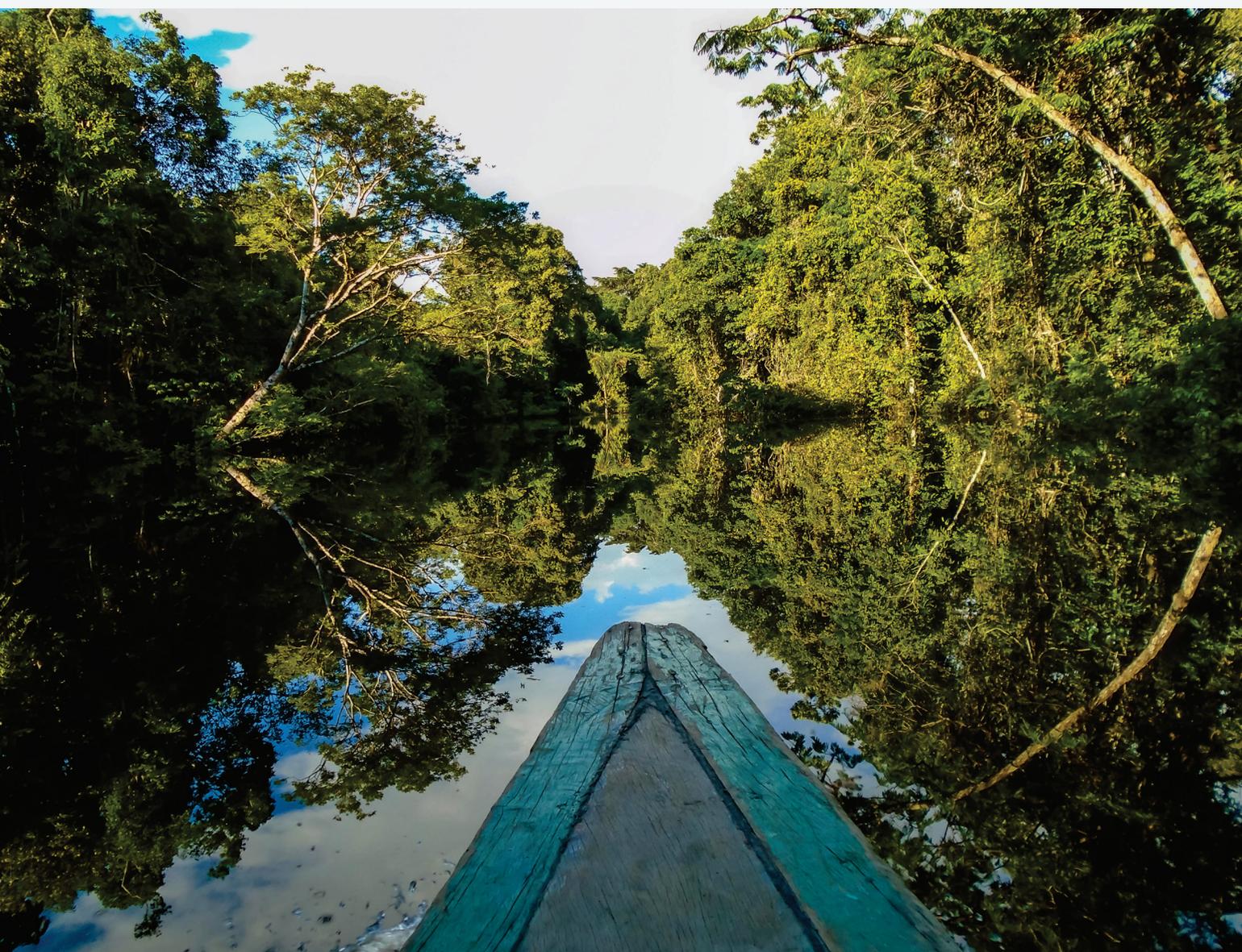


DEMANDA FUTURA POR ÁGUA TRATADA NAS CIDADES BRASILEIRAS 2017 A 2040



EX ANTE CONSULTORIA ECONÔMICA
AGOSTO DE 2020



APOIO INSTITUCIONAL



ANÁLISE PRODUZIDA POR:

FERNANDO GARCIA DE FREITAS
ANA LELIA MAGNABOSCO
RUBENS FERREIRA FILHO

Os autores agradecem ao Prof. Dr. Roger Rodrigues Torres da Universidade Federal de Itajubá e do Instituto de Recursos Naturais da Unifei pela colaboração na revisão do relatório, especialmente nos aspectos ligados ao meio ambiente. Os autores também agradecem a Samuel Barreto, gerente de água da TNC, e a Gilberto Tiepolo, gerente adjunto de água, pelos comentários e sugestões à versão preliminar deste estudo.

Índice

1. Introdução	5
2. Fatores determinantes da demanda de água	9
2.1 Abordagens metodológicas	9
2.2 Modelos econométricos e base de dados	10
2.3 Resultados das estimativas	12
2.4 Estimativas do consumo de água no Brasil em 2017	15
3. Cenários econômicos e demográficos para 2040	21
3.1 Abordagens teóricas	21
3.2 Modelo econométrico de crescimento	23
3.3 Cenários demográfico e de crescimento econômico até 2040	25
4. Cenários de consumo de água em 2040	35
5. Considerações finais	41
Bibliografia	49
Anexos	51

1

INTRODUÇÃO

Em 2017, segundo as Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil (IBGE, 2020), as famílias brasileiras utilizaram cerca de 8.800 bilhões de m³, sendo aproximadamente 8.100 bilhões de m³ provenientes de redes de distribuição de água e 700 milhões de m³ captados diretamente nas propriedades para consumo próprio. Esse valor é praticamente o mesmo do observado cinco anos antes, em 2013, indicando que houve uma expansão muito pequena do consumo residencial de água.

Não há evidência de que essa evolução seja resultado de um aumento na eficiência do uso da água. A tendência reflete a crise hídrica ocorrida a partir de 2014 e o baixo crescimento da renda e da população. Ela também é afetada de forma decisiva pelos padrões de urbanização e pela cobertura e regularidade dos sistemas de abastecimento de água.

O presente estudo tem como objetivo desenhar cenários de demanda futura de água nas moradias brasileiras em 2040, apontando as principais variáveis que condicionam as diferentes tendências de crescimento do consumo. O objetivo do desenvolvimento de cenários de demanda é capturar o potencial de demanda futura por água em diferentes condições econômicas, demográficas, de padrão de consumo, ambientais etc.

A análise leva em consideração as estatísticas sobre consumo de água, demografia e economia, de 2002 a 2017, e está baseada na literatura acadêmica sobre os temas em questão. No estudo, foi empregada uma metodologia clássica de desenhos de cenários futuros de demanda. Essa metodologia é amplamente aplicada nas análises

prospectivas de vendas e produção de bens e serviços na economia de uma forma geral. Servem para o planejamento de longo prazo, seja das empresas ou do poder público, um aspecto particularmente importante na gestão de recursos ambientais.

Um bom exemplo da aplicação dessa metodologia no desenho de cenários de demanda futura de água é o estudo desenvolvido por pesquisadores da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, para o Departamento de Recursos Naturais do Estado de Illinois, Estados Unidos [Meyer et al (2019)]. O estudo de Meyer et al (2019) projeta para 2060 a demanda global por água na Bacia Hidrográfica do Rio Rock, seja para uso doméstico, seja para fins econômicos (agropecuária, indústria e serviços). A metodologia parte da análise dos fatores determinantes da demanda por água, que identifica as condições que interferem no nível de consumo, para projetar a demanda de água em diferentes cenários. Os cenários são conjuntos de condições diferentes que representam o espectro de possibilidades econômicas, demográficas, de padrão de consumo, ambientais etc.

Seguindo essa metodologia, o presente estudo analisa, num primeiro passo, as relações entre população, renda, grau de urbanização e outras variáveis socioeconômicas, de um lado, e o consumo de água das cidades brasileiras, de outro. Essa análise serve para estimar o volume de água consumido nos municípios que não informam essa estatística ao Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS) do Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), ou que a informam de forma não padronizada. Assim, esse procedimento torna possível estimar com maior precisão o nível de consumo residencial no Brasil e avaliar a situação dos municípios no ano de referência da análise (2017).

Num segundo passo, o estudo traça quatro cenários de demanda baseados nas projeções de expansão demográfica, de crescimento econômico e de padrões de consumo entre 2017 e 2040. Aos moldes de Meyer et al (2019), o presente estudo emprega um único cenário demográfico, com taxas individualizadas para cada município brasileiro. O cenário demográfico segue o trabalho de Givisiez e Oliveira (2018). Os quatro cenários de consumo diferem entre si em razão (i) de contextos econômicos diferentes, que levam a projeções distintas de evolução da renda per capita nas unidades da Federação, e (ii) de contextos de consumo que dependem da cobertura do atendimento dos serviços de abastecimento de água e do grau de urbanização nas cidades brasileiras.

Por fim, esses cenários são empregados para projetar (i) a evolução do consumo per capita de água, por município e unidade da Federação, e (ii) a expansão da demanda total por água tratada nessas unidades regionais entre 2017 e 2040. A expansão da demanda constitui o desafio de ampliação da oferta de água por parte dos operadores do sistema.

Além desta introdução, o estudo tem três seções com a seguinte distribuição de assuntos:

- ✓ **Seção 2:** apresenta a análise dos fatores determinantes da demanda residencial de água considerando a literatura internacional sobre o tema e as estimativas feitas com base em informações dos municípios brasileiros;

- ✓ Seção 3: apresenta a metodologia empregada nas análises de crescimento econômico e dinâmica demográfica e traça os cenários para o horizonte de 2040; e
- ✓ Seção 4: apresenta as projeções de consumo per capita de água nas moradias para os municípios e unidades da Federação considerando os diferentes cenários econômicos e de padrão de consumo.
- ✓ Seção 5: traça considerações sobre duas importantes questões ambientais envolvidas no tema que são (i) as perdas na distribuição do sistema de abastecimento de água e (ii) o efeito potencial do aquecimento global sobre o equilíbrio entre demanda e oferta de água tratada.

Encerram o documento a bibliografia empregada e os anexos estatísticos e metodológicos.

2

Fatores determinantes da demanda de água

2.1. Abordagens metodológicas

Os artigos de Epsey et al (1997) e de Arbués et al (2003) trazem boas resenhas dos estudos e metodologias empregadas na estimação dos fatores determinantes do consumo residencial de água. Os dois artigos resenham os estudos de elasticidade-preço da demanda residencial por água publicados entre 1967 e 2002. Há três abordagens principais: microeconômicos, mesoeconômicos e macroeconômicos.

A chamada de abordagem micro, analisa os dados domiciliares de consumo e correlaciona os padrões de uso da água com informações socioeconômicas e locais das residências. A referência histórica dessa abordagem é o estudo de Howe e Linaweaver (1967). Além de avaliar o efeito do preço da água e da renda no consumo, esse tipo de abordagem permite avaliar de forma mais precisa a influência dos fatores locais e das características das famílias e das moradias sobre a demanda por água.

A abordagem de estimativas por municípios ou distritos (meso), que é a predominante na literatura, avalia informações num plano mais agregado, considerando dados médios das áreas. Exemplos dessa abordagem são os estudos de Schleich e Hillenbrand (2009), que analisa a demanda em 600 áreas de suprimento de água na Alemanha, e o de Meyer et al (2019), que analisa as informações distritais dos municípios pertencentes à Bacia Hidrográfica do Rio Rock em Illinois, Estado Unidos. O estudo de Wentz e Gober (2007) desenvolve uma análise espacial da demanda residencial por água na cidade de Phoenix, Arizona. Nesse último estudo, a cidade foi dividida em quadriláteros cada um representando um lote de consumo domiciliar de água.

Além dessas abordagens, há estudos que analisam dados ainda mais agregados para regiões extensas, como estados ou províncias e nações – abordagem macro. Exemplo dessa abordagem são os estudos de Babel et al (2007) para a região de Catmandu, no Nepal.

Outro exemplo é a modelagem de Corral, Fischer e Hatch (1999) que analisam os fatores determinantes da demanda por água e a elasticidade-preço da demanda com dados agregados de três distritos da cidade de San Francisco, nos Estados Unidos.

A predominância dos estudos mesoeconômicos é justificada por dois pontos: a competência do planejamento municipal e a disponibilidade de dados. Além disso, os autores desses dois artigos destacam que a abordagem mesoeconômica tem as vantagens de permitir a agregação das informações em níveis mais abrangentes e as bases de dados dispõem de um volume maior de observações.

As três abordagens buscam estabelecer relações teóricas que descrevem os fatores determinantes do consumo de água. Nessa visão, o volume consumido de água em uma dada sociedade (variável dependente) é determinado por fatores demográficos, econômicos, técnicos e sociais (culturais e religiosos) que são exógenos (variáveis independentes).

Muitas relações hipotéticas foram formuladas e muitas variáveis independentes foram testadas para explicar a quantidade demandada de água, mas há um conjunto pequeno de indicadores que pertencem à maior parte das análises. Epsy et al (1997) destacam as seguintes variáveis independentes: preço da água, renda média das famílias, densidade populacional, tamanho do domicílio, sazonalidade, evapotranspiração, temperatura, disponibilidade e localização geográfica. Arbués et al (2003) destacam um conjunto semelhante: preço da água, renda média, clima, adensamento domiciliar, características físicas das moradias, forma de cobrança, tipo de uso (dentro e fora de casa).

Vale destacar que Meyer et al (2019) empregam a proporção da população economicamente ativa na população total de cada cidade da amostra no conjunto de variáveis explicativas. Wentz e Gober (2007) consideram a percentagem de residências

com piscinas em área geográfica, o tamanho médio dos lotes, a parcela da área dos lotes empregada em usos não residenciais e o tamanho médio das residências em cada área. Schleich e Hillenbrand (2009) incluem no conjunto de variáveis explicativas a parcela das moradias com poço para extração de água.

As relações teóricas são testadas por meio de técnicas econométricas que empregam informações estatísticas das variáveis dependentes e independentes. Os modelos de série de tempo usam informações históricas, preferencialmente de períodos longos, com 20 a 30 observações por variável dependente para se obter um número adequado de graus de liberdade para as inferências. Os modelos de análises transversais se baseiam em informações de diferentes unidades regionais (municípios, por exemplo) para um dado período de tempo. Há por fim, a possibilidade de se combinar as técnicas de séries de tempo com seções transversais, a qual é chamada de análise de painel. Nessa visão unificada das duas abordagens estatísticas, as dimensões tempo e espaço atuam sobre as variáveis, permitindo identificar tendências e regularidades nas relações.

Em termos de técnicas estatísticas, os estudos disponíveis na literatura apontam para a necessidade de tratar a questão da simultaneidade na determinação da oferta e da demanda por água. A demanda desse tipo de bem comum, ofertado por prestador de utilidade pública e com preço administrado, em geral, é restrita pela capacidade de oferta dos operadores – ver Arbués (2003). As técnicas de estimação de equações simultâneas ou de variáveis instrumentais – ver Wooldridge (2006) a esse respeito – são mais adequadas para evitar vieses de simultaneidade na estimação dos coeficientes de demanda.

2.2. Modelos econométricos e base de dados

No presente estudo, optou-se por empregar uma modelagem mesoeconômica em que a unidade básica é o consumo médio de água (em litros

diários per capita) nos municípios brasileiros. Entre as técnicas estatísticas, a escolha recaiu sobre os modelos de seção transversal. Na presente análise, além das condições de demanda, são trabalhadas simultaneamente as condições de oferta de água e de determinação dos preços. Também foram incluídas variáveis de controle para as condições climáticas.

A linha de trabalho empregada neste estudo segue de perto a do artigo de Meyer et al (2019), mas incorporou as condições de oferta e de determinação de preços. O modelo é um sistema de equações simultâneas que descreve o comportamento da demanda (q_D) e da oferta de água (q_S) – equações (1) e (2) –, o equilíbrio de mercado (equação (3)) e o mecanismo de formação e preço da água (equação (4)). Essas variáveis estão interligadas entre si e são endógenas do modelo. O equilíbrio de mercado estipula o nível de água demandada e ofertada por dia por habitante em um dado município. O índice i identifica o município.

$$(1) q_i^D = f(\text{cobertura, renda, preço, clima, urbanização})$$

$$(2) q_i^S = f\left(\begin{matrix} \text{preço, industrialização, clima,} \\ \text{localização, rede, empregados} \end{matrix}\right)$$

$$(3) q_i^D = q_i^S$$

$$(4) p_i = f(\text{custos, localização})$$

A demanda (oferta) de água diária per capita é definida pela variável IN022 do SNIS que representa, o consumo bruto diário per capita de água nos municípios. Pelas definições do SNIS, o consumo bruto diário per capita de água é dado por: volume de água consumido descontado o volume exportado de água tratada e dividido pela população total atendida por abastecimento de água. O volume consumido de água (código AG010 no SNIS), por sua vez, é definido como: o volume micromedido (AG008), mais 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. Portanto, o numerador do consumo per capita leva em consideração o consumo efetivamente medido e uma parcela que é estimada. Em 2017, essa parcela correspondeu a 15,2% do valor do consumo *per capita*. Em alguns municípios, provavelmente em razão da regra de estimacão aplicada, nota-se valores muito elevados (1.600 litros por habitante por dia), que são *outliers* do ponto de vista estatístico. O modelo econométrico empregado tem a qualidade de filtrar a parcela de consumo que é considerada um erro de medida, corrigindo o valor de consumo para os municípios em que isso ocorre.

Outro ponto que merece atenção é o fato de que na variável IN022 está contido o consumo urbano que, além do consumo residencial de água, inclui a demanda do comércio, dos serviços (incluindo o poder público) e de pequenas indústrias que é atendida pelos operadores de abastecimento de água.

O preço da água é o indicador IN005 do SNIS e é definido como a razão entre a receita operacional direta de água e o volume faturado de água (exceto o de água exportada).

Vale destacar que, nesse modelo, a quantidade ofertada pelos operadores de saneamento é aquela que efetivamente chega às residências. Assim, para efeito de cálculo do nível de produção necessário, as perdas do sistema devem ser adicionadas ao nível de oferta. As perdas na distribuição são, conceitualmente, um consumo próprio indesejado de água dos operadores de saneamento. Nesse sentido, as perdas na distribuição constituem um desperdício econômico, ou ainda, uma ineficiência técnica, pois elevam os custos do operador para um dado nível de preço da água no município.

Os fatores determinantes da demanda e da oferta de água *per capita* diária e do preço médio da água são as seguintes variáveis:

✓ **Cobertura:** é a percentagem da população urbana do município com acesso ao serviço

de abastecimento de água tratada (código INO23 do SNIS);

- ✓ **Renda:** é o Produto Interno Bruto per capita dos municípios calculado do IBGE, em R\$ por habitante por ano; também se empregou o quadro da renda para testar a não linearidade da curva de consumo-renda;
- ✓ **Clima:** o clima de um município é apontado por duas variáveis; a variável temperatura é o valor médio das temperaturas máximas mensais registradas ao longo do período entre 1990 e 2010 conforme as medições do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET); e a variável umidade é o valor médio da umidade relativa do ar registrada ao longo do período entre 1990 e 2010 conforme as medições do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- ✓ **Urbanização:** é a participação da população urbana no total da população dos municípios, tendo como fontes IBGE e SNIS;
- ✓ **Industrialização:** mede o grau de industrialização do município por meio da participação do PIB industrial no PIB total do município, com dados do IBGE;
- ✓ **Localização:** é definida por meio de duas variáveis binárias que indicam (i) se a localização do município é litorânea, com valor 1 para os municípios do litoral brasileiro e 0 para os demais, e (ii) se o município está em região semiárida, com valor 1 para os municípios do semiárido brasileiro e 0 para os demais;
- ✓ **Rede:** é a extensão da rede de distribuição de água no município, em metros por habitante; e
- ✓ **Empregados:** Número de funcionários da operadora de água por 100.000 habitantes.
- ✓ **Custos:** é o custo de exploração por m³ faturado (variável INO26 do SNIS).

O estudo empregou a formulação econométrica de estimação das equações simultâneas por mínimos quadrados em 3 estágios (MQ3E) – sobre o método, ver Wooldridge (2006). As equações estimadas são lineares como a definida pela expressão (5). As variáveis dependentes endógenas – preço da água e quantidade demanda e ofertada de água – foram transformadas por

Tabela 2.1
Estatísticas descritivas das variáveis, 2017

Variáveis	Transformação	Observações	Média	Desv. padrão	Mínimo	Máximo
Consumo de água per capita	ln	5.077	4,83672	0,40834	1,62924	7,39511
Grau de urbanização		5.570	0,63844	0,22040	0,04180	1,00000
Grau de industrialização		5.570	0,13040	0,13665	0,01023	0,91097
Renda	ln	5.570	9,74120	0,67886	8,09713	12,75086
Preço	ln	4.850	1,23961	0,60014	-3,91202	8,43979
Temperatura máxima		5.570	29,06432	2,84107	18,80000	34,90000
Umidade relativa do ar		5.570	0,43862	0,14216	0,00000	1,00000
Litorâneo		5.570	0,06607	0,24842	0,00000	1,00000
Semiárido		5.570	0,22657	0,41865	0,00000	1,00000
Empregados do operador	ln	5.034	4,01697	0,84127	0,02956	8,07251
Extensão da rede	ln	5.117	1,17367	0,76288	-2,81341	4,73418
Custos	ln	4.900	1,11629	0,64988	-1,89712	9,13234
Acesso à água tratada		5.115	91,72364	17,47900	0,00000	100,00000

Fonte: SNIS, IBGE e INMET.

logaritmos naturais (\ln). Entre as variáveis exógenas (independentes), o PIB per capita e seu quadrado, a extensão da rede e o número de empregados por 100 mil habitantes também foram convertidos por logaritmos naturais (\ln). Os graus de urbanização e de industrialização, a temperatura e as variáveis de localização estão em nível. Isso implica que os coeficientes estimados β são elasticidades de y em relação a x , no caso das duas variáveis estarem transformadas em \ln , ou semi-elasticidades, como caso de apenas y estar transformada – sobre essa questão ver Babel et al (2006). A parcela u é aleatória e tem distribuição normal de média 0 e variância constante.

$$(5) \ y_i = \beta_0 + \beta_x X_i + u_i \quad , \quad u_i \sim N(0, \sigma_u^2)$$

A amostra contou com 4.718 observações (municípios) para os quais há todas as informações para o modelo econométrico. A escolha de 2017 como base para a análise recaiu em dois fatos: este é o último ano para o qual há informações sobre o PIB dos municípios, ao mesmo tempo em que 2017 dispõe de mais informantes na amostra do SNIS do que 2018. A Tabela 2.1 traz as estatísticas descritivas das variáveis.

2.3. Resultados das estimativas

A Tabela 2.2 apresenta o grau de adequação das estimativas dos fatores determinantes do volume de água demanda e ofertada nos municípios brasileiros em 2017. As três equações apresentaram R^2 bastante elevados, o que poderia constituir um

problema de erro padrão também muito elevado dado que são modelos de seção cruzada estimados por MQ3E. Contudo, essa questão é compensada pelo fato de o número de observações da amostra ser bastante elevado. Sobre essa questão, ver Wooldridge (2006).

A Tabela 2.3, por sua vez, mostra os coeficientes estimados, o erro padrão das estimativas, a estatística t , o p-valor da estatística t e intervalo de confiança dos coeficientes. No primeiro bloco, estão as estimativas da equação de demanda, seguidas das estimativas das equações de oferta e de preço (blocos 2 e 3). Todos os coeficientes da equação de demanda são significativamente diferentes de zero e apresentam os sinais esperados.

Quanto maior o grau de urbanização de uma cidade, maior o consumo diário *per capita* de água. A cada ponto percentual a mais de população urbana no total da população do município, espera-se um consumo 0,22% maior.

O consumo também cresce em função da renda *per capita*, como esperado, mas têm uma segunda derivada negativa, a qual faz a curva de renda-consumo seja crescente a taxas decrescentes: quanto maior o nível de renda de um município, menor o efeito do crescimento econômico sobre a demanda por água. O coeficiente associado à renda foi estimado em 0,653 e o associado à renda ao quadrado, em -0,022. Esses valores estão próximos aos obtidos por Schleich e Hillenbrand (2009) na estimação dos efeitos da renda média

Tabela 2.2
Grau de adequação do modelo de MQ3E

Equação	Número de observações	Número de parâmetros	RMSE	R ²	Chi ²	p
Demanda	4.772	7	0,33405	99,5%	1.020.000,00	0,0%
Oferta	4.772	8	0,45334	99,1%	564.105,72	0,0%
Preço	4.772	28	0,42394	90,5%	46.708,67	0,0%

Fonte: Cálculos próprios.

Tabela 2.3
Coeficientes estimados do modelo de MQ3E

	Coeficiente	Erro padrão	z	p(z)	Intervalo de confiança	
					Inferior	Superior
Equação de demanda						
Acesso à água tratada	0,00104	0,00029	3,60	0,00%	0,00047	0,00161
Grau de urbanização	0,22311	0,02052	10,87	0,00%	0,18288	0,26333
Renda	0,65299	0,01627	40,13	0,00%	0,62110	0,68489
Renda ao quadrado	-0,02224	0,00108	-20,52	0,00%	-0,02436	-0,02012
Preço	-0,24910	0,01065	-23,40	0,00%	-0,26997	-0,22823
Temperatura	0,02427	0,00200	12,15	0,00%	0,02035	0,02818
Umidade relativa do ar	-0,15548	0,03976	-3,91	0,00%	-0,23340	-0,07756
Equação de oferta						
Preço	0,10776	0,01312	8,21	0,00%	0,08205	0,13348
Grau de industrialização	0,82513	0,04339	19,02	0,00%	0,74008	0,91018
Temperatura	0,13369	0,00134	99,67	0,00%	0,13106	0,13631
Umidade relativa do ar	-0,26035	0,06279	-4,15	0,00%	-0,38340	-0,13729
Litorâneo	0,06360	0,02481	2,56	1,00%	0,01497	0,11222
Semiárido	-0,33457	0,01799	-18,60	0,00%	-0,36983	-0,29931
Empregados do operador	0,16253	0,00733	22,18	0,00%	0,14817	0,17689
Extensão da rede	0,18866	0,00901	20,94	0,00%	0,17100	0,20631
Equação de preço						
Custos	0,52180	0,01073	48,61	0,00%	0,50076	0,54284
Dummies regionais						
Rondônia	0,61635	0,05998	10,28	0,00%	0,49879	0,73391
Acre	0,19862	0,08385	2,37	1,80%	0,03428	0,36296
Amazonas	-0,50526	0,08797	-5,74	0,00%	-0,67769	-0,33284
Roraima	0,18157	0,10526	1,73	8,50%	-0,02473	0,38787
Pará	0,16457	0,04717	3,49	0,00%	0,07211	0,25703
Amapá	0,09162	0,09833	0,93	35,10%	-0,10109	0,28434
Tocantins	1,07616	0,03543	30,37	0,00%	1,00671	1,14560
Maranhão	0,51925	0,03423	15,17	0,00%	0,45216	0,58633
Piauí	0,38801	0,03647	10,64	0,00%	0,31653	0,45949
Ceará	0,42791	0,03229	13,25	0,00%	0,36461	0,49120
Rio Grande do Norte	0,61907	0,03544	17,47	0,00%	0,54960	0,68854
Paraíba	0,60976	0,03516	17,34	0,00%	0,54085	0,67868
Pernambuco	0,65258	0,03180	20,52	0,00%	0,59024	0,71491
Alagoas	1,01384	0,04798	21,13	0,00%	0,91979	1,10789
Sergipe	0,77243	0,04712	16,39	0,00%	0,68007	0,86479
Bahia	0,70761	0,02365	29,92	0,00%	0,66126	0,75397
Minas Gerais	0,58706	0,01789	32,82	0,00%	0,55200	0,62212
Espírito Santo	0,73478	0,04476	16,41	0,00%	0,64705	0,82252
Rio de Janeiro	0,68390	0,04438	15,41	0,00%	0,59693	0,77088
São Paulo	0,49299	0,01793	27,49	0,00%	0,45784	0,52814
Paraná	0,90876	0,02363	38,45	0,00%	0,86244	0,95509
Santa Catarina	0,72957	0,02845	25,64	0,00%	0,67381	0,78533
Rio Grande do Sul	0,86435	0,02619	33,00	0,00%	0,81301	0,91568
Mato Grosso do Sul	0,83608	0,04651	17,98	0,00%	0,74492	0,92725
Mato Grosso	0,42089	0,04051	10,39	0,00%	0,34149	0,50029
Goiás	0,76220	0,03080	24,74	0,00%	0,70182	0,82257
Distrito Federal	0,92495	0,38888	2,38	1,70%	0,16277	1,68714

Fonte:
Cálculos
próprios.

per capita dos municípios sobre a demanda por água na Alemanha: 0,307 e -0,016, respectivamente. No estudo de Meyer et al (2019), a influência da renda média sobre a demanda de água nas cidades da bacia do Rio Rock, Illinois, é menor: 0,198.

A tarifa de água afeta negativamente a demanda, mas o coeficiente é baixo (-0,249), indicando que a demanda por água é inelástica a preço: grandes variações de preço estão associadas a pequenas variações de demanda, um comportamento típico de serviços com preço regulados. Esse valor está próximo aos obtidos por Schleich e Hillenbrand (2009), que foi de -0,242, e por Meyer et al (2019), que foi de -0,122.

A temperatura máxima da cidade interfere positivamente no nível de demanda: quanto mais quente uma cidade, maior o consumo *per capita* diário. A cada grau Celsius adicional, a demanda por água cresce 2,4%. No estudo de Meyer et al (2019), a influência da temperatura máxima sobre a demanda de água nas cidades da bacia do Rio Rock, Illinois, foi de 1,1% a cada grau Fahrenheit.

A umidade relativa do ar interfere de forma negativa no consumo *per capita* de água: quanto maior a umidade relativa do ambiente, menor o consumo. Na média das cidades brasileiras, a cada ponto percentual de umidade relativa do ar, o consumo *per capita* de água cai 15,5% (coeficiente de -0,155). No estudo de Babel et al (2006), o impacto foi de -0,210 e, no de Schleich e Hillenbrand (2009), o coeficiente ficou em -0,147, valor bem próximo ao verificado para o Brasil.

Todos os coeficientes da equação de oferta também são significativamente diferentes de zero e apresentam os sinais esperados. A tarifa de água afeta positivamente a oferta de água e o coeficiente também é baixo (0,108), indicando que a oferta de água é inelástica a preço: grandes variações de preço estão associadas a pequenas variações de oferta. Quanto maior o grau de industrialização de uma cidade, maior a oferta *per capita* de água.

Municípios em áreas tropicais, com temperatura elevada ou próximas ao litoral, têm maior oferta de água e cidades no semiárido brasileiro têm restrições de oferta: em média as cidades no semiárido têm uma oferta de água quase 30% menor que a média brasileira. As variáveis de capital e trabalho empregados na produção afetam positivamente a oferta de água.

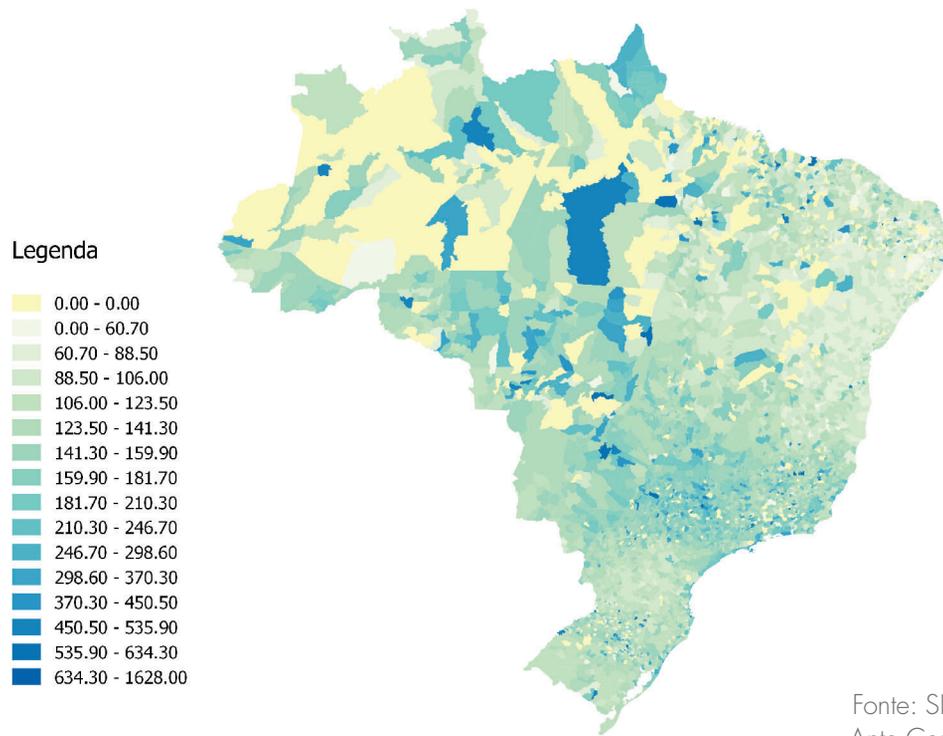
Por fim, a equação de preço revela uma relação positiva entre preço e custos, indicando que a formação de tarifas do setor é por *mark-up* (margem sobre custos). As *dummies* regionais indicam que há diferenças expressivas de patamares de preços entre os estados brasileiros. Alagoas e Tocantins tinham preços relativamente elevados em 2017, enquanto São Paulo, Ceará e Mato Grosso, por exemplo, tinham preços relativamente reduzidos.

2.4. Estimativas do consumo de água no Brasil em 2017

As estatísticas de consumo de água no Brasil, como dito anteriormente, abrangem informações para apenas 5.077 cidades, que representaram 91% do total de 5.570 municípios brasileiros. Em termos populacionais, nessas cidades moravam 200,667 milhões de pessoas, sendo que 171,875 milhões de pessoas nas áreas urbanas. Em termos relativos, a população total dessas cidades correspondeu a 96,6% da população brasileira e a população urbana, a 97,9% do número total de habitantes nas áreas urbanas do país.

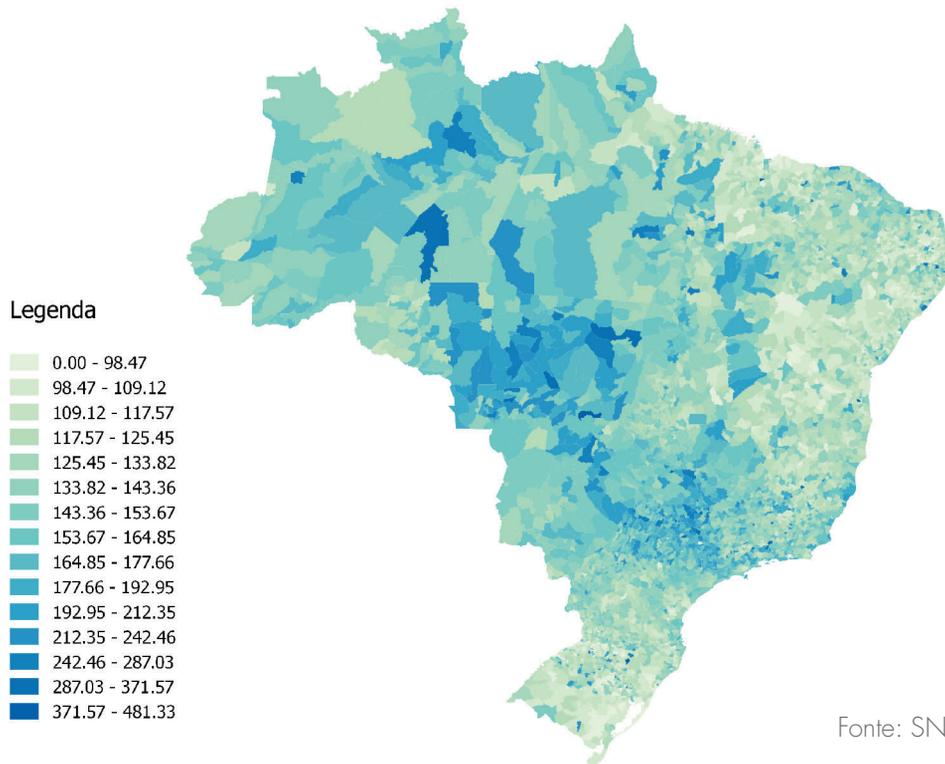
Segundo dados do SNIS, em 2017 foram consumidos 10,795 bilhões de m³. Esse valor representa uma média diária de 142,425 litros por pessoa no país, incluindo a parcela atribuída de consumo que não é medida diretamente pelos operadores. Segundo esses dados, havia cidades com consumo médio de 5,1 litros diários *per capita* e outras com 1.628 litros diários por habitante. Corrigindo os dados pelo consumo estimado, ou seja, retirando do consumo a parcela de consumo que é considerada um erro de medida e incorporando as estimativas para os municípios que não informaram o SNIS,

Mapa 2.1.
Consumo apontado de água, em litros diários por habitante, Brasil, 2017



Fonte: SNIS. Elaboração: Ex Ante Consultoria Econômica.

Mapa 2.2.
Consumo esperado de água, em litros diários por habitante, Brasil, 2017



Fonte: SNIS. Elaboração: Ex Ante Consultoria Econômica.

chega-se a um volume de 11,463 bilhões de m³. Esse valor representa uma média diária de 151,23 litros por pessoa no país, incluindo a quantidade de água que é perdida na distribuição.

O Mapa 2.1 traz a distribuição do volume diário e *per capita* de água nos municípios brasileiros, discriminado as faixas de volume. Na primeira faixa, de cor mais clara, estão as cidades que consumiram até 60,70 litros por habitante por dia em 2017. Na faixa mais escura, estão as cidades com maior consumo, as quais foram responsáveis por volumes superiores a 634,30 litros por habitante por dia.

Os municípios em branco são aqueles para os quais não há informação. Em 2017, eram 493 cidades onde morava 3,4% da população do país. Para efeito de projeções de longo prazo, a falta dessas informações é um problema menor. O problema maior é a falta de homogeneidade de informações: há municípios que produzem água para exportação, mas esses fluxos não são devidamente apontados, elevando os valores de consumo médio diário, e há operadores que superestimam o volume de água consumido que não é medido diretamente por hidrômetros. Por isso restam na amostra valores extremamente elevados de consumo diário *per capita* (mais de 500 litros, por exemplo). Para superar essa dificuldade, as estimativas econométricas realizadas na seção anterior foram empregadas como base para as projeções.

Tomando por referência os valores das variáveis explicativas e os coeficientes do modelo econométrico estimado na seção anterior, foi projetado o consumo esperado de água para cada um desses municípios. Esses valores podem ser utilizados para gerar uma estimativa do consumo de água esperado para o ano de 2017.

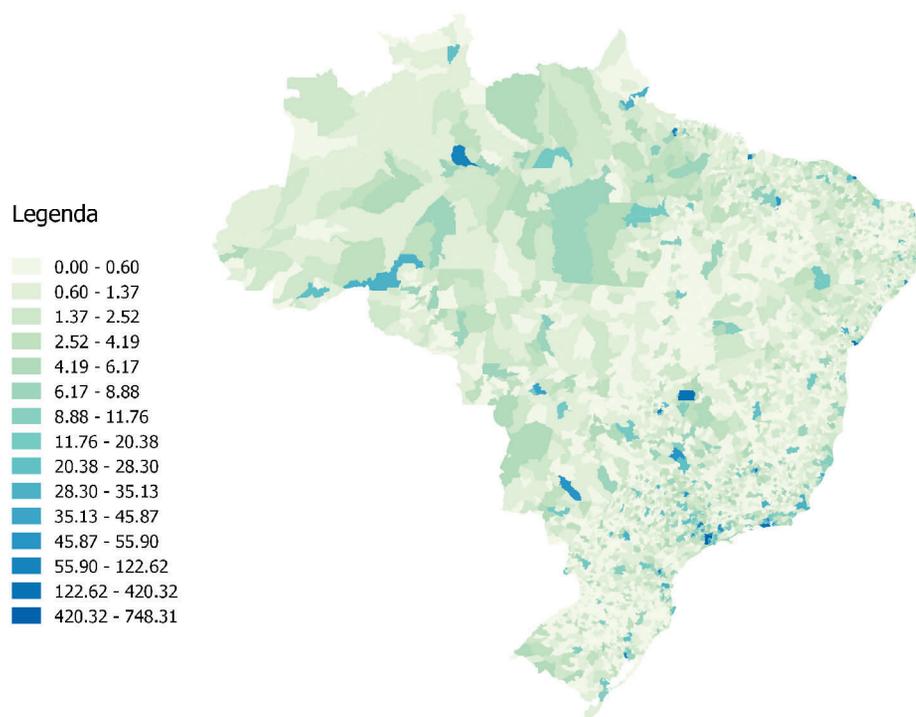
O Mapa 2.2 traz os valores de consumo esperado *per capita* diário de água dos municípios brasileiros em 2017. As faixas, como as do mapa anterior, indicam cortes naturais da distribuição da variável. A faixa menor engloba municípios com consumo diário *per capita* de até 98,47 litros e a faixa mais escura, aqueles que apresentaram valores superiores a 371,57 litros por habitante por dia. A faixa intermediária concentrou os municípios com massa anual *per capita* entre 153,67 e 164,85 litros por habitante por dia. A média nacional foi estimada em 151,23 litros por habitante por dia.

Finalmente, chega-se ao valor total de água efetivamente consumida considerando o tamanho da população. O resultado da estimativa é um volume de água de 11,463 bilhões de m³ em 2017, um valor 6,2% superior ao observado no SNIS. O Mapa 2.3 traz a distribuição do volume total de consumo de água nos municípios brasileiros, discriminado as novas faixas de volume.

Nota-se uma concentração forte nas capitais e nas áreas metropolitanas do país, todas marcadas com a cor mais escura no mapa. A maior parte das áreas que apareciam em branco (sem informação), nesse novo mapa aparece em tons mais claros, indicando baixo consumo de água. Contudo, as cores são mais escuras nos municípios próximos às grandes áreas urbanas, o que revela que sua omissão traria consequências maiores para a análise do consumo futuro de água.

A Tabela 2.4 traz os valores médios e agregados do consumo diário *per capita* de água nas grandes regiões e nas unidades da Federação em 2017.

Mapa 2.3.
Consumo esperado de água, em milhões de m³ por ano, Brasil, 2017



Fonte: SNIS. Elaboração: Ex Ante Consultoria Econômica.

Tabela 2.4
Consumo esperado de água, 2017

	Consumo (em milhões de m ³)	População (pessoas)	Consumo per capita (litros diários per capita)
Norte	1.010,081	17.936.201	154,29
Rondônia	100,110	1.805.788	151,89
Acre	47,354	829.619	156,38
Amazonas	234,757	4.063.614	158,28
Roraima	32,850	522.636	172,20
Pará	464,180	8.366.628	152,00
Amapá	46,641	797.722	160,19
Tocantins	84,188	1.550.194	148,79
Nordeste	2.884,395	57.254.159	138,02
Maranhão	346,924	7.000.229	135,78
Piauí	169,283	3.219.257	144,07
Ceará	493,386	9.020.460	149,85
Rio Grande do Norte	180,806	3.507.003	141,25
Paraíba	191,570	4.025.558	130,38
Pernambuco	499,323	9.473.266	144,41
Alagoas	158,639	3.375.823	128,75
Sergipe	109,352	2.288.116	130,94
Bahia	735,111	15.344.447	131,25
Sudeste	5.218,647	86.949.714	164,44
Minas Gerais	1.181,675	21.119.536	153,29
Espírito Santo	227,794	4.016.356	155,39
Rio de Janeiro	971,854	16.718.956	159,26
São Paulo	2.837,323	45.094.866	172,38
Sul	1.419,834	29.644.948	131,22
Paraná	549,267	11.320.892	132,93
Santa Catarina	359,131	7.001.161	140,54
Rio Grande do Sul	511,436	11.322.895	123,75
Centro-Oeste	929,574	15.875.907	160,42
Mato Grosso do Sul	151,248	2.713.147	152,73
Mato Grosso	231,675	3.344.544	189,78
Goiás	355,424	6.778.772	143,65
Distrito Federal	191,227	3.039.444	172,37
Brasil	11.462,532	207.660.929	151,23

Fonte: Cálculos próprios.

3

Cenários econômicos e demográficos para 2040

Esta seção apresenta a metodologia e discute os cenários econômico e demográfico para 2040, base sobre a qual serão feitas as projeções de consumo de água. A análise segue uma abordagem em 3 passos:

- i. Primeiro, são analisados os modelos teóricos dos fatores determinantes do crescimento econômico e da expansão demográfica;
- ii. Na sequência, são desenvolvidas as estimativas empíricas utilizadas para traçar os cenários econômicos; e
- iii. Por fim, são apresentados os cenários até 2040 de evolução das variáveis demográficas e econômicas que afetam o consumo de água.

Na sequência desta seção, são descritos os modelos teóricos (subseção 3.1), as bases de informação empregadas e os resultados econométricos do segundo passo (subseção 3.2) e os cenários até 2040 (subseção 3.3).

3.1. Abordagens teóricas

Para projetar o consumo de água em 2040, faz-se necessário, antes de tudo, projetar o PIB e a população das cidades brasileiras no futuro. As projeções estão baseadas em modelos teóricos e estatísticos das áreas de crescimento econômico (modelo de crescimento de Solow) e de dinâmica demográfica.

Crescimento econômico

A teoria de crescimento econômico está baseada na modelagem da dinâmica de expansão do PIB. A principal abordagem no tema é a chamada teoria do crescimento de Solow,

economista norte-americano ganhador do prêmio Nobel de 1987. Solow desenvolveu os fundamentos teóricos do tema em meados da década de 1950 e, desde então, o campo de pesquisa do crescimento econômico vem aprimorando as teorias e desenvolvendo as metodologias empíricas de investigação.

Na teoria de Solow, a produção agregada de um país, que é o produto interno bruto, é determinada pelo nível de emprego dos fatores de produção (capital físico, capital humano e trabalho). Essa relação teórica é chamada de função de produção e é descrita pela equação (6), em que Y_i é PIB do país i , A_i é o nível de produtividade de fatores definido pelos níveis de desenvolvimento tecnológico e institucional do país, K_i é o estoque de capital (máquinas, equipamentos, instalações, semoventes e florestas), H_i é o estoque de capital humano e L_i é a força de trabalho. O capital é definido pela multiplicação da força de trabalho por seu grau de qualificação h_i . Assume-se h_i é proporcional à escolaridade média dos trabalhadores. Assim, por definição, $H_i = L_i \cdot h_i$.

O PIB por trabalhador (Y_i / L_i), nas condições de homogeneidade da produção, é dado pela equação (7), em que K_i / L_i é o estoque de capital por trabalhador.

$$(6) \quad Y_i = f(A_i, K_i, H_i)$$

$$(7) \quad Y_i / L_i = f(A_i, K_i / L_i, h_i)$$

Em decorrência da equação (6), entende-se que a variação no tempo do PIB (g_Y), que é o crescimento econômico, depende de quatro variações: g_{A_i} que é o aumento da produtividade, g_{K_i} que é a acumulação de capital, g_{L_i} que é a expansão da força de trabalho e g_{h_i} que é o aumento da escolaridade média da força de trabalho.

No equilíbrio de longo prazo, supõe-se que as ofertas de mão de obra e de capital se igualam as demandas por mão de obra e por capital (pleno emprego). Os níveis de equilíbrio definem as

remunerações do capital e da mão de obra que, por sua vez, determinam a destruição da renda (que é idêntica ao PIB) entre os lucros e a folha de pagamentos da mão de obra. Na modelagem de Solow, a acumulação de capital depende da taxa de investimento da economia, que é dada pela fração da renda (PIB) que é despendida na aquisição de bens de capital (construção, máquinas e equipamentos, florestas e semoventes). Essa parcela é idêntica à taxa de poupança da economia (s), que é a relação entre a poupança agregada e o PIB.

Nessas condições, o nível de produto por trabalhador de equilíbrio de longo prazo é dado pela equação (8), que já apresenta as relações em termos de logaritmos naturais. Nessa expressão a é uma constante (chamada de constante tecnológica) e d é a taxa de depreciação do capital, que é considerada constante e idêntica para todos os países ou regiões. O coeficiente ϕ mede o retorno da educação na renda das economias.

$$(8) \quad \ln\left(\frac{Y}{L}\right)_i^* = a + \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln s_i - \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln(g_L + g_A + d) + \phi \cdot h_i$$

Se, por hipótese, as parcelas da população empregada na produção e da renda poupada forem constantes, e se a escolaridade for constante, espera-se que no longo prazo a taxa de crescimento do PIB por trabalhador seja idêntica à taxa de incremento da produtividade e o crescimento econômico se iguale à soma das taxas de aumento da produtividade com a expansão demográfica. Essas relações são descritas na expressão (9)

$$(9) \quad g_{Y_i/L_i} = \lfloor g_{Y_i} - g_{L_i} \rfloor \Rightarrow g_{Y_i} = g_{L_i} + g_{A_i}$$

Contudo, as mudanças de taxa de investimento e de expansão demográfica, de um lado, e o aumento da escolaridade média da força de trabalho, de outro, podem alterar os níveis de equilíbrio e, portanto, podem afetar transitoriamente o crescimento da economia. Para uma economia em transição – ou seja, para uma economia que ainda não atingiu o equilíbrio de longo prazo de estado estacionário –, a taxa de crescimento do PIB por trabalhador será afetada pelas taxas de poupança

e de crescimento demográfico e pela expansão da escolaridade.

A equação (10) define essa relação, a qual ficou chamada na literatura econômica como equação de convergência condicionada. Nessa expressão, o coeficiente λ indica a taxa média de convergência das economias para o equilíbrio de longo prazo.

$$(10) g_{Y_i/L_i} = \lambda \cdot \left(\frac{Y_i}{L_i} \right)_{t-1} + \lambda \cdot \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln \left[\frac{s_i}{(g_L + g_A + d)_i} \right] + \lambda \cdot \phi \cdot h_i$$

Essa expressão será estimada na seção 3.2 e os resultados empíricos serão utilizados para gerar as projeções de crescimento econômico para 2040 na seção 3.3.

Dinâmica demográfica

A dinâmica demográfica segue a modelagem das diferenças dos fluxos que fazem as populações crescerem ou decrescerem. Os chamados fluxos vegetativos são determinados pelas taxas de natalidade e de mortalidade da população. Além desses dois processos, há os fluxos migratórios que fazem crescer ou diminuir a população. As populações crescem quando o fluxo de imigrantes é maior que o de migrantes de uma sociedade.

Assim, a taxa de crescimento vegetativo da população é obtida pela diferença entre a taxa de fertilidade (f) e a taxa de mortalidade (m) das localidades. A taxa de crescimento demográfico (n) é soma do crescimento vegetativo com a taxa líquida migratória (x). A equação (11) identifica essa relação.

$$(11) n_i = f_i - m_i + x_i$$

3.2. Modelo econométrico de crescimento

Neste estudo, foram adotadas as projeções de expansões demográficas municipais realizadas pela Universidade Federal Fluminense (UFF) para o

¹ Sobre esse projeto ver Givíziez e Oliveira (2018).

Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR)¹. Essas projeções estão baseadas na dinâmica demográfica descrita na equação (11), mas considera fluxos migratórios nulos entre os municípios. Alternativamente a essa modelagem, há as projeções do IBGE de crescimento demográfico. Contudo, os dados do IBGE não são municipais. O menor nível de agregação que o IBGE trabalha nessas projeções são as unidades da Federação, o que implica a desconsideração das diferenças de dinâmicas de fertilidade e mortalidade que existem entre capitais, regiões metropolitanas e interior, por exemplo.

Para projetar os cenários econômicos, foi desenvolvido um modelo econométrico de determinação das taxas de crescimento do PIB conforme a equação (10), sendo que a força de trabalho é substituída pela população. As informações de PIB e população em 2017 são provenientes do IBGE. Os fatores determinantes do crescimento do PIB per capita dos municípios são:

- **Taxa de poupança:** relação entre o investimento e o PIB em cada município, com base em dados do IBGE²;
- **Expansão demográfica:** taxa de crescimento da população entre 2002 e 2017, tendo como fonte o IBGE;
- **PIB per capita defasado:** Produto Interno Bruto per capita dos municípios em 2002, com dados do IBGE, em R\$ por habitante por ano; e
- **Escolaridade média:** escolaridade média da população conforme os dados do Censo Demográfico de 2010 do IBGE.

O estudo empregou a formulação econométrica de regressão linear. Essa modelagem subentende que a variável dependente y é uma função linear do vetor

² O Anexo Metodológico traz o detalhamento da metodologia empregada para estimar as taxas de poupança municipais.

de variáveis explicativas X . Os coeficientes β medem a relação linear entre as variáveis e μ corresponde à parcela não explicada da variável y por meio das variáveis independentes, também chamado de erro aleatório, que por hipótese tem distribuição normal com média 0 e variância constante. A equação (12) descreve a relação estatística definida sobre a equação teoria de convergência condicionada.

$$(12) \ g_{Y_i/L_i} = \lambda \cdot \left(\frac{Y_i}{L_i} \right)_{t-1} + \lambda \cdot \frac{\alpha}{(1-\alpha)} \cdot \ln \left[\frac{s_i}{(g_L + g_A + d)_i} \right] + \lambda \cdot \phi \cdot h_i + u_i$$

A amostra contou com 5.570 observações municipais para 2017. As taxas referem-se a médias anuais entre 2002 e 2017 e o nível defasado do PIB per capita a 2002. A escolaridade média da

população refere-se a 2010. A Tabela 3.1 traz as estatísticas descritivas das variáveis.

A Tabela 3.2 apresenta os resultados das estimativas dos fatores determinantes do crescimento econômico dos municípios brasileiros. As três variáveis independentes mostraram-se significativas a menos de 1%. Como esperado, a taxa de poupança afeta positivamente a taxa de crescimento demográfico e a expansão demográfica tem impacto negativo. A escolaridade média tem efeito positivo e relativamente elevado, indicando que uma cidade com população com escolaridade maior tende a crescer a mais. O coeficiente associado ao PIB per capita defasado têm sinal negativo, indicando que municípios com renda per capita menor tendem a crescer de forma mais acelerada.

Tabela 5.1.
Estatísticas descritivas da base de dados, Brasil, 2002 a 2017

Variáveis	Número de observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão
Crescimento do PIB per capita	5.570	-0,13717	0,20958	0,02170	0,02432
PIB per capita defasado (ln)	5.570	7,74519	12,96310	9,41573	0,72970
Taxa de poupança líquida (ln)	5.570	-2,03621	4,13079	0,85719	0,71797
Escolaridade média da população	5.570	2,21043	10,71556	6,96963	1,05313
N válido (listwise)	5.570				

Fonte: IBGE e Ministério da Economia.

Tabela 5.2.
Estimativas da análise de regressão do crescimento econômico, 2002 a 2017

	β	Erro padrão	t	P> t	Intervalo de confiança	
PIB per capita defasado	-0,0147	0,0005	-27,05	0,0%	-0,0158	-0,0137
Taxa de poupança líquida	0,0013	0,0004	2,96	0,3%	0,0004	0,0021
escolaridade média	0,0025	0,0004	6,94	0,0%	0,0018	0,0032
constante	0,1417	0,0042	33,69	0,0%	0,1335	0,1500
R² ajustado de 43,5%						

Fonte: Cálculos próprios.

3.3. Cenários demográfico e de crescimento econômico até 2040

Cenário de expansão demográfica

O presente estudo considerou apenas um cenário demográfico para o Brasil até 2040. Os fundamentos teóricos e empíricos que sustentam esse cenário, o qual foi desenvolvido pela Universidade Federal Fluminense (UFF) para o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), são apresentados no livro de Giviziez e Oliveira (2018).

Nesse cenário, a população brasileira deve crescer 0,5% ao ano entre 2017 e 2030, uma taxa 0,7 ponto percentual inferior à observada entre 2002 e 2017. Entre 2030 e 2040, o crescimento deve ser ainda menor, de 0,3% ao ano, indicando a tendência de estabilidade demográfica. Como ilustra a Tabela 3.3, as taxas de expansão demográficas caem em todas as regiões e estados brasileiros, mas ainda são positivas. Apesar das reduções nas taxas, os estados da região Norte continuarão apresentando ritmos mais acelerados de expansão demográfica, com destaque para Acre, Amazonas,

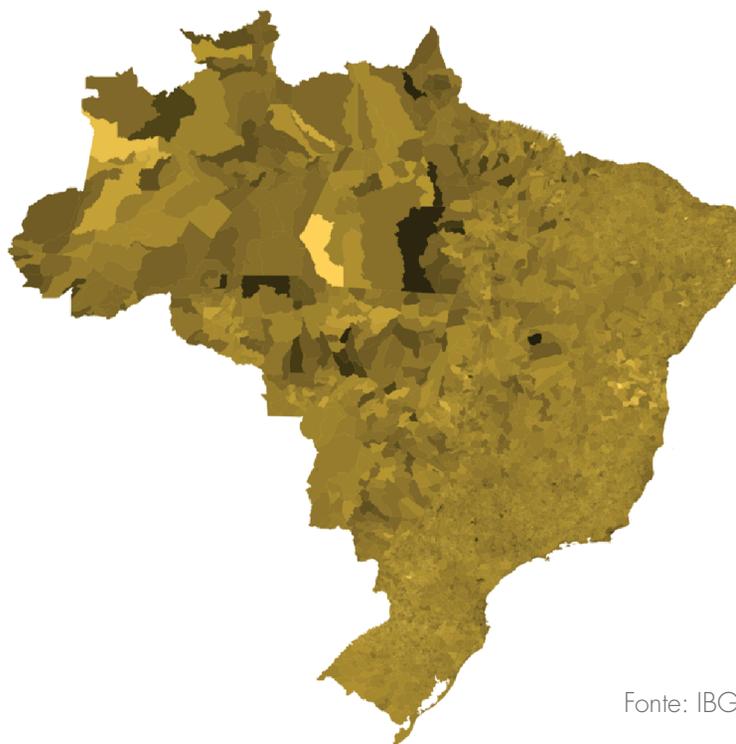
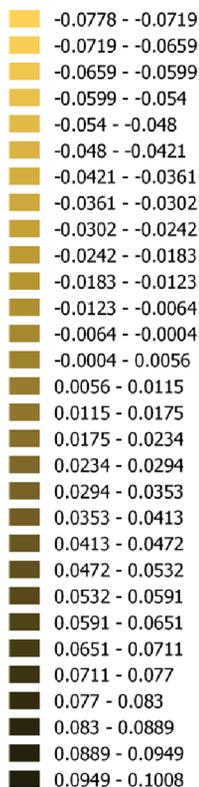
Tabela 3.3.
População e taxa de expansão demográfica, 2002 a 2040

	2002	2017	2030	2040	Variações médias anuais		
					2002-2017	2017-2030	2030-2040
Norte	13.519.617	17.936.201	20.554.948	22.305.355	1,9%	1,1%	0,8%
Rondônia	1.431.777	1.805.788	2.003.152	2.062.163	1,6%	0,8%	0,3%
Acre	586.942	829.619	1.000.745	1.184.070	2,3%	1,5%	1,7%
Amazonas	2.961.801	4.063.614	4.711.554	5.029.709	2,1%	1,1%	0,7%
Roraima	346.871	522.636	628.859	776.866	2,8%	1,4%	2,1%
Pará	6.468.701	8.366.628	9.445.564	10.064.628	1,7%	0,9%	0,6%
Amapá	516.511	797.722	1.006.947	1.287.894	2,9%	1,8%	2,5%
Tocantins	1.207.014	1.550.194	1.758.127	1.900.025	1,7%	1,0%	0,8%
Nordeste	48.855.490	57.254.159	60.911.766	62.993.663	1,1%	0,5%	0,3%
Maranhão	5.803.224	7.000.229	8.228.326	9.360.708	1,3%	1,3%	1,3%
Piauí	2.908.601	3.219.257	3.422.142	3.560.710	0,7%	0,5%	0,4%
Ceará	7.654.535	9.020.460	9.316.796	9.999.550	1,1%	0,2%	0,7%
Rio Grande do Norte	2.852.784	3.507.003	3.752.412	3.792.644	1,4%	0,5%	0,1%
Paraíba	3.494.893	4.025.558	4.160.943	4.099.611	0,9%	0,3%	-0,1%
Pernambuco	8.084.667	9.473.266	10.092.456	10.257.875	1,1%	0,5%	0,2%
Alagoas	2.887.535	3.375.823	3.601.562	3.712.006	1,0%	0,5%	0,3%
Sergipe	1.846.039	2.288.116	2.516.397	2.615.022	1,4%	0,7%	0,4%
Bahia	13.323.212	15.344.447	15.820.734	15.595.537	0,9%	0,2%	-0,1%
Sudeste	74.447.456	86.949.714	91.904.344	93.108.969	1,0%	0,4%	0,1%
Minas Gerais	18.343.517	21.119.536	22.256.742	22.299.219	0,9%	0,4%	0,0%
Espírito Santo	3.201.722	4.016.356	4.334.326	4.370.333	1,5%	0,6%	0,1%
Rio de Janeiro	14.724.475	16.718.956	17.823.389	18.577.816	0,9%	0,5%	0,4%
São Paulo	38.177.742	45.094.866	47.489.886	47.861.600	1,1%	0,4%	0,1%
Sul	25.757.383	29.644.948	30.806.449	30.785.890	0,9%	0,3%	0,0%
Paraná	9.798.006	11.320.892	11.971.577	11.939.888	1,0%	0,4%	0,0%
Santa Catarina	5.548.259	7.001.161	7.400.782	7.816.390	1,6%	0,4%	0,5%
Rio Grande do Sul	10.411.118	11.322.895	11.434.090	11.029.613	0,6%	0,1%	-0,4%
Centro-Oeste	12.115.670	15.875.907	17.598.416	18.667.611	1,8%	0,8%	0,6%
Mato Grosso do Sul	2.148.255	2.713.147	2.962.811	3.078.582	1,6%	0,7%	0,4%
Mato Grosso	2.611.241	3.344.544	3.704.973	3.910.961	1,7%	0,8%	0,5%
Goiás	5.210.335	6.778.772	7.515.057	7.872.111	1,8%	0,8%	0,5%
Distrito Federal	2.145.839	3.039.444	3.415.575	3.805.958	2,3%	0,9%	1,1%
Brasil	174.695.616	207.660.929	221.775.923	227.861.488	1,2%	0,5%	0,3%

Fonte: IBGE e Giviziez e Oliveira (2018).

Mapa 3.1.

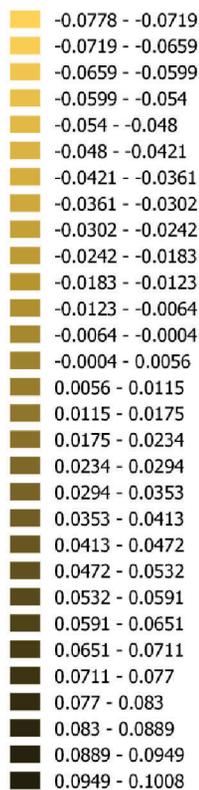
Taxa de expansão demográfica, em (%) ao ano, 2002 a 2017



Fonte: IBGE.

Mapa 3.2.

Taxa de expansão demográfica, em (%) ao ano, 2017 a 2040



Fonte: Givíziez e Oliveira (2018).

Amapá e Roraima. Os estados da região Centro-Oeste, apesar de apresentarem as maiores reduções nas taxas, ainda estão entre os quais crescerão em termos populacionais entre 2017 e 2040.

No plano municipal, as mudanças também expressivas. No período de 2002 a 2017, as taxas de expansão demográfica dos municípios variavam entre -7,8% ao ano e 10,1% ao ano. O desvio padrão das taxas de crescimento foi de 1,3%. No período seguinte, de 2017 a 2030, caem a amplitude e o desvio padrão das taxas de expansão demográfica. As taxas devem flutuar entre 2,2% ao ano e 2,8% ao ano, com desvio padrão de -0,8%. Em parte, esse resultado espelha a tendência de redução intensa das taxas de fertilidade em todo o país. Mas também, as taxas com menor amplitude de variação estão associadas ao fato de o cenário demográfico da UFF desconsiderar movimentos migratórios entre municípios. Os Mapas 3.1 e 3.2 trazem as taxas de expansão demográfica dos municípios brasileiros entre 2002 e 2017 e entre 2017 e 2030, respectivamente.

Entre 2030 e 2040, supõe-se que as populações dos municípios brasileiros cresçam no mesmo ritmo que a média de suas respectivas unidades da Federação, cujas projeções também estão disponíveis em Giviziez e Oliveira (2018).

Cenários de crescimento econômico

Os cenários de crescimento econômico levam em consideração as variáveis determinantes do crescimento econômico estimadas na subseção 3.2. Para os dois cenários econômicos traçados nesta subseção do estudo, o PIB per capita defasado é o nível de PIB per capita de cada município em 2017 e a taxa de expansão da força de trabalho é dada pela dinâmica demográfica municipal descrita acima.

As taxas municipais de expansão da escolaridade da população também são as mesmas nos dois cenários. Essas taxas variam entre as unidades da Federação e seguem as tendências definidas pela Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

Continuada de 2016 a 2018 e pelo Censo Demográfico de 2010, do IBGE.

A Tabela 3.4 traz as taxas de crescimento da escolaridade média da população de 2002 a 2040. Na média do período de 2003 a 2017, a escolaridade média da população brasileira era de 8,112 anos de educação formal concluída. Essa média deve passar para 9,407 no período entre 2017 e 2030, indicando expansão anual de 1,5% ao ano. Depois, deve crescer ao ritmo de 0,4% ao ano, alcançando 9,803 anos por habitante em 2040. O cenário para a educação, ao contrário do que se observa nas tendências demográficas, prevê um crescimento mais forte da variável nas regiões Sudeste e Sul do país. Isso se deve a dois fatores: (i) a maior participação de jovens com idade entre 15 a 17 nessas regiões, onde também são maiores as taxas de matrícula no ensino médio e (ii) a maior frequência de jovens que seguem no ensino superior.

A diferenciação dos dois cenários econômicos está diretamente ligada às premissas de evolução dos investimentos em construção, máquinas e equipamentos, semoventes e florestas. No cenário mais conservador (Cenário 1), assume-se a manutenção dos investimentos no patamar que prevaleceu em 2015 e 2019, período de forte retração da formação bruta de capital e baixo crescimento econômico. No cenário mais otimista (Cenário 2), assume-se um crescimento dos investimentos para o patamar que prevaleceu entre 2002 e 2015, período que mescla experiências de maior e menor crescimento econômico, com flutuações nas taxas de investimento, mas médias superiores às observadas entre 2015 e 2019. Em ambos os cenários, a economia brasileira será marcada por uma crise intensa em 2020 e início de 2021 em razão da pandemia de coronavírus.

Em consequência dessas premissas, o crescimento econômico resulta maior no segundo subperíodo. Conforme os dados da Tabela 3.5 (Cenário 1), o crescimento do PIB per capita resultante da manutenção do investimento no patamar reduzido de 2015 a 2019 deve ser de 1,3% ao ano, valor

Tabela 3.4.
Escolaridade média da população, anos de estudo
e taxa anual média de expansão, 2002 a 2040

	2003-2017	2017-2030	2030-2040	Variações médias anuais	
				2017-2030	2030-2040
Norte	7,746	8,309	8,472	0,7%	0,2%
Rondônia	7,849	8,690	9,293	1,0%	0,7%
Acre	7,699	7,737	7,507	0,0%	-0,3%
Amazonas	7,998	8,821	9,396	1,0%	0,6%
Roraima	8,273	8,614	8,661	0,4%	0,1%
Pará	7,383	7,881	8,124	0,7%	0,3%
Amapá	8,783	8,802	8,518	0,0%	-0,3%
Tocantins	8,242	8,738	8,947	0,6%	0,2%
Nordeste	7,332	8,163	8,450	1,1%	0,3%
Maranhão	7,029	7,336	7,394	0,4%	0,1%
Piauí	6,613	8,059	8,682	2,0%	0,7%
Ceará	7,474	8,531	8,602	1,3%	0,1%
Rio Grande do Norte	7,686	8,514	9,109	1,0%	0,7%
Paraíba	7,061	8,301	8,623	1,6%	0,4%
Pernambuco	7,635	8,782	8,924	1,4%	0,2%
Alagoas	7,052	7,644	8,001	0,8%	0,5%
Sergipe	7,689	7,919	7,875	0,3%	-0,1%
Bahia	7,351	8,040	8,493	0,9%	0,5%
Sudeste	8,588	10,317	10,834	1,9%	0,5%
Minas Gerais	8,025	9,585	10,118	1,8%	0,5%
Espírito Santo	8,233	9,299	9,276	1,2%	0,0%
Rio de Janeiro	8,812	10,736	11,562	2,0%	0,7%
São Paulo	8,800	10,595	11,275	1,9%	0,6%
Sul	8,205	9,825	10,395	1,8%	0,6%
Paraná	8,095	9,546	9,947	1,7%	0,4%
Santa Catarina	8,391	9,985	10,499	1,8%	0,5%
Rio Grande do Sul	8,199	10,014	10,813	2,0%	0,8%
Centro-Oeste	8,552	9,516	9,920	1,1%	0,4%
Mato Grosso do Sul	8,265	8,936	9,331	0,8%	0,4%
Mato Grosso	8,192	8,860	9,256	0,8%	0,4%
Goiás	8,239	9,422	9,517	1,4%	0,1%
Distrito Federal	9,899	10,937	11,672	1,0%	0,7%
Brasil	8,112	9,407	9,803	1,5%	0,4%

Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

próximo ao registrado no período entre 2002 e 2017. A taxa é ligeiramente superior em razão da expansão da escolaridade e da dinâmica demográfica mais branda no futuro. No período seguinte (2030 a 2040), a expansão é ligeiramente menor (1,0% ao ano) em razão do avanço mais lento da escolaridade.

A Tabela 3.6 traz as taxas de crescimento do PIB entre 2002 e 2040, as quais são derivadas do

cenário demográfico e da projeção do PIB per capita resultantes do Cenário 1. Em razão das dinâmicas demográficas e econômicas, as regiões Norte e Nordeste devem continuar crescendo acima da média nacional. Para o período de 2017 a 2030, esperam-se taxas de crescimento do PIB de respectivamente 2,8% ao ano e 2,5% ao ano. As regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste devem ter taxas de expansão do PIB menores que a média nacional, com retrações consideráveis das taxas de cresci-

Tabela 3.5.
 Cenário 1: PIB per capita, em R\$ por habitante*, 2002 a 2040

	2002	2017	2030	2040	Variações médias anuais		
					2002-2017	2017-2030	2030-2040
Norte	16.093,71	20.509,47	25.623,18	30.408,93	1,6%	1,7%	1,3%
Rondônia	16.185,06	24.092,81	30.107,49	35.737,66	2,7%	1,7%	1,3%
Acre	15.709,38	17.201,95	22.000,73	26.585,01	0,6%	1,9%	1,5%
Amazonas	23.147,95	22.936,28	28.633,78	33.962,41	-0,1%	1,7%	1,3%
Roraima	21.399,62	23.158,06	28.708,83	33.868,42	0,5%	1,7%	1,3%
Pará	12.806,29	18.549,33	23.055,02	27.252,71	2,5%	1,7%	1,3%
Amapá	19.065,34	19.405,11	24.781,81	29.911,51	0,1%	1,9%	1,5%
Tocantins	13.684,09	21.998,34	27.683,45	33.037,94	3,2%	1,8%	1,4%
Nordeste	12.377,90	16.648,80	21.644,70	26.486,19	2,0%	2,0%	1,6%
Maranhão	8.515,11	12.788,75	16.957,29	21.067,31	2,7%	2,2%	1,7%
Piauí	7.626,92	14.089,78	19.086,79	24.106,80	4,2%	2,4%	1,8%
Ceará	11.642,74	16.394,99	21.698,38	26.918,76	2,3%	2,2%	1,7%
Rio Grande do Norte	14.757,60	18.333,19	23.600,97	28.662,12	1,5%	2,0%	1,5%
Paraíba	11.318,32	15.497,67	20.956,88	26.432,73	2,1%	2,3%	1,8%
Pernambuco	13.839,58	19.164,52	24.329,81	29.232,26	2,2%	1,9%	1,4%
Alagoas	12.398,45	15.653,51	20.398,93	25.007,23	1,6%	2,1%	1,6%
Sergipe	17.368,86	17.789,21	22.956,87	27.932,49	0,2%	2,0%	1,5%
Bahia	13.705,44	17.508,67	22.683,17	27.682,42	1,6%	2,0%	1,5%
Sudeste	35.610,06	40.031,96	46.442,38	52.063,77	0,8%	1,1%	0,9%
Minas Gerais	20.989,16	27.282,75	33.793,44	39.840,79	1,8%	1,7%	1,3%
Espírito Santo	26.216,50	28.222,56	34.297,63	39.846,76	0,5%	1,5%	1,2%
Rio de Janeiro	38.843,50	40.155,76	47.724,02	54.503,07	0,2%	1,3%	1,0%
São Paulo	42.175,75	47.008,77	52.997,88	58.119,22	0,7%	0,9%	0,7%
Sul	29.128,02	37.838,41	44.128,31	49.669,51	1,8%	1,2%	0,9%
Paraná	27.945,63	37.221,00	43.338,74	48.720,69	1,9%	1,2%	0,9%
Santa Catarina	30.569,47	39.592,28	45.876,19	51.380,72	1,7%	1,1%	0,9%
Rio Grande do Sul	29.472,60	37.371,27	43.823,66	49.535,55	1,6%	1,2%	0,9%
Centro-Oeste	32.960,59	41.557,23	46.553,27	50.801,45	1,6%	0,9%	0,7%
Mato Grosso do Sul	24.210,29	35.520,45	40.623,31	45.042,15	2,6%	1,0%	0,8%
Mato Grosso	23.049,41	37.914,00	42.917,27	47.210,84	3,4%	1,0%	0,7%
Goiás	23.006,95	28.308,77	34.107,97	39.365,30	1,4%	1,4%	1,1%
Distrito Federal	77.950,07	80.502,47	83.023,79	85.016,88	0,2%	0,2%	0,2%
Brasil	26.463,11	31.702,25	37.389,34	42.449,17	1,2%	1,3%	1,0%

Nota: (*) valores a preços de 2017.

Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

mento no subperíodo anterior. Vale observar, contudo, que a própria média nacional deve cair 0,6 ponto percentual nesse cenário mais conservador. No subperíodo de 2030 a 2040, o ritmo de expansão deve cair para todas as regiões, pois são menores as taxas de crescimento do PIB per capita e da expansão demográfica.

Os dados da Tabela 3.7, que trazem as projeções do PIB per capita no Cenário 2, indicam um

crescimento maior do PIB per capita. Entre 2017 e 2030, a expansão deve alcançar 2,1% ao ano, e entre 2030 e 2040, o ritmo deve ser de 1,6% ao ano. Além da expansão da escolaridade e da dinâmica demográfica mais branda no futuro, pesam para esse resultado os investimentos maiores que os projetados no Cenário 1.

A Tabela 3.8 traz as taxas de crescimento do PIB entre 2002 e 2040, as quais são derivadas do

Tabela 3.6.
 Cenário 1: PIB, em R\$ bilhões*, 2002 a 2040

	2002	2017	2030	2040	Variações médias anuais		
					2002-2017	2017-2030	2030-2040
Norte	217,581	367,862	526,683	677,892	3,6%	2,8%	2,0%
Rondônia	23,173	43,506	60,310	73,697	4,3%	2,5%	1,6%
Acre	9,220	14,271	22,017	31,479	3,0%	3,4%	2,8%
Amazonas	68,560	93,204	134,910	170,821	2,1%	2,9%	1,8%
Roraima	7,423	12,103	18,054	26,311	3,3%	3,1%	2,9%
Pará	82,840	155,195	217,768	274,288	4,3%	2,6%	1,8%
Amapá	9,847	15,480	24,954	38,523	3,1%	3,7%	3,4%
Tocantins	16,517	34,102	48,671	62,773	5,0%	2,8%	2,0%
Nordeste	604,728	953,213	1.318,417	1.666,741	3,1%	2,5%	1,8%
Maranhão	49,415	89,524	139,530	197,205	4,0%	3,5%	2,7%
Piauí	22,184	45,359	65,318	85,837	4,9%	2,8%	2,1%
Ceará	89,120	147,890	202,159	269,175	3,4%	2,4%	2,2%
Rio Grande do Norte	42,100	64,295	88,561	108,705	2,9%	2,5%	1,6%
Paraíba	39,556	62,387	87,200	108,364	3,1%	2,6%	1,7%
Pernambuco	111,888	181,551	245,548	299,861	3,3%	2,3%	1,5%
Alagoas	35,801	52,843	73,468	92,827	2,6%	2,6%	1,8%
Sergipe	32,064	40,704	57,769	73,044	1,6%	2,7%	1,8%
Bahia	182,600	268,661	358,864	431,722	2,6%	2,3%	1,4%
Sudeste	2.651,078	3.480,767	4.268,256	4.856,789	1,8%	1,6%	1,0%
Minas Gerais	385,015	576,199	752,132	888,419	2,7%	2,1%	1,3%
Espírito Santo	83,938	113,352	148,657	174,144	2,0%	2,1%	1,2%
Rio de Janeiro	571,950	671,362	850,604	1.012,548	1,1%	1,8%	1,3%
São Paulo	1.610,175	2.119,854	2.516,863	2.781,679	1,9%	1,3%	0,8%
Sul	750,261	1.121,718	1.359,436	1.529,689	2,7%	1,5%	0,9%
Paraná	273,811	421,375	518,833	581,720	2,9%	1,6%	0,9%
Santa Catarina	169,607	277,192	339,520	401,612	3,3%	1,6%	1,3%
Rio Grande do Sul	306,843	423,151	501,084	546,358	2,2%	1,3%	0,7%
Centro-Oeste	399,340	659,759	819,264	956,764	3,4%	1,7%	1,2%
Mato Grosso do Sul	52,010	96,372	120,359	138,666	4,2%	1,7%	1,1%
Mato Grosso	60,188	126,805	159,007	184,640	5,1%	1,8%	1,2%
Goiás	119,874	191,899	256,323	309,888	3,2%	2,3%	1,5%
Distrito Federal	167,268	244,683	283,574	323,571	2,6%	1,1%	1,0%
Brasil	4.622,989	6.583,319	8.292,056	9.687,876	2,4%	1,8%	1,2%

Nota: (*) valores a preços de 2017.

Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

cenário demográfico e da projeção do PIB per capita resultantes do Cenário 2. Para o período de 2017 a 2030, espera-se uma taxa média de crescimento do PIB de 2,6% ao ano, valor 0,2 ponto percentual superior à média do subperíodo de 2002 a 2017. Nesse segundo cenário, as regiões Sul e Sudeste também devem ter taxas de expansão do PIB menores que a média nacional, mas sem retrações consideráveis em relação ao crescimento no subperíodo anterior. O Centro-Oeste

deve ter crescimento inferior à média nacional e deve perder significativamente na comparação com o subperíodo de 2002 a 2017. O Norte deve crescer no mesmo ritmo observado nos últimos anos e o Nordeste, em razão da dinâmica demográfica, deve crescer acima do patamar registrado no passado.

No período de 2030 a 2040, o crescimento continua mais forte (1,8% ao ano em média) que o

Tabela 3.7.
Cenário 2: PIB per capita, em R\$ por habitante*, 2002 a 2040

	2002	2017	2030	2040	Variações médias anuais		
					2002-2017	2017-2030	2030-2040
Norte	16.093,71	20.509,47	28.462,31	36.622,15	1,6%	2,6%	2,0%
Rondônia	16.185,06	24.092,81	33.443,09	43.038,74	2,7%	2,6%	2,0%
Acre	15.709,38	17.201,95	24.432,67	32.003,43	0,6%	2,7%	2,1%
Amazonas	23.147,95	22.936,28	31.808,55	40.906,36	-0,1%	2,5%	2,0%
Roraima	21.399,62	23.158,06	31.890,94	40.790,92	0,5%	2,5%	1,9%
Pará	12.806,29	18.549,33	25.610,42	32.822,90	2,5%	2,5%	1,9%
Amapá	19.065,34	19.405,11	27.519,91	36.005,01	0,1%	2,7%	2,1%
Tocantins	13.684,09	21.998,34	30.748,81	39.783,59	3,2%	2,6%	2,0%
Nordeste	12.377,90	16.648,80	24.035,01	31.879,17	2,0%	2,9%	2,2%
Maranhão	8.515,11	12.788,75	18.825,86	25.347,15	2,7%	3,0%	2,3%
Piauí	7.626,92	14.089,78	21.187,88	28.998,97	4,2%	3,2%	2,4%
Ceará	11.642,74	16.394,99	24.090,71	32.390,49	2,3%	3,0%	2,3%
Rio Grande do Norte	14.757,60	18.333,19	26.207,83	34.499,30	1,5%	2,8%	2,1%
Paraíba	11.318,32	15.497,67	23.265,98	31.802,11	2,1%	3,2%	2,4%
Pernambuco	13.839,58	19.164,52	27.019,75	35.191,48	2,2%	2,7%	2,1%
Alagoas	12.398,45	15.653,51	22.651,55	30.098,78	1,6%	2,9%	2,2%
Sergipe	17.368,86	17.789,21	25.495,45	33.627,79	0,2%	2,8%	2,2%
Bahia	13.705,44	17.508,67	25.192,86	33.329,95	1,6%	2,8%	2,2%
Sudeste	35.610,06	40.031,96	51.613,17	62.754,96	0,8%	2,0%	1,5%
Minas Gerais	20.989,16	27.282,75	37.540,12	47.986,24	1,8%	2,5%	1,9%
Espírito Santo	26.216,50	28.222,56	38.104,00	48.001,90	0,5%	2,3%	1,8%
Rio de Janeiro	38.843,50	40.155,76	53.029,48	65.677,56	0,2%	2,2%	1,7%
São Paulo	42.175,75	47.008,77	58.910,10	70.078,16	0,7%	1,8%	1,3%
Sul	29.128,02	37.838,41	49.041,48	59.869,06	1,8%	2,0%	1,5%
Paraná	27.945,63	37.221,00	48.164,88	58.727,30	1,9%	2,0%	1,5%
Santa Catarina	30.569,47	39.592,28	50.986,60	61.937,33	1,7%	2,0%	1,5%
Rio Grande do Sul	29.472,60	37.371,27	48.700,29	59.701,92	1,6%	2,1%	1,6%
Centro-Oeste	32.960,59	41.557,23	51.752,38	61.266,85	1,6%	1,7%	1,3%
Mato Grosso do Sul	24.210,29	35.520,45	45.154,63	54.309,33	2,6%	1,9%	1,4%
Mato Grosso	23.049,41	37.914,00	47.711,71	56.939,50	3,4%	1,8%	1,4%
Goiás	23.006,95	28.308,77	37.892,53	47.420,19	1,4%	2,3%	1,7%
Distrito Federal	77.950,07	80.502,47	92.353,49	102.643,95	0,2%	1,1%	0,8%
Brasil	26.463,11	31.702,25	41.546,82	51.154,31	1,2%	2,1%	1,6%

Nota: (*) valores a preços de 2017.

Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

do Cenário 1. Contudo cai em relação ao subperíodo anterior porque a expansão demográfica é menor no segundo subperíodo.

Os Mapas 3.3 e 3.4 ilustram a dinâmica de crescimento econômico nas cidades brasileiras nos dois cenários, por faixa de variação do PIB per capita. No Cenário 1, a maior parte dos municípios brasileiros devem ter crescimento positivo do PIB per

capita – todos com tons mais escuros de azul. O Cenário 2 preserva aproximadamente a mesma distribuição regional do crescimento econômico, mas há uma concentração maior de municípios com tons de azul mais escuro. Notadamente, os investimentos mais elevados do Cenário 2 têm impactos mais expressivos na região Sudeste e Sul do país.

Tabela 3.8.
Cenário 2: PIB, em R\$ bilhões*, 2002 a 2040

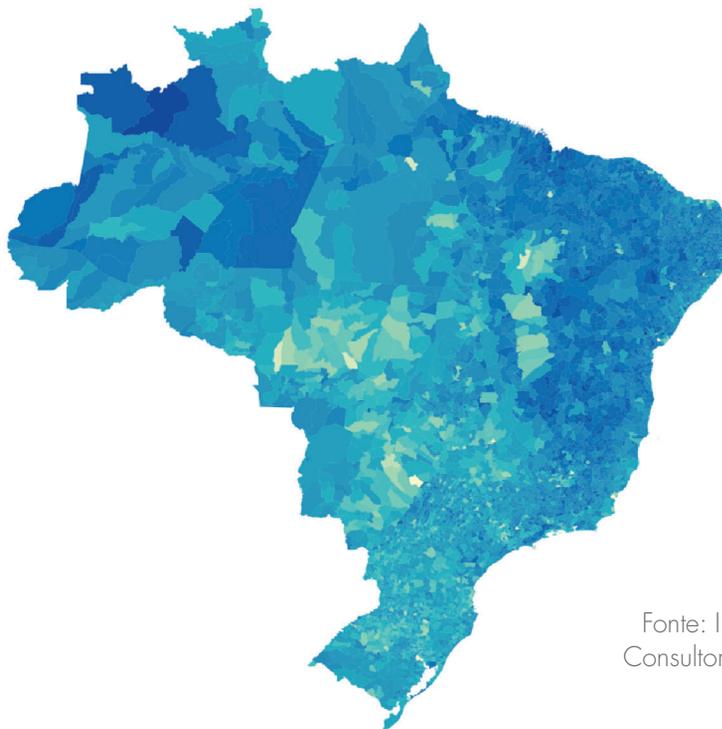
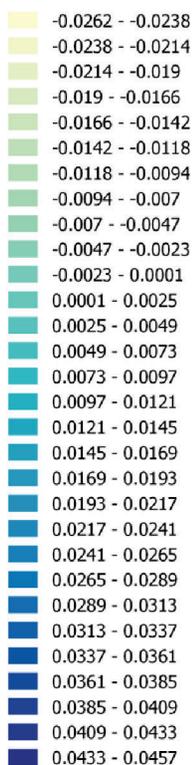
	2002	2017	2030	2040	Variações médias anuais		
					2002-2017	2017-2030	2030-2040
Norte	217,581	367,862	585,041	816,394	3,6%	3,6%	2,6%
Rondônia	23,173	43,506	66,992	88,753	4,3%	3,4%	2,2%
Acre	9,220	14,271	24,451	37,894	3,0%	4,2%	3,4%
Amazonas	68,560	93,204	149,868	205,747	2,1%	3,7%	2,5%
Roraima	7,423	12,103	20,055	31,689	3,3%	4,0%	3,6%
Pará	82,840	155,195	241,905	330,350	4,3%	3,5%	2,4%
Amapá	9,847	15,480	27,711	46,371	3,1%	4,6%	4,0%
Tocantins	16,517	34,102	54,060	75,590	5,0%	3,6%	2,6%
Nordeste	604,728	953,213	1.464,015	2.006,087	3,1%	3,4%	2,5%
Maranhão	49,415	89,524	154,905	237,267	4,0%	4,3%	3,3%
Piauí	22,184	45,359	72,508	103,257	4,9%	3,7%	2,8%
Ceará	89,120	147,890	224,448	323,890	3,4%	3,3%	2,9%
Rio Grande do Norte	42,100	64,295	98,343	130,844	2,9%	3,3%	2,2%
Paraíba	39,556	62,387	96,808	130,376	3,1%	3,4%	2,3%
Pernambuco	111,888	181,551	272,696	360,990	3,3%	3,2%	2,2%
Alagoas	35,801	52,843	81,581	111,727	2,6%	3,4%	2,4%
Sergipe	32,064	40,704	64,157	87,937	1,6%	3,6%	2,5%
Bahia	182,600	268,661	398,570	519,798	2,6%	3,1%	2,1%
Sudeste	2.651,078	3.480,767	4.743,475	5.854,039	1,8%	2,4%	1,6%
Minas Gerais	385,015	576,199	835,521	1.070,056	2,7%	2,9%	1,9%
Espírito Santo	83,938	113,352	165,155	209,784	2,0%	2,9%	1,9%
Rio de Janeiro	571,950	671,362	945,165	1.220,146	1,1%	2,7%	2,0%
São Paulo	1.610,175	2.119,854	2.797,634	3.354,053	1,9%	2,2%	1,4%
Sul	750,261	1.121,718	1.510,794	1.843,813	2,7%	2,3%	1,5%
Paraná	273,811	421,375	576,610	701,197	2,9%	2,4%	1,5%
Santa Catarina	169,607	277,192	377,341	484,126	3,3%	2,4%	1,9%
Rio Grande do Sul	306,843	423,151	556,843	658,489	2,2%	2,1%	1,3%
Centro-Oeste	399,340	659,759	910,760	1.153,839	3,4%	2,5%	1,8%
Mato Grosso do Sul	52,010	96,372	133,785	167,196	4,2%	2,6%	1,7%
Mato Grosso	60,188	126,805	176,771	222,688	5,1%	2,6%	1,8%
Goiás	119,874	191,899	284,765	373,297	3,2%	3,1%	2,1%
Distrito Federal	167,268	244,683	315,440	390,659	2,6%	2,0%	1,7%
Brasil	4.622,989	6.583,319	9.214,085	11.674,172	2,4%	2,6%	1,8%

Nota: (*) valores a preços de 2017.

Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

Mapa 3.3.

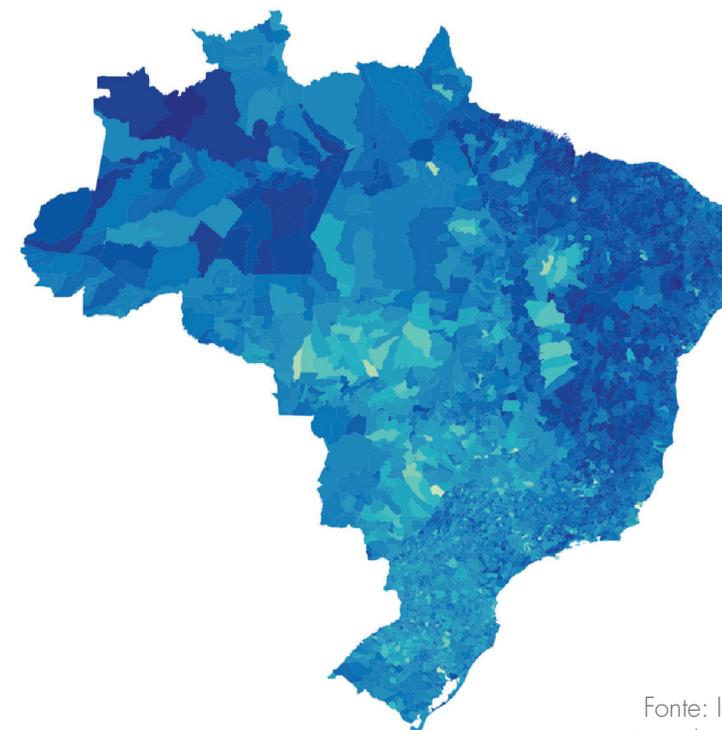
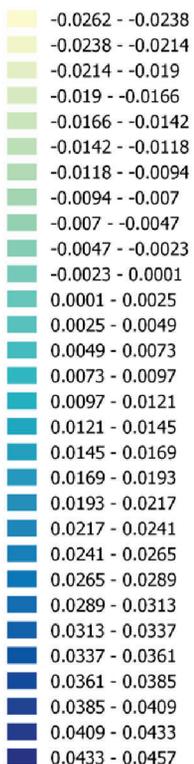
Cenário 1: crescimento do PIB per capita, por faixa, 2017 a 2040



Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

Mapa 3.4.

Cenário 2: crescimento do PIB per capita, por faixa, 2017 a 2040



Fonte: IBGE e Ex Ante Consultoria Econômica.

4

Cenários de consumo de água em 2040

Esta seção apresenta os cenários de consumo de água no Brasil até 2040. Ao total, são apresentados quatro cenários que resultam de premissas econômicas e comportamentais alternativas. A Figura 4.1.a traz a estrutura dos quatro cenários. Os Cenários 1 e 2 estão baseados na manutenção do padrão atual de consumo de água das cidades brasileiras. O que varia entre os dois cenários é a situação econômica. No Cenário 1, prevalece a taxa de crescimento associada ao cenário conservador, em que o PIB per capita cresce apenas 1,1% ao ano entre 2017 e 2040 e o PIB cresce 1,5% ao ano. No Cenário 2, a economia cresce mais: o PIB per capita cresce 1,9% ao ano e o PIB cresce 2,3% ao ano.

Os Cenários 3 e 4 reproduzem essa comparação de situações econômicas com taxas de expansão da renda diferentes, mas partem da premissa de aumento na intensidade de consumo de água associado a uma maior urbanização, o que leva a um adensamento maior das cidades, e a universalização dos serviços de abastecimento de água em todas as áreas urbanas do país até 2040. Esse perfil corresponde ao de um grupo grande de cidades brasileiras que já tem serviços universalizados e são bastante urbanizadas. Nesse sentido, os Cenários 3 e 4 podem ser vistos como situações em que há convergência dos padrões de consumo entre as cidades brasileiras para um patamar mais elevado.

Nos Cenários 1 e 2, as taxas médias de crescimento do consumo de água das cidades brasileiras são de 0,72% ao ano e 0,79% ao ano. A taxa mais elevada, que está associada ao crescimento econômico de 2,3% e elevação da renda per capita de 1,9% ao ano, é superior à média histórica de expansão do consumo de água em grandes cidades grandes como São Paulo, Rio de Janeiro, Brasília e Belo Horizonte, que em conjunto cresceram ao ritmo de 0,5% ao ano entre 2010 e 2018, mas está abaixo da taxa média nacional, que foi de 1,3% ao ano entre 2010 e 2018.

Nos dois cenários, as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste devem ter taxas de expansão mais elevadas. Mas mesmo em regiões em que se espera crescimento relativamente menor,

Tabela 4.1.

Cenários de padrão regular de consumo de água, por situação econômica, volume de água em milhões de m³ e taxa média de crescimento anual, 2017 a 2040

	2017	Cenário econômico para 2040			
		Conservador		Otimista	
		Nível	Variação	Nível	Variação
Norte	1.010,08	1.430,87	1,53%	1.453,62	1,60%
Rondônia	100,11	127,84	1,07%	129,78	1,13%
Acre	47,35	76,41	2,10%	77,65	2,17%
Amazonas	234,76	326,89	1,45%	332,05	1,52%
Roraima	32,85	52,07	2,02%	52,86	2,09%
Pará	464,18	649,61	1,47%	660,16	1,54%
Amapá	46,64	87,04	2,75%	88,41	2,82%
Tocantins	84,19	110,99	1,21%	112,71	1,28%
Nordeste	2.884,40	3.553,15	0,91%	3.611,16	0,98%
Maranhão	346,92	540,70	1,95%	549,96	2,02%
Piauí	169,28	209,30	0,93%	212,77	1,00%
Ceará	493,39	613,94	0,96%	623,87	1,03%
Rio Grande do Norte	180,81	214,95	0,75%	218,37	0,82%
Paraíba	191,57	218,25	0,57%	221,80	0,64%
Pernambuco	499,32	597,99	0,79%	607,54	0,86%
Alagoas	158,64	193,41	0,87%	196,59	0,94%
Sergipe	109,35	137,16	0,99%	139,37	1,06%
Bahia	735,11	827,44	0,52%	840,89	0,59%
Sudeste	5.218,65	5.860,32	0,51%	5.941,71	0,57%
Minas Gerais	1.181,68	1.341,34	0,55%	1.361,23	0,62%
Espírito Santo	227,79	269,18	0,73%	273,16	0,79%
Rio de Janeiro	971,85	1.135,86	0,68%	1.151,36	0,74%
São Paulo	2.837,32	3.113,94	0,41%	3.155,95	0,46%
Sul	1.419,83	1.546,38	0,37%	1.568,07	0,43%
Paraná	549,27	603,26	0,41%	611,81	0,47%
Santa Catarina	359,13	421,34	0,70%	427,18	0,76%
Rio Grande do Sul	511,44	521,78	0,09%	529,08	0,15%
Centro-Oeste	929,57	1.132,19	0,86%	1.148,09	0,92%
Mato Grosso do Sul	151,25	181,00	0,78%	183,60	0,85%
Mato Grosso	231,68	282,62	0,87%	286,66	0,93%
Goiás	355,42	434,38	0,88%	440,81	0,94%
Distrito Federal	191,23	234,19	0,89%	237,02	0,94%
Brasil	11.462,53	13.522,92	0,72%	13.722,65	0,79%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

Tabela 4.2.

Cenários de elevação do padrão de consumo de água, por situação econômica, volume de água consumida em milhões de m³ e taxa média de crescimento anual, 2017 a 2040

	2017	Cenário econômico para 2040			
		Conservador		Otimista	
		Nível	Variação	Nível	Variação
Norte	1.010,08	1.600,22	2,02%	1.625,72	2,09%
Rondônia	100,11	147,52	1,70%	149,75	1,77%
Acre	47,35	87,00	2,68%	88,40	2,75%
Amazonas	234,76	344,81	1,69%	350,26	1,75%
Roraima	32,85	53,18	2,12%	53,99	2,18%
Pará	464,18	748,71	2,10%	760,90	2,17%
Amapá	46,64	105,82	3,63%	107,48	3,70%
Tocantins	84,19	113,18	1,29%	114,93	1,36%
Nordeste	2.884,40	3.780,06	1,18%	3.841,92	1,25%
Maranhão	346,92	599,67	2,41%	609,98	2,48%
Piauí	169,28	218,67	1,12%	222,30	1,19%
Ceará	493,39	671,48	1,35%	682,35	1,42%
Rio Grande do Norte	180,81	224,58	0,95%	228,16	1,02%
Paraíba	191,57	226,71	0,73%	230,41	0,81%
Pernambuco	499,32	628,31	1,00%	638,35	1,07%
Alagoas	158,64	204,76	1,12%	208,14	1,19%
Sergipe	109,35	143,39	1,19%	145,70	1,26%
Bahia	735,11	862,49	0,70%	876,54	0,77%
Sudeste	5.218,65	5.979,94	0,59%	6.063,11	0,65%
Minas Gerais	1.181,68	1.391,54	0,71%	1.412,21	0,78%
Espírito Santo	227,79	282,09	0,93%	286,26	1,00%
Rio de Janeiro	971,85	1.164,14	0,79%	1.180,04	0,85%
São Paulo	2.837,32	3.142,18	0,44%	3.184,60	0,50%
Sul	1.419,83	1.576,46	0,46%	1.598,58	0,52%
Paraná	549,27	612,11	0,47%	620,79	0,53%
Santa Catarina	359,13	430,35	0,79%	436,32	0,85%
Rio Grande do Sul	511,44	534,00	0,19%	541,47	0,25%
Centro-Oeste	929,57	1.153,65	0,94%	1.169,87	1,00%
Mato Grosso do Sul	151,25	184,02	0,86%	186,67	0,92%
Mato Grosso	231,68	290,59	0,99%	294,75	1,05%
Goiás	355,42	442,94	0,96%	449,50	1,03%
Distrito Federal	191,23	236,10	0,92%	238,95	0,97%
Brasil	11.462,53	14.090,32	0,90%	14.299,20	0,97%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

Tabela 4.3.

Cenários de padrão regular de consumo de água, por situação econômica, volume de água por habitante por dia e taxa média de crescimento anual, 2017 a 2040

	2017	Cenário econômico para 2040			
		Conservador		Otimista	
		Nível	Variação	Nível	Variação
Norte	154,29	175,75	0,57%	178,55	0,64%
Rondônia	151,89	169,85	0,49%	172,42	0,55%
Acre	156,38	176,80	0,54%	179,66	0,61%
Amazonas	158,28	178,06	0,51%	180,87	0,58%
Roraima	172,20	183,62	0,28%	186,44	0,35%
Pará	152,00	176,83	0,66%	179,71	0,73%
Amapá	160,19	185,17	0,63%	188,07	0,70%
Tocantins	148,79	160,05	0,32%	162,52	0,38%
Nordeste	138,02	154,53	0,49%	157,06	0,56%
Maranhão	135,78	158,25	0,67%	160,96	0,74%
Piauí	144,07	161,04	0,49%	163,71	0,56%
Ceará	149,85	168,21	0,50%	170,93	0,57%
Rio Grande do Norte	141,25	155,27	0,41%	157,75	0,48%
Paraíba	130,38	145,86	0,49%	148,23	0,56%
Pernambuco	144,41	159,71	0,44%	162,27	0,51%
Alagoas	128,75	142,75	0,45%	145,10	0,52%
Sergipe	130,94	143,70	0,41%	146,01	0,48%
Bahia	131,25	145,36	0,44%	147,72	0,52%
Sudeste	164,44	172,44	0,21%	174,83	0,27%
Minas Gerais	153,29	164,80	0,32%	167,24	0,38%
Espírito Santo	155,39	168,75	0,36%	171,24	0,42%
Rio de Janeiro	159,26	167,51	0,22%	169,79	0,28%
São Paulo	172,38	178,25	0,15%	180,66	0,20%
Sul	131,22	137,62	0,21%	139,55	0,27%
Paraná	132,93	138,42	0,18%	140,39	0,24%
Santa Catarina	140,54	147,68	0,22%	149,73	0,28%
Rio Grande do Sul	123,75	129,61	0,20%	131,42	0,26%
Centro-Oeste	160,42	165,60	0,14%	167,92	0,20%
Mato Grosso do Sul	152,73	157,78	0,14%	160,05	0,20%
Mato Grosso	189,78	197,98	0,18%	200,82	0,25%
Goiás	143,65	151,18	0,22%	153,41	0,29%
Distrito Federal	172,37	168,58	-0,10%	170,62	-0,04%
Brasil	151,23	162,55	0,31%	164,95	0,38%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

2 estão expostos na Tabela 4.3 e os Cenários 3 e 4, na Tabela 4.4. Nota-se, em primeiro lugar que o Cenário 1, devido ao baixo crescimento econômico médio e à manutenção dos padrões de cobertura e urbanização, projeta um futuro com um consumo de água por habitante relativamente ao de 2017. O crescimento econômico mais acentuado, de outro lado, permite antever um aumento do consumo diário *per capita* de 151,23 litros por habitante por

dia em 2017 para 164,95 litros por habitante por dia em 2040. Isso implica uma taxa de crescimento médio anual de 0,4%.

Nos cenários em que se antevê uma mudança de padrão de consumo associado à expansão da cobertura e à urbanização das cidades brasileiras, as taxas de crescimento do consumo diário *per capita* de água entre 2017 e 2040 são mais

Tabela 4.4.

Cenários de elevação do padrão de consumo de água, por situação econômica, volume de água por habitante por dia e taxa média de crescimento anual, 2017 a 2040

	2017	Cenário econômico para 2040			
		Conservador		Otimista	
		Nível	Variação	Nível	Variação
Norte	154,29	196,55	1,06%	199,68	1,13%
Rondônia	151,89	196,00	1,11%	198,96	1,18%
Acre	156,38	201,29	1,10%	204,55	1,17%
Amazonas	158,28	187,82	0,75%	190,79	0,82%
Roraima	172,20	187,53	0,37%	190,40	0,44%
Pará	152,00	203,81	1,28%	207,13	1,35%
Amapá	160,19	225,11	1,49%	228,65	1,56%
Tocantins	148,79	163,20	0,40%	165,72	0,47%
Nordeste	138,02	164,40	0,76%	167,09	0,83%
Maranhão	135,78	175,51	1,12%	178,53	1,20%
Piauí	144,07	168,25	0,68%	171,04	0,75%
Ceará	149,85	183,98	0,90%	186,95	0,97%
Rio Grande do Norte	141,25	162,23	0,60%	164,82	0,67%
Paraíba	130,38	151,51	0,66%	153,98	0,73%
Pernambuco	144,41	167,81	0,66%	170,49	0,72%
Alagoas	128,75	151,13	0,70%	153,62	0,77%
Sergipe	130,94	150,23	0,60%	152,65	0,67%
Bahia	131,25	151,52	0,63%	153,98	0,70%
Sudeste	164,44	175,96	0,29%	178,41	0,36%
Minas Gerais	153,29	170,97	0,48%	173,51	0,54%
Espírito Santo	155,39	176,84	0,56%	179,46	0,63%
Rio de Janeiro	159,26	171,68	0,33%	174,02	0,39%
São Paulo	172,38	179,87	0,18%	182,30	0,24%
Sul	131,22	140,29	0,29%	142,26	0,35%
Paraná	132,93	140,45	0,24%	142,45	0,30%
Santa Catarina	140,54	150,84	0,31%	152,93	0,37%
Rio Grande do Sul	123,75	132,64	0,30%	134,50	0,36%
Centro-Oeste	160,42	168,73	0,22%	171,11	0,28%
Mato Grosso do Sul	152,73	160,42	0,21%	162,73	0,28%
Mato Grosso	189,78	203,56	0,31%	206,48	0,37%
Goiás	143,65	154,16	0,31%	156,44	0,37%
Distrito Federal	172,37	169,96	-0,06%	172,01	-0,01%
Brasil	151,23	169,37	0,49%	171,88	0,56%

Fonte: Ex Ante Consultoria Econômica.

elevadas. No Cenário 3, consumo passa de 151,23 litros por habitante por dia em 2017 para 169,37 litros por habitante por dia em 2040, indicando uma taxa de crescimento médio anual de

0,5%. No Cenário 4, o consumo diário *per capita* de água chegaria a 171,88 litros por habitante por dia em 2040 na média nacional, indicando uma taxa de crescimento de 0,6% ao ano.

5

Considerações finais

O presente estudo avaliou o potencial de crescimento da demanda por água nas cidades brasileiras no horizonte de tempo até 2040. A modelagem para a elaboração de cenários futuros de demanda residencial de água no Brasil seguiu de perto a análise desenvolvida por Meyer et al (2019), um estudo feito por pesquisadores da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, para o Departamento de Recursos Naturais do Estado de Illinois, Estados Unidos. A modelagem metodológica do presente estudo pode ser resumida em 5 passos, a saber:

- i. Primeiro, foram analisados os modelos teóricos de fatores determinantes da demanda residencial de água mais utilizados na literatura sobre o tema;
- ii. Na sequência, foram desenvolvidos modelos estatísticos (econômicos), com base em dados dos municípios brasileiros, que analisam a influência desses fatores no consumo de água da população;
- iii. Com base na análise econômica, foram feitas estimativas que servem à consolidação das informações para todos os municípios brasileiros no ano de 2017, o qual foi escolhido como período base para as projeções;
- iv. Então, foram elaborados cenários até 2040 de evolução das variáveis demográficas, econômicas e de padrões de consumo que afetam a demanda residencial de água; e
- v. Por fim, foram feitas as projeções do potencial de demanda residencial de água em 2040 nos diferentes cenários.

As análises identificaram um acréscimo de demanda significativo associado à expansão demográfica, ao crescimento econômico e à universalização do atendimento às famílias. A

expansão pode chegar a 1% ao ano, acumulando aumento de aproximadamente 25% em 23 anos. A demanda potencial de água pode atingir 14,299 bilhões de m³ em 2040, o que representa um acréscimo de 2,837 bilhões de m³ por ano em relação à demanda potencial de 2017.

Esse é um volume tão grande que corresponde à soma do consumo de água de todos os municípios do Estado de São Paulo em 2017. Também como forma de comparação, segundo dados da Sabesp, o volume do Sistema Cantareira, o maior sistema hídrico do Estado, possui capacidade total de 982 milhões de m³ - volume útil, sendo responsável pelo abastecimento de 9 milhões de habitantes. Significa que precisaríamos de quase 3 sistemas Cantareira cheios a mais só para atender a água adicional em 2040.

Vale observar que, em 2017, a demanda potencial não foi plenamente atendida em razão da falta de oferta suficiente, em parte justificada pela crise hídrica ocorrida em várias localidades do país. O consumo efetivo, ou seja, aquele que desconsidera as perdas na distribuição, foi de 9,962 bilhões de m³ em 2017. Esse volume, quando comparado à demanda potencial desse ano, já aponta para uma carência de 1,501 bilhão de m³.

Pressupondo que a demanda potencial por água seja plenamente atendida em 2040, será necessário entregar nas cidades brasileiras 4,337 bilhões de m³ de água a mais do que foi efetivamente entregue em 2017. O crescimento de demanda seria, portanto, de 43,5% em 23 anos, ou ainda, de 1,6% ao ano. Esse volume se aproxima da demanda efetiva dos estados de São Paulo e Minas Gerais em 2017. A Tabela Resumo ilustra as componentes da demanda incremental em detalhe.

Esse cenário remete a considerações fundamentais sobre a expansão da produção nos próximos anos, as quais estão associadas à ineficiência do setor e a possíveis desequilíbrios entre oferta e demanda causados por mudanças climáticas.

Perdas na distribuição

Esse acréscimo de demanda representa um desafio grande, principalmente em regiões em que há restrições de oferta significativas. Mas um problema adicional de grandes proporções é a questão das perdas de água na distribuição. Segundo SNIS, o nível de perdas foi de 38,3% na média nacional em 2017, o que equivaleu a um desperdício de 3,815 bilhões de m³ de água tratada em 2017.

Em 2018, essa situação não melhorou. Segundo um estudo recente do Instituto Trata Brasil (Trata Brasil (2020)), que apresenta os problemas de eficiência no setor de saneamento básico no Brasil, as perdas comprometem a prestação dos serviços e à sustentabilidade financeira dos operadores. Segundo Trata Brasil (2020), a média de perda de água na distribuição no país foi de 38,5% em 2018, ou seja, para cada 100 litros de água captada e tratada, 38,5 litros não chegaram à população. Essa água é perdida em vazamentos, roubos, fraudes, erros de leitura dos hidrômetros etc. Isso representou uma perda de faturamento para os operadores de R\$ 12 bilhões em 2018.

Tabela Resumo
Projeções de demanda por água

	Em bilhões de m ³
Demanda por água 2017	
Atendida (A)	9,962
Reprimida (B)	1,501
Potencial (C = A + B)	11,463
Demanda por água 2040	
Aumento entre 2017 e 2040 (D)	2,837
Demanda potencial 2040 (E = C + D)	14,299
Aumento entre 2017 e 2040 (F = E - A)	4,337
Perdas na distribuição	
Volume incremental de perdas* (G)	2,693
Necessidade de produção adicional (H = G + F)	7,030
Aquecimento de 1° C	
Acréscimo de demanda (I)	0,343
Aumento de produção necessária** (J)	0,556
Necessidade com aquecimento (K = H + J)	7,586

(*) Considerando a taxa de perdas de 38,5% verificada em 2018.

(**) Incluindo perdas de 38,5%.

Com o nível atual de perdas, a demanda futura de água até 2040 demandaria um crescimento de produção muito elevado. A produção necessária adicional de água seria de 7,030 bilhões de m³, o que equivale a um acréscimo de 55,4% em relação à produção do setor de saneamento em 2017 (excluída a produção para consumo próprio).

Isso sugere fortemente que o suprimento da demanda futura incremental por água deva ser garantido, em boa parte, por um processo de racionalização e diminuição das perdas na distribuição. O que se desperdiçou de água tratada em 2017 (3,815 bilhões de m³) seria quase suficiente para suprir a demanda incremental (4,337 bilhões de m³), sem pressão adicional sobre os mananciais.

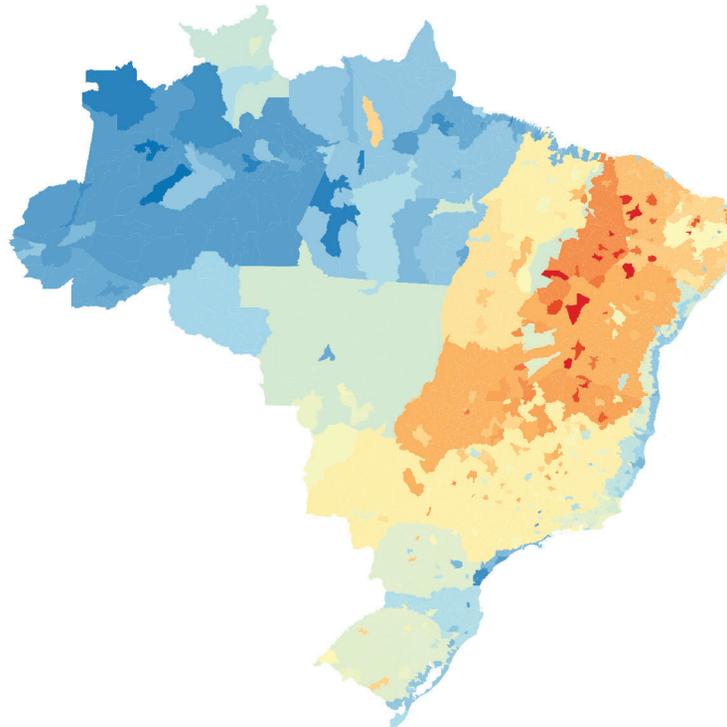
Mudanças climáticas

Outra questão importantíssima que surge nesse horizonte temporal de análise de mais de duas décadas é a das mudanças climáticas. Como visto na seção 3, a temperatura máxima observada nas cidades afeta de forma decisiva o consumo residencial de água: quanto mais quente uma cidade, maior o consumo *per capita* diário. As estimativas feitas neste estudo indicam que a cada grau Celsius adicional na temperatura, espera-se um aumento de 2,4% na demanda por água. No estudo de Meyer et al (2019), a influência da temperatura máxima sobre a demanda de água nas cidades da bacia do Rio Rock, Illinois, foi de 1,1% a cada grau Fahrenheit, o que equivale a um aumento de aproximadamente 2,0% a cada grau Celsius.

Mapa 5.1.
Estimativas* da umidade relativa do ar nos municípios brasileiros, (%), 1990 a 2010

Legenda

0.00 - 55.40
55.40 - 57.10
57.10 - 59.80
59.80 - 61.20
61.20 - 62.30
62.30 - 63.50
63.50 - 64.90
64.90 - 66.10
66.10 - 67.60
67.60 - 68.90
68.90 - 70.20
70.20 - 71.40
71.40 - 72.30
72.30 - 73.10
73.10 - 74.20
74.20 - 75.20
75.20 - 76.10
76.10 - 77.00
77.00 - 77.80
77.80 - 78.70
78.70 - 79.70
79.70 - 80.60
80.60 - 81.80
81.80 - 82.80
82.80 - 83.80
83.80 - 84.70
84.70 - 85.40
85.40 - 86.50
86.50 - 88.00
88.00 - 89.00



Fonte: INMET. (*) Para os municípios em que não há medição direta, foram imputadas as médias de cada estado por sistema climático.

Conforme essas estimativas, um acréscimo até 2040 de 1° C na temperatura máxima ao longo do ano no Brasil elevaria o consumo de água em 2,4%. Isso resultaria numa demanda adicional próxima a 343 milhões m³ por ano e uma quantidade produzida adicional de 556 milhões m³ por ano (mantendo o nível atual de perdas na distribuição). Esse volume corresponde a uma demanda incremental maior que a exercida na cidade do Rio de Janeiro em 2017. A Tabela Resumo traz as projeções ligadas ao aquecimento global.

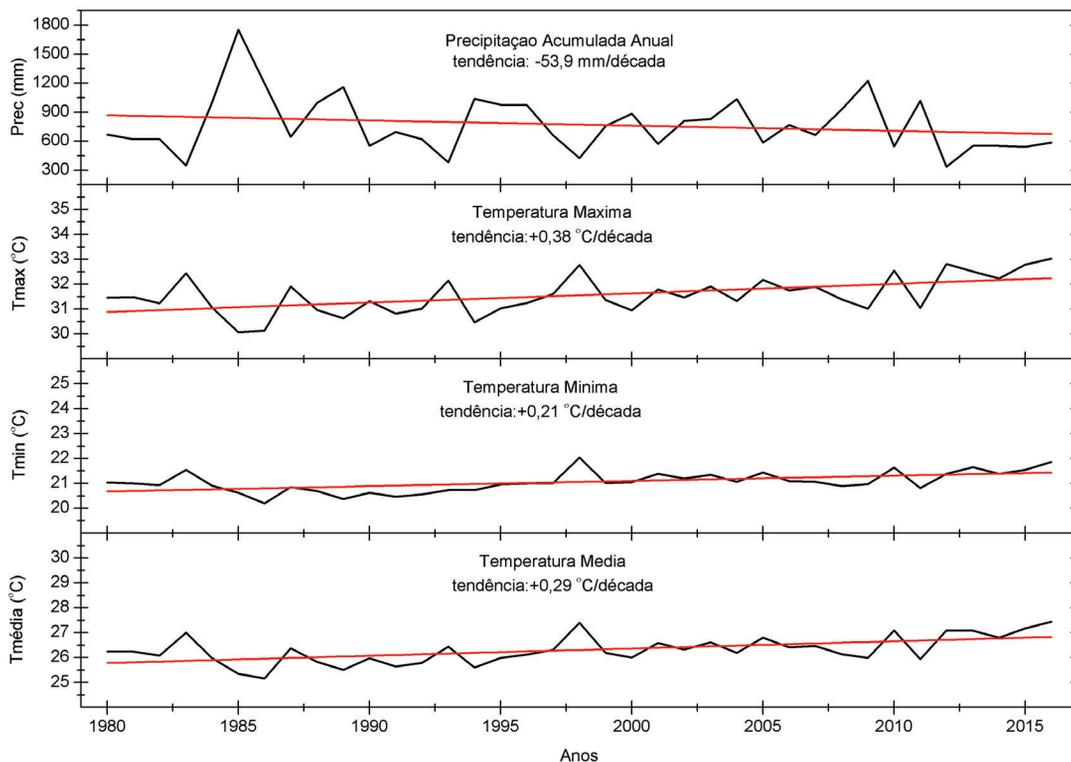
Mas além do aumento de demanda, deve-se observar que o aquecimento de 1° C poderia levar várias regiões do país à desertificação e ampliar a área do semiárido brasileiro, que reúne municípios mais secos e com maior dificuldade de suprir a demanda. Nas regiões que hoje são mais secas, o aquecimento poderá implicar a quebra na oferta. Nas áreas em laranja do Mapa 5.1, que traz a umidade relativa do ar nas cidades brasileiras, o

desequilíbrio resultante seria de 20% e nas áreas em amarelo, poderia alcançar 4%.

Esse tema foi abordado diretamente no estudo recente de Ferreira Filho (2020) como dissertação do Mestrado Profissional de Ambiente, Saúde e Sustentabilidade da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. O documento discutiu como o setor de saneamento básico lida, de um lado, com a questão das mudanças climáticas e, de outro, com os desafios de prover acesso à água tratada e à coleta e tratamento de esgoto. O estudo foi feito por meio de análises documentais, revisão bibliográfica e entrevistas com foco nos estados do Ceará e de São Paulo.

Como resultado da pesquisa bibliográfica, compreende-se que a universalização do acesso à água tratada e à coleta e tratamento dos esgotos reduziria as vulnerabilidades dos impactos causados pelas mudanças climáticas. Estas vulnerabilidades estão

Figura 5.1.
Série histórica de variações do clima para o Ceará de 1980 a 2015



Fonte: Ferreira Filho (2020); Xavier et al. (2018)

associadas à demanda hídrica para o futuro e a diminuição de doenças causadas pelo contato com a água poluída e pelo esgoto à céu aberto, sobretudo em épocas de enchentes.

Entre os relatórios oficiais que balizam os desafios brasileiros para as próximas décadas em relação às mudanças climáticas, destacam-se o Fundo Verde para o Clima [GCF (2017)] e o Primeiro Relatório de Avaliação Nacional (RAN1) do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (2015), nos quais se observam apontamentos similares para o Brasil: aumento na temperatura, variações de precipitação, risco de desabastecimento hídrico, aumento do nível do mar e mudanças nos padrões climáticos como alguns dos principais impactos já identificados.

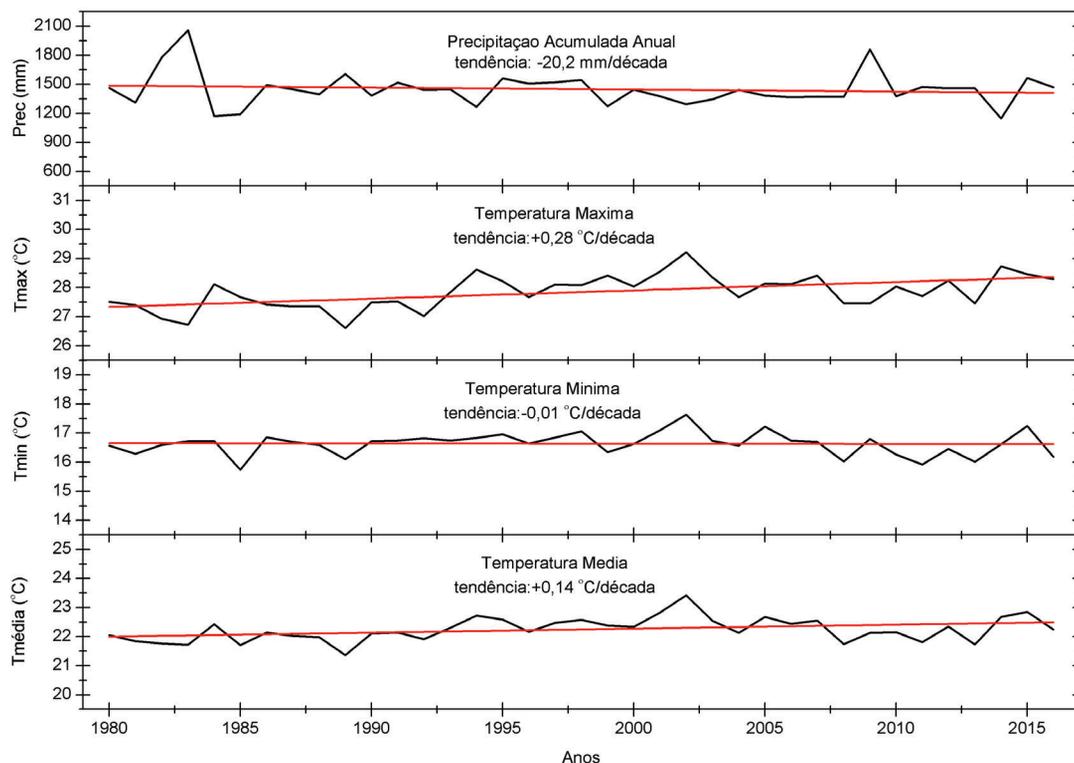
Em Ferreira Filho (2020), é possível ter uma dimensão de alguns indicadores climáticos para o Sudeste e Nordeste, em especial para o estado de São Paulo e Ceará (Figuras 5.1 e 5.2 abaixo), que

são objetos diretos da dissertação. Os dados foram extraídos da base de dados de Xavier et al. (2017), em que os autores usaram 3.625 pluviômetros e 735 estações automáticas no período de 1980-2013, com atualização até 2016.

Chama atenção a diminuição de chuvas de 53,9 mm por década no Ceará de 1980-2015, totalizando uma queda de 188,65 mm em três décadas e meia; o mesmo se aplica às temperaturas, com um acréscimo de 1,33°C na temperatura máxima em três décadas e meia, assim como aumento de 0,73°C na temperatura mínima, e 1,01°C na temperatura média.

Em São Paulo, houve uma queda de 70,7 mm referente às chuvas nas três décadas e meia de análise. No mesmo período, foi possível observar um aumento da temperatura máxima de 0,98°C, uma diminuição de 0,35°C na temperatura mínima e um aumento de 0,49°C na temperatura média.

Figura 5.2.
Série histórica de variações do clima para o estado de São Paulo de 1980 a 2015



Fonte: Ferreira Filho (2020); Xavier et al. (2018)

Projeções climáticas futuras para o Sudeste e Nordeste

Embora os dados apresentados em Ferreira Filho (2020) joguem luz ao Ceará e São Paulo, é possível ter uma dimensão do futuro climático no Sudeste e Nordeste brasileiro. O Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas aponta um aumento da temperatura do ar até 2070 em 1,5°C a 2,5°C no Nordeste, e 1,5°C a 2°C no Sudeste, conforme é possível ver no Quadro 5.1.

Conforme Ferreira Filho (2020), o setor de saneamento básico dos estados de São Paulo e do Ceará – que inclui as companhias estaduais de cada estado e as agências reguladoras estaduais – compreende que o fenômeno das mudanças climáticas existe. Contudo, os cenários climáticos do futuro são pouco considerados quando se tem em mente o planejamento da expansão e manutenção do saneamento básico nesses locais.

A demanda hídrica é uma preocupação iminente do setor de saneamento dos dois estados, ao ponto de ser elencada como impacto prioritário ao considerar também as alterações do clima, como já ocorreram em outras décadas. A estiagem de 2012 a 2018 em parte do Nordeste foi considerada a mais longa pelo setor de saneamento, com danos à demanda hídrica e ao sistema sanitário dos centros urbanos e rurais. Já a estiagem de 2013 a 2015 no Sudeste, sobretudo em São Paulo, foi apontada como a estiagem mais duradoura na região pelo setor de saneamento básico.

Estes eventos climáticos extremos tendem a se repetir no futuro. Mas a incerteza dos impactos climáticos no futuro ainda é um indicador de resistência dentro do setor de saneamento básico, que aparenta estar pouco preparado para enfrentar novos eventos climáticos extremos, principalmente aqueles relacionados à seca. O grupo de profissionais entrevistados por Ferreira Filho (2020) indicou que os principais impactos das mudanças climáticas são: (i) risco de desabastecimento de água nas cidades; (ii) busca por novas fontes de água; e (iii)

aumento do valor da água para amortizar os investimentos. Além disso, esses profissionais indicaram os seguintes impactos gerais relacionados aos eventos climáticos extremos (secas e cheias): (i) danos às infraestruturas hídricas pelo volume baixo dos reservatórios em épocas de estiagens; (ii) impacto das cheias nos sistemas de esgotamento sanitário (ETEs); (iii) impacto aos sistemas sanitários devido as ligações irregulares da rede pluvial à rede de esgoto.

A busca de oferta hídrica durante eventos climáticos extremos

Ferreira Filho (2020) também buscou compreender como as mudanças climáticas podem transformar a busca pela oferta hídrica. Observou-se que em São Paulo e Ceará, as obras de infraestrutura cinza foram priorizadas durante os eventos climáticos extremos de seca ocorridos na década de 2010. Essas obras são interligações de reservatórios ou açudes, construção e reparação de novas adutoras, ampliação dos sistemas de abastecimento de água, estudos sobre plantas de reúso de água para fins indireto (isto é, que não sejam para consumo humano) e planta de dessalinização da água do mar, como está sendo pensado para a Região Metropolitana de Fortaleza.

É importante destacar que, como observado por Ferreira Filho (2020), as obras aconteceram durante os momentos da ocorrência dos eventos climáticos extremos, os quais foram sentidos de forma severa pelo setor de saneamento básico. Isto indica que os modos de repensar a oferta foram precipitados quando os estados sofreram severamente com o impacto provocado pelas mudanças climáticas, e não de forma antecipada às crises.

Pesquisadores apontam que outros modelos de abastecimento de água também podem ser agregados, sobretudo ao pensar em tecnologias descentralizadas de ofertas de água ou na infraestrutura verde, em que se privilegia a recuperação dos ecossistemas para se tornarem fontes de abastecimento de água para a população.

Quadro 5.1.
Projeções climáticas para o Sudeste e Nordeste

Atribuições analisadas	Tendências	
	Nordeste	Sudeste
Temperatura do ar até 2070	Aumento de 1,5°C a 2,5°C (PBMC, 2014a)	Aumento de 1,5°C a 2°C (PBMC, 2014a)
Precipitação	Diminuição entre 25% e 35% nos padrões de chuva (PBMC, 2014a)	Aumento de 15% a 20% nos padrões de chuva (PBMC, 2014a)
Dias secos consecutivos até 2100	Aumento de dias secos consecutivos em até mais de 30 dias (MARENGO et al, 2011)	Aumento de dias secos consecutivos (TORRES, 2016-2017)
Aumento da irregularidade na distribuição da precipitação ao longo do ano	Probabilidade alta (MARENGO et al, 2011; PBMC, 2014a)	Probabilidade alta (TORRES, 2016-2017; PBMC, 2014a)

Fonte: Ferreira Filho (2020)

Como recomendações para o setor de saneamento básico, frente às mudanças climáticas e o impacto na demanda e oferta hídrica, Ferreira Filho (2020) lança mão dos seguintes tópicos:

- i) Compreender as vulnerabilidades causadas pelas mudanças climáticas nos territórios de operação dos serviços de água e esgoto;
- ii) Incluir nos planejamentos de operação e investimentos o histórico de variabilidade climática das últimas décadas disponível para que haja compreensão dos impactos causados pelos eventos climáticos extremos do passado;
- iii) Incluir a variável climática nos investimentos necessários, em termos de recursos financeiros, das operações dos sistemas de saneamento básico;
- iv) Incluir as projeções climáticas sobre cenários futuros para que as operações não sejam afetadas; e
- v) Garantir que os investimentos pelas companhias de saneamento sejam alocados para a resiliência do abastecimento de água para consumo humano, manutenção dos sistemas de operação e ampliação da coleta e tratamento de esgoto.

BIBLIOGRAFIA

ARBUÉS, F., GARCÍA-VALIÑAS, M.A. e MARTÍNEZ-ESPIÑEIRA, R. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-Economics*, vol 32, p. 81–102, 2003.

BABEL, M.S., DAS GUPTA, A. e PRADHAN, P. A multivariate econometric approach for domestic water demand modeling: An application to Kathmandu, Nepal. *Water Resource Management*, vol 21, p.573–589, 2007.

CORRAL, L., FISHER, A. C. e HATCH, N. W. Price and non-price influences on water Conservation: an econometric model of aggregate demand under nonlinear budget constrain. *Department of Agricultural and Resource Economics, UCB, UC Berkeley*, 1999.

ESPEY, M., ESPEY, J. e SHAW, W.D. Price elasticity of residential demand for water: A meta-analysis. *Water Resource Research*, vol 33, n 6, p. 1369–1374, 1997.

FERREIRA FILHO, R. A. *Mudanças Climáticas e o Acesso à Água e Esgotamento Sanitário – Desafios e Oportunidades para os Estados do Ceará e São Paulo, Brasil*. 2020. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Contas Municipais, de 2002 a 2017*. Rio de Janeiro, vários anos.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Estimativas da População, de 2002 a 2017*. Rio de Janeiro, vários anos.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Contas econômicas e ambientais da água: Brasil, 2013 a 2017*. Rio de Janeiro, 2020.

GIVISIEZ, G. H. N.; OLIVEIRA, E. L. *Demanda futura por moradias: demografia, habitação e mercado*. Niterói, RJ: UFF, Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação, 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Séries históricas de medição da umidade relativa do ar*. Brasília, 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL. *Perdas de água 2020 (SNIS 2018): Desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico*, São Paulo, 2020.

MARENCO, J. A. et al. *Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro*. In: Medeiros SS, Gheyi HR, Galvão CO, Paz VPS, organizadores. *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas Campina Grande*: Instituto Nacional do Semiárido; p.384-422. 2011.

MEYER, S.C., DZIEGIELEWSKI, B., ZHANG, Z., ABRAMS, D. e KELLY, W.R. *Water demand in the Rock River water supply planning region, 2010-2060*. Illinois State Water Survey. Prairie Research Institute University of Illinois at Urbana-Champaign. 2019.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento*. Brasília, dezembro de 2019.

PMBC. *Base científica das mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas* [T. Ambrizzi, & M. Araújo, (Orgs.)]. Rio de Janeiro: COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014a.

SCHLEICH, J. e HILLENBRAND, T. Determinants of water demand in Germany. *Ecological Economics*, vol 68, p. 1756-1769, 2009.

TORRES, R. R. *Qual é o conhecimento disponível hoje e quais informações ainda faltam para São Paulo*. Dezembro/2016. In: DI GIULIO, G. M. et al. *Relatório Técnico-Científico Workshop Mudanças climáticas e o processo decisório na megacidade de São Paulo: análise das discussões promovidas, 2016-2017*.

WENTZ, E.A. e GOBER, P. Determinants of Small-Area Water Consumption for the City of Phoenix, Arizona. *Water Resource Management*, vol 21, p. 1849–1863, 2007.

XAVIER, A. C. et al. *Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013)*. *Int. J. Climatol* 36: 2644-2659. 2015 .

XAVIER, A. C. et al. *An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil*. In: ANAIS DO SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Campinas, GALOÁ, 2018.

WOOLDRIDGE, W. *Introdução à econometria: uma abordagem moderna*. Editora Thompson, São Paulo, 2006.

Anexo metodológico

Anexo 1

Estimativa da taxa de poupança / investimento

As estimativas de taxa de poupança / investimento municipal levaram em consideração cinco bases de dados:

- Contas Nacionais de 2002 a 2017
- Contas Municipais de 2002 a 2017
- Censo Demográfico de 2010
- Relatório Anual de Indicadores Sociais (RAIS), do Ministério da Economia
- Censo Agropecuário 2000 e 2017

A formação bruta de capital fixo do Brasil foi decomposta por município por meio de suas três principais componentes: (i) investimentos em obras (construção); (ii) investimentos máquinas e equipamentos; e (iii) formação de rebanhos. O valor nacional de cada uma dessas componentes foi distribuídos entre os municípios empregando como fatores:

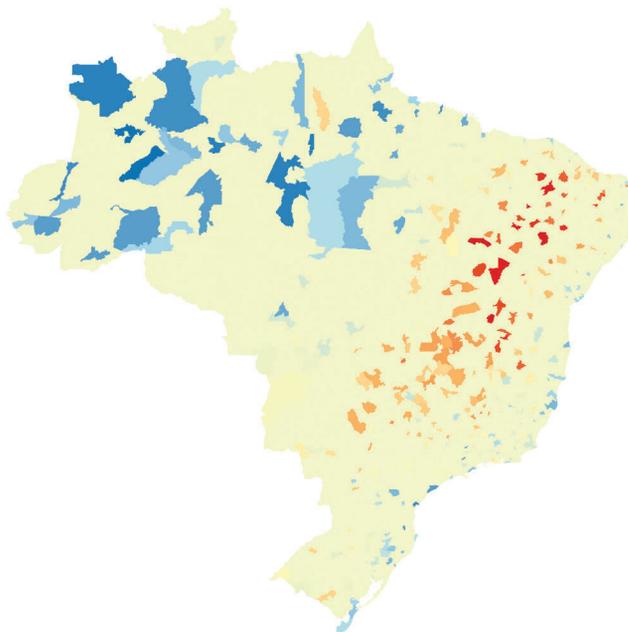
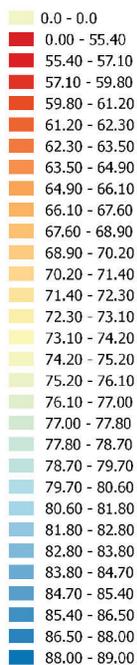
- (i) O peso da construção civil em cada cidade, por meio da folha de pagamentos de trabalhadores formais e informais da construção;
- (ii) A distribuição das instalações industriais, de comércio e serviços, conforme a parcela dos empregados ocupados nessas atividades; e
- (iii) A participação de cada cidade na variação do rebanho (bovinos, bufalinos, suínos, aves etc.)

A taxa de poupança / investimento é a razão entre a soma dessas três componentes da formação bruta de capital fixo em cada cidade pelo PIB médio do período de 2002 a 2017 das cidades brasileiras.

Anexo 2

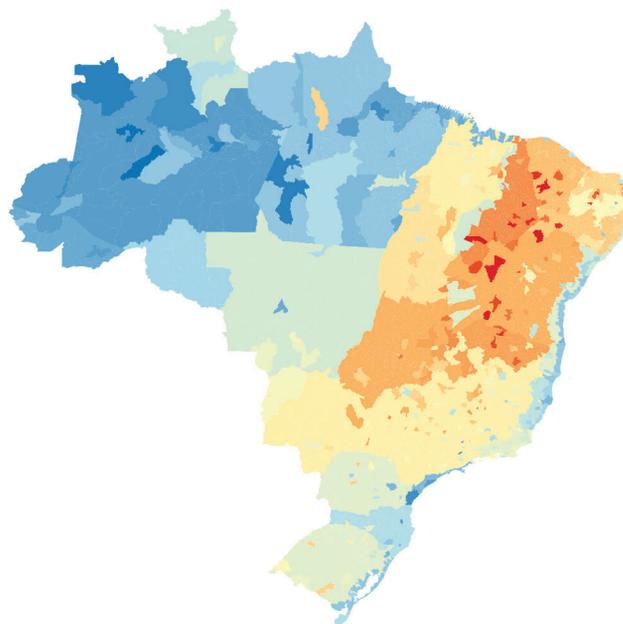
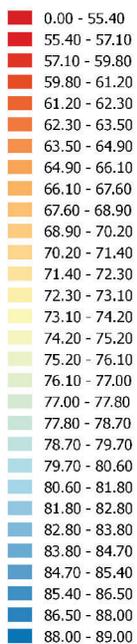
Mapa 1.A
Umidade relativa do ar nos municípios brasileiros

Legenda



(A) Municípios com estações de medições pelo INMET

Legenda



(B) Estimativas para todos os municípios brasileiros



Apoio institucional

