



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

Glorgia Barbosa de Lima de Farias

Governança das águas subterrâneas diante das mudanças climáticas e a importância da gestão integrada das águas: um estudo sobre o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG

Florianópolis
2023

Glorgia Barbosa de Lima de Farias

Governança das águas subterrâneas diante das mudanças climáticas e a importância da gestão integrada das águas: um estudo sobre o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Doutora em Geografia.

Orientador: Prof. Luiz Fernando Scheibe, Dr.

Florianópolis

2023

Farias, Glorgia Barbosa de Lima de

Governança das águas subterrâneas diante das mudanças climáticas e a importância da gestão integrada das águas : Um estudo sobre o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral - SAIG/SG / Glorgia Barbosa de Lima de Farias ; orientador, Luiz Fernando Scheibe, 2023.

154 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

1. Geografia. 2. Águas subterrâneas. 3. Mudanças climáticas. 4. Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral. 5. Governança das águas. I. Scheibe, Luiz Fernando. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

Glorgia Barbosa de Lima de Farias

Governança das águas subterrâneas diante das mudanças climáticas e a importância da gestão integrada das águas: um estudo sobre o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG

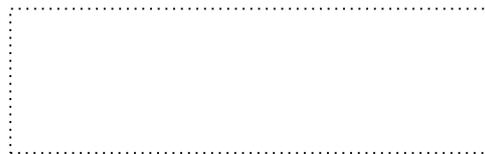
O presente trabalho em nível de Doutorado foi avaliado e aprovado, em 06 de setembro de 2023, por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Arthur Schmidt Nanni, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof Lindberg Nascimento Júnior, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Jairo Marchesan, Dr.
Universidade do Contestado

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Doutora em Geografia.



Coordenador do Programa de Pós-Graduação



Prof. Luiz Fernando Scheibe, Dr.
Orientador

Florianópolis, 2023.

Dedico este trabalho às minhas filhas, Gabriela e Isabela,
e ao meu companheiro Rafael.

AGRADECIMENTOS

Uma tese de doutorado, materializada após um longo período de pandemia e que contou com a compreensão e apoio de várias pessoas, demanda muitos agradecimentos. Desta forma ressalto abaixo os meus sinceros agradecimentos àqueles que foram fundamentais para a produção deste conhecimento:

Aos meus pais, Maria Olívia Barbosa de Lima e Antônio Noé C. de Farias, por terem possibilitado o início da minha caminhada acadêmica, pelo suporte e carinho ao longo da vida.

À Universidade Federal de Santa Catarina, através do Programa de Pós-Graduação em Geografia. Aos professores e colegas do Curso de Pós-Graduação em Geografia da UFSC e aos colegas pesquisadores do Projeto REDE GUARANI/SERRA GERAL, pelos conhecimentos repassados.

Ao professor Luiz Fernando Scheibe por ter acreditado em mim e na minha proposta de pesquisa; pela compreensão e carinho em todos os momentos de dificuldade; pelas conversas, pelos melhores e-mails que um orientador poderia enviar, pelos ensinamentos e pela disponibilidade de tempo para me guiar.

À professora Rosemy Nascimento, que proporcionou as melhores aulas sobre recursos didáticos e me fez ter ainda mais certeza da escolha profissional que fiz ao me tornar professora.

À amiga Claudenice de Freitas, que esteve desde o início das nossas aulas no PPGG de mãos dadas comigo, dando força e acreditando que esta tese seria um dia materializada: agradeço pelas conversas, pelas mensagens de suporte, pelas risadas, mas principalmente por ter entrado em minha vida.

Em especial à minha família, por entenderem a importância desta tese e do meu trabalho, não só para mim como para todos nós. Ao meu companheiro Rafael Almeida Flores por todo o suporte, antes, durante e certamente após a defesa; agradeço por ter aceito o desafio de mudar para o outro lado do país para que pudéssemos fazer nossos doutorados, pelas conversas, pelo incentivo e pela disponibilidade. Às minhas meninas, Gabriela Farias Flores e Isabela Farias Flores, que vivenciaram intensamente a produção desta pesquisa, e que são a minha maior motivação pessoal e profissional.

“Um país que não produz conhecimento, que persegue seus professores e pesquisadores, que corta bolsas de pesquisas e nega o ensino superior à maioria de sua população está condenado à pobreza e a eterna submissão”

(Luiz Inácio Lula da Silva - LULA)

RESUMO

O estudo de temas aparentemente muito distantes entre si, como é o caso das mudanças climáticas e das águas subterrâneas, tem se mostrado fundamental para a definição de medidas, planos e ações que busquem a manutenção dos aquíferos ao redor do mundo. No caso do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG), a compreensão das influências climáticas é de suma importância, uma vez que se trata de um recurso estratégico não só para o Brasil como para outros países da América do Sul, especialmente nos períodos de pouca chuva e até mesmo de seca. Neste sentido, a pesquisa objetivou evidenciar os impactos das mudanças climáticas globais sobre as águas subterrâneas, especialmente sobre o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina. A pesquisa sistemática da bibliografia e análise dos resultados de pesquisas sobre tendências climáticas, da vulnerabilidade do SAIG/SG e da governança da água em Santa Catarina evidenciou as tendências na variabilidade climática no estado, descreveu as implicações das mudanças climáticas globais na intensificação do uso de água subterrânea e na recarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral, destacou as lacunas existentes na governança das águas subterrâneas do SAIG/SG em Santa Catarina no que se refere às políticas climáticas para a região, e discutiu as perspectivas futuras para a gestão integrada dos recursos hídricos diante das mudanças climáticas globais. Os resultados mostraram que os desflorestamentos na Amazônia e os fenômenos El Niño e La Niña podem ser os responsáveis por exercer influências sobre os eventos de seca mais intensa no Meio-Oeste catarinense. Entretanto, ainda existem incertezas, principalmente no que se refere às interações climáticas e características dos aquíferos que devem ser melhor estudadas. É fundamental para a governança das águas subterrâneas em Santa Catarina que se considere como foco de ação o investimento em produção de conhecimento sobre as suas águas subterrâneas. A falta de dados relacionados ao sistema de recarga, as incertezas com relação à escolha de indicadores e a indisponibilidade de modelos preditivos dos efeitos de longo prazo, são problemas ainda limitantes aos estudos que buscam relacionar as mudanças climáticas e a variedade de atividades humanas com os sistemas de águas subterrâneas, impossibilitando um planejamento objetivo para a gestão das águas, sem melhor compreensão das suas características naturais e das implicações que as intervenções antrópicas podem causar sobre as mesmas.

Palavras-chave: Águas subterrâneas; Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral; Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

The study of apparently very distant themes, such as Climate Change and groundwater, has proven to be fundamental for the definition of measures, plans and actions that seek to maintain aquifers around the world. In the case of the Guarani/Serra Geral Integrated Aquifer System (SAIG/SG), the understanding of these influences is of utmost importance, since it is a strategic resource not only for Brazil but also for other South American countries, especially during periods of drought. In this sense, the research aimed to highlight the probable impacts of global climate change on groundwater, especially on the Guarani/Serra Geral Integrated Aquifer System in Santa Catarina. A systematic search of the bibliography and analysis of the results of research on climate trends, the vulnerability of SAIG/SG and water governance in Santa Catarina, highlighted the trends in climate variability in the state of Santa Catarina, described the implications of global climate change on the intensification of groundwater use and recharge of the Guarani/Serra Geral Integrated Aquifer System, as well as the existing gaps in groundwater governance of the SAIG/SG in Santa Catarina with respect to climate policies for the region, and discussed future prospects for integrated water resource management in the face of global climate change. The results show that deforestation in the Amazon and the El Niño and La Niña phenomena may be responsible for exerting influences on more intense drought events in the Midwest of Santa Catarina, however, there are still uncertainties, especially regarding climate interactions and aquifer characteristics that must be better studied. It is fundamental for the governance of groundwater in Santa Catarina that investment in the production of knowledge about it is considered a focus for action. The lack of data related to the recharge system, the uncertainties regarding the choice of indicators, and the unavailability of predictive models for long-term effects are problems that still limit the studies that seek to relate climate change and the variety of human activities with the groundwater systems. Making objective planning for water management impossible to plan without understanding its natural characteristics and the implications that anthropic interventions can cause on these waters.

Keywords: Groundwater; Guarani/Serra Geral Integrated Aquifer System; Climate Change.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo em Santa Catarina	16
Figura 2. Localização do SAIG/SG.....	19
Figura 3. Fluxograma das etapas da pesquisa.....	32
Figura 4. Esquema para a recarga de aquíferos	37
Figura 5. Diagrama de tópicos relacionados e influentes à relação entre disponibilidade de águas subterrâneas e mudanças climáticas.	45
Figura 6. Registros de estiagem e seca no Estado de Santa Catarina de 1991 a 2012	52
Figura 7. Mapas da seca no estado de Santa Catarina – ano 2020.....	54
Figura 8. Mapas da seca no estado de Santa Catarina – ano 2021.....	55
Figura 9. Mapas da seca no estado de Santa Catarina – ano 2022.....	55
Figura 10. Anomalia de chuva entre junho de 2019 e maio de 2020 em Santa Catarina.	56
Figura 11. Formação dos Rios Voadores e seu percurso pelo continente.	58
Figura 12. Taxas de desflorestamento da Amazônia brasileira.....	59
Figura 13. A) Tendências anuais da temperatura mínima do ar em Santa Catarina, B) tendências anuais da temperatura máxima do ar em Santa Catarina considerando a série histórica de cada localidade	61
Figura 14. Tendências anuais da temperatura mínima e máxima para as localidades de Videira e Florianópolis respectivamente.....	62
Figura 15. Principais riscos regionais e potenciais de redução de riscos.....	69
Figura 16. Estrutura da vulnerabilidade às mudanças climáticas, incluindo componentes tangíveis e intangíveis.	71
Figura 17. Estrutura de impactos das mudanças climáticas.	72
Figura 18. Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas aos impactos das Mudanças Climáticas.....	74
Figura 19. Perfil de usuários de água subterrânea no Brasil.....	85
Figura 20. Situação do enquadramento nos planos de recursos hídricos em SC. ...	112
Figura 21. Linha do tempo - Legislação sobre a gestão de águas subterrâneas	121

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Temas e principais referências utilizadas.....	26
Quadro 2. Critérios utilizados para avaliação da governança das águas subterrâneas	30
Quadro 3. Síntese das observações de autores sobre a relação das mudanças climáticas e águas subterrâneas	43
Quadro 4. Reportagens sobre os eventos de seca e estiagem no estado de Santa Catarina.....	52
Quadro 5. Síntese dos principais tópicos abordados no capítulo.....	78
Quadro 6. Legislação sobre a Gestão de Águas Subterrâneas	113
Quadro 7. Principais problemas e propostas de ações estratégicas para a Gestão Integrada das águas.....	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
ARESC	Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina
ARIS	Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento de Santa Catarina
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas em Desastres da Universidade Federal de Santa Catarina
CBH	Comitê de bacia Hidrográfica
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONSEMA	Conselho Estadual de Meio Ambiente de Santa Catarina
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (Atual Serviço Geológico do Brasil)
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PEA/SAG	Plano Estratégico de Ação do Sistema Aquífero Guarani
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PSAG	Projeto Sistema Aquífero Guarani
SAIG/SG	Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral
SASG	Sistema Aquífero Serra Geral
SAG	Sistema Aquífero Guarani
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	PROBLEMA, PERGUNTA E HIPÓTESES	21
1.2	OBJETIVOS	23
1.2.1	Objetivo Geral	23
1.2.2	Objetivos Específicos	23
1.3	JUSTIFICATIVA	23
2	ELABORAÇÃO DA TESE	25
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA BIBLIOGRAFIA	27
2.2	ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS E DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA	28
2.3	ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO CLIMA E DA DEMANDA DE ÁGUA SOBRE O SAIG/SG	29
2.4	ANÁLISE DA GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM SANTA CATARINA	30
3	MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS	32
3.1	PRESSÕES SOBRE O SISTEMA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM UM CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	34
3.2	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS	36
3.3	SECAS E ESTIAGEM	45
3.4	VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM SANTA CATARINA	49
4	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: CARACTERÍSTICAS E PRESSÕES SOBRE O SISTEMA EM UM CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS	65
4.1	CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DOS AQUÍFEROS	66
4.2	VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DIFERENTES PERSPECTIVAS	70
4.2.1	A vulnerabilidade dos sistemas antrópicos às mudanças climáticas	71
4.2.2	A vulnerabilidade dos sistemas de águas subterrâneas	72
4.2.3	Vulnerabilidade das águas subterrâneas a partir dos impactos secundários das Mudanças Climáticas	75

4.3	MÉTODOS PARA ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS	79
4.3.1	Exemplos de aplicações dos métodos em pesquisas sobre a vulnerabilidade das águas subterrâneas	81
4.4	PRESSÕES SOBRE UM SISTEMA AQUÍFERO DIANTE DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS	84
4.4.1	Saneamento e o risco de contaminação das águas subterrâneas	86
4.4.2	Perfuração de poços e o risco de contaminação das águas subterrâneas	89
4.4.3	Agricultura e o risco de contaminação das águas subterrâneas	91
4.4.4	Capacidade adaptativa e sua importância frente aos impactos das mudanças climáticas na disponibilidade de água	93
4.4.5	Pressões sobre o SAIG/SG	94
4.5	CRESCIMENTO POPULACIONAL E A PRESSÃO SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	96
5	GOVERNANÇA	98
5.1	GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS	100
5.2	CONFLITOS PELA ÁGUA: CRISE HÍDRICA OU CRISE CIVILIZATÓRIA?	104
5.2.1	Participação da comunidade pelo direito às águas	109
5.3	GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM SANTA CATARINA	111
6	PERSPECTIVAS FUTURAS PARA A GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS	122
6.1	AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA A GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	125
7	CONCLUSÃO	130
	REFERÊNCIAS	134

1 INTRODUÇÃO

A preocupação relacionada com a segurança hídrica nas regiões sul e sudeste tem crescido no Brasil, principalmente depois das secas ocorridas desde o ano de 2014/2015 no sudeste do país, que levaram à sua caracterização como “crise hídrica” no estado de São Paulo, e no sul com a seca que atingiu principalmente os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina nos anos de 2018 a 2020 (Fernandes et al., 2021). Em Santa Catarina, Lopes e Rodrigues (2008) já destacavam os momentos de estiagem observados no período de 2002-2006. Bolson e Haonat (2016) destacam que os dados climatológicos e hídricos mostravam que o Oeste de Santa Catarina e o Oeste do Rio Grande do Sul apresentam acentuada vulnerabilidade hídrica, não apenas em termos de qualidade, como também de quantidade, levando à insegurança hídrica nessa região.

Bolson e Haonat (2016) afirmam que, embora a gestão das águas tenha como objetivo extinguir os problemas seculares, nos últimos anos a situação nas áreas de vulnerabilidade hídrica tem se agravado em função de um fator já reconhecido: as mudanças climáticas.

Bohn et al. (2014) destacam que existe consenso sobre a importância da água subterrânea enquanto recurso natural estratégico para se atingir os objetivos da Política Nacional de Recurso Hídricos – PNRH (Lei 9433 de 08 de janeiro de 1997), mas que tal reconhecimento não era evidente inicialmente, já que a própria PNRH colocou em destaque no seu texto apenas a água superficial, e que somente em 2001 essa lacuna normativa a respeito das águas subterrâneas começou a ser complementada por meio de resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos - CNRH.

Com isso, a Agência Nacional de Águas ANA¹, juntamente com o Ministério da Integração Nacional (extinto em 1º de janeiro de 2019 e reinstituído em 2023 pelo atual governo Lula) e o Banco Mundial tornaram-se os responsáveis por elaborar o Plano Nacional de Segurança Hídrica – PNSH (Brasil, 2017). O PNSH foi lançado pela Agência Nacional de Águas – ANA em 2019 e contempla o Programa de Segurança Hídrica, que corresponde ao instrumento de planejamento executivo e dinâmico dos investimentos recomendados pelo PNSH para minimização do risco de escassez de

¹Atualmente, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA)

água e para o controle de cheias, associados às mudanças climáticas a médio e longo prazo (ANA, 2019).

De acordo com Santos (2016), a segurança hídrica considera a quantidade e a disponibilidade de água, bem como situações de vulnerabilidade associadas à água (secas e inundações e suas consequências); ademais, está relacionada com o acesso à água potável e à sustentabilidade do seu uso. Portanto, assegurar a oferta de água para o abastecimento de animais de todas as espécies, incluindo humanos, bem como para as atividades produtivas, e a gestão das águas com vistas ao enfrentamento de riscos associados a eventos climáticos são fundamentais para a segurança hídrica em todos os níveis de governança.

O termo “governança” é frequentemente utilizado quando se aborda as questões sobre a água, e é amplamente aceito que a “crise hídrica” (ou crise civilizatória) atual, na realidade, é uma crise de governança no setor da água (Ramos, 2017). De acordo com Turton et al. (2007), a governança “descreve a relação entre as pessoas, a interação entre elas e o contexto ambiental, e os princípios, regras e normas que são criados para orientar essas interações”. Observa-se, contudo, que os aspectos ambientais fundamentais para as atividades humanas, geralmente, não recebem a atenção que seria fundamental para a manutenção dos ecossistemas e para a preservação da qualidade ambiental.

A Gestão Integrada de Recursos Hídricos é complementar à governança e segundo Brasil (2015), corresponde a um processo que visa promover de forma coordenada o desenvolvimento e a gestão das águas, do uso do solo e afins, com a finalidade de maximizar o bem-estar econômico e social - sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas e do meio ambiente, em um cenário que contemple vontade política, instituições sólidas e uma abordagem técnica, econômica e social inclusiva.

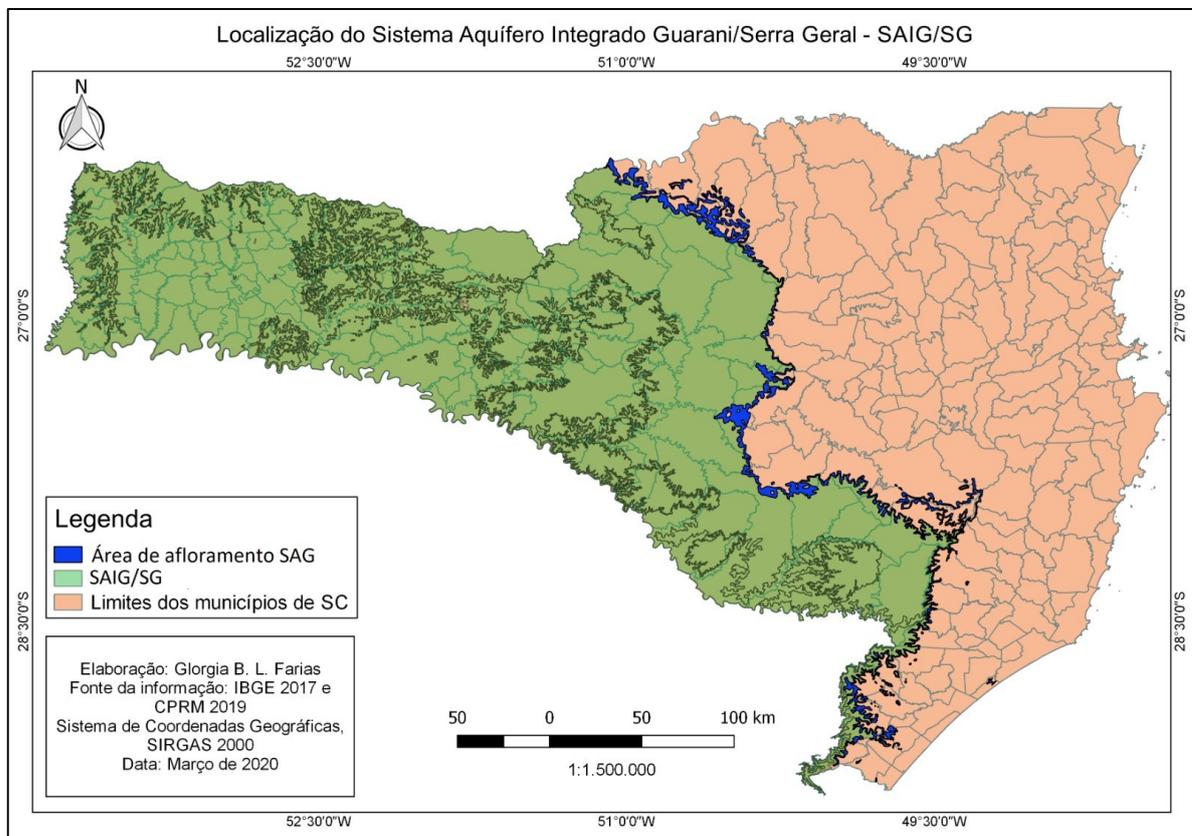
A gestão integrada sustentável das águas deve considerar o aproveitamento dos recursos existentes em um determinado ecossistema, tanto para satisfazer as necessidades básicas como para o desenvolvimento das atividades econômicas, assegurando a preservação e conservação dos recursos, em quantidade e qualidade adequadas (Matus et al., 2004). Observa-se a importância da necessidade da gestão integrada sustentável das águas, não apenas entre Estados ou nações, mas com o objetivo de pensar o recurso hídrico como um bem fundamental para as diferentes

populações, para os ecossistemas e para os seres vivos que os constituem, bem como para a economia.

Com base neste cenário, constata-se a importância de se desenvolver a gestão integrada sustentável do Sistema Aquífero Integrado Guarani Serra Geral - SAIG/SG, responsável por disponibilizar água para a população e também para as atividades produtivas da sua região de influência. Além disso, a importância dessa gestão integrada se mostra, principalmente, pela manutenção da perenidade das águas da grande Bacia Hidrográfica do Rio da Prata e seus ecossistemas, não apenas no Brasil como em outros países da América do Sul.

O objeto de estudo desta pesquisa é o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG (Scheibe e Hirata, 2008), tendo como recorte a sua área de abrangência no estado de Santa Catarina, sul do Brasil (Figura 1), compreendendo uma área de 48.320 km² entre as latitudes 26°14'S e 29°18'S e as longitudes 49° 27'W e 53° 51'W.

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo em Santa Catarina



Fonte: Autora, 2020.

Santa Catarina é composto por 295 municípios, com uma população de 7,6 milhões de habitantes, em uma área de 95.730,690 km² e densidade demográfica de 79,49 hab/km² (IBGE, 2022). Situam-se sobre o SAIG/SG 158 municípios (54% do total), compreendendo mais de 1,6 milhões de habitantes, equivalentes a aproximadamente 28% da população do estado.

Desses 158 municípios catarinenses, 28 encontram-se em áreas de afloramento do **Sistema Aquífero Guarani**, permitindo a sua recarga direta pelas águas das chuvas, o que, porém, torna ali o reservatório subterrâneo muito mais vulnerável à poluição e contaminação. Já o **Sistema Aquífero Serra Geral** aflora em todos os demais municípios da área de ocorrência, e por estar acima do Guarani, funciona como uma 'capa protetora' do SAG, mas é diretamente vulnerável aos poluentes e contaminantes (Stallbaum et al., 2018).

O estado de Santa Catarina compreende três grandes Regiões Hidrográficas – a Região Hidrográfica do Paraná, a Região Hidrográfica do Uruguai e a Região Hidrográfica Atlântico Sul. No estado, a Serra Geral se apresenta como o principal divisor de águas que formam dois sistemas independentes de drenagem do território: o sistema integrado da Vertente do Interior e o sistema da Vertente Atlântica (Santa Catarina, 2016).

A rede hidrográfica catarinense possui um total de 18 Bacias Hidrográficas consideradas de rios principais, sendo estas: Rio das Antas, Rio Canoinhas, Rio Chapecó, Rio Jacutinga, Rio Irani, Rio do Peixe, Rio Timbó, Rio Araranguá, Rio Biguaçu, Rio Cubatão (norte), Rio Cubatão (sul), Rio D'una, Rio da Madre, Rio Itajaí, Rio Itapocu, Rio Tubarão, Rio Tijucas e Rio Urussanga. O estado catarinense foi subdividido em 10 Regiões Hidrográficas (RH), compostas por no máximo 3 bacias hidrográficas (contíguas, afins e consideradas principais). As bacias da **Vertente do Interior** integram cinco Regiões Hidrográficas: Extremo Oeste, Meio Oeste, Vale do Rio do Peixe, Planalto de Lages e Planalto de Canoinhas. As demais Regiões Hidrográficas fazem parte da **Vertente Atlântica**: Baixada Norte, Vale do Itajaí, Litoral Centro, Sul Catarinense e Extremo Sul Catarinense (Santa Catarina, 2016).

Santa Catarina apresenta clima subtropical úmido mesotérmico, que varia de 0°C no inverno em zonas altas a 35°C no verão na região litorânea (Gotardo et al., 2018). As unidades de relevo compreendem a **Planície Costeira**, que contempla toda a faixa litorânea do estado e está dividida em três geofácies: Planície Norte, Planície Central e Planície Sul; as **Serras Cristalinas**; formadas pelo Escudo Catarinense e

que conta com três geofácies: Serra do Mar, Mar de Morros e Serra do Tabuleiro; o **Planalto Sedimentar Gonduânico**, que conta com quatro geofácies: Planalto do Mafra, Alto Vale do Rio Iajaí-Açú, Planalto de Lages e Bacia Carbonífera; a **Escarpa da Serra Geral**, geossistema que se encontra na borda oriental da bacia do Paraná; e o **Planalto Arenito-Basáltico**, referente aos geossistemas Planalto dos Campos Gerais que apresenta dois geofácies: o Planalto Central e a Serra do Chapecó; e o Planalto dos rios Iguaçu e Uruguai, que apresenta quatro geofácies: Planalto Setentrional, Médios Vales dos rios Canoas e Pelotas, Vale do Rio do Peixe e Planalto Ocidental. Cada unidade possui uma cobertura vegetal específica (Santa Catarina, 2016).

O Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG está inserido nas Regiões Hidrográficas do Extremo Oeste, Meio Oeste, Vale do Rio do Peixe, Planalto de Lages e Planalto de Canoinhas e os principais Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs) que gerenciam as regiões hidrográficas supracitadas são os CBHs do Rio das Antas, dos Rios Chapecó e Irani, do Rio Jacutinga e Contíguos, do Rio do Peixe, do Rio Canoas, do Rio Timbó, do Rio Itajaí, do Rio Canoinhas, do Rio Tubarão e do Complexo Lagunar e do Rio Araranguá (Amaral, 2018).

O SAIG/SG é constituído por dois sistemas aquíferos: o Serra Geral e o Guarani. De acordo com Descovi Filho (2016) é necessário o estudo integrado desses dois sistemas aquíferos devido à conectividade entre eles, que se dá através de grandes fraturas e falhamentos, que permitem o fluxo descendente e ascendente das águas através dos sistemas. Na sequência será feita uma breve apresentação das características particulares de cada sistema aquífero, entretanto, cabe ressaltar a importância de se observar e analisar esses sistemas de forma integrada.

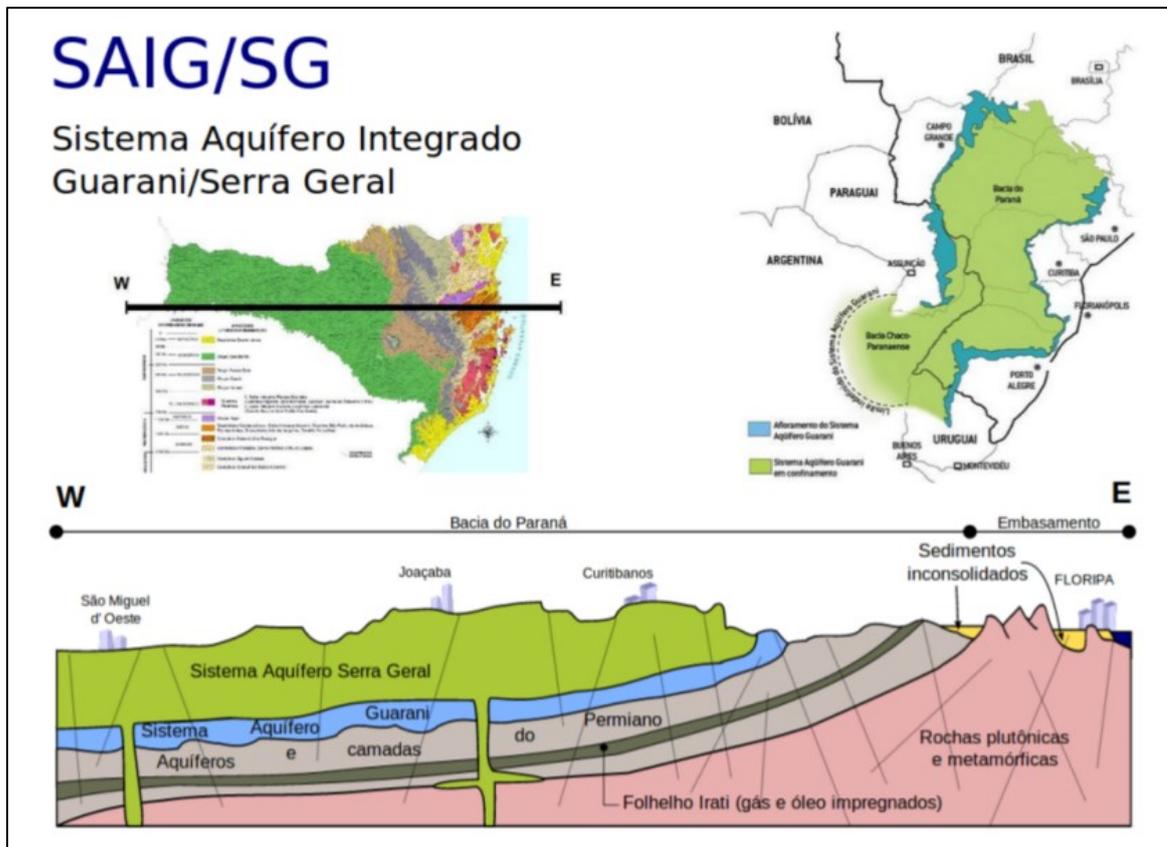
O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é composto pelas rochas da Formação Pirambóia e Formação Botucatu (REDE GUARANI/SERRA GERAL, 2020). Localiza-se no centro-leste da América do Sul entre as coordenadas 12° e 35° de latitude sul e 47° e 65° de longitude oeste. Compreende uma área total de 1.087.879 km², em que 228.255km² (20,98%) estão na Argentina, 735.918km² (61,65%) no Brasil, 87.536km² (8,05%) no Paraguai e 36.170km² (3,32%) se encontram no Uruguai (OEA, 2009).

No estado de Santa Catarina o Aquífero Guarani é constituído principalmente pelos arenitos avermelhados, finos e médios com estratificação cruzada típica das dunas do deserto de Botucatu. Sua área de afloramento ocorre em estreita faixa da porção central e estende-se em subsuperfície para o oeste do estado, ocupando uma

área de 49.200 km². Nas partes mais profundas pode apresentar elevação nos níveis de salinidade ou de flúor, o que compromete a sua potabilidade ou seu uso para irrigação; suas águas adquirem, contudo, de 35°C até mais do que 58 °C, compatíveis com o uso em estâncias termais ou em agroindústrias (STALLBAUM et al, 2018, p. 65).

Já o Sistema Aquífero Serra Geral – SASG é composto pelas rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral (REDE GUARANI/SERRA GERAL, 2020). Em Santa Catarina, compreende cerca de 48.320 km² e se estende desde a região central do estado até o extremo oeste, chegando à Argentina; ao sul adentra pelo estado do Rio Grande do Sul e ao norte, pelo estado do Paraná. (Figura 2).

Figura 2. Localização do SAIG/SG.



Fonte: elaboração de Arthur Schmidt Nanni

O Sistema Aquífero Serra Geral está subdividido em SASG 1 e SASG 2. O primeiro é constituído de basaltos (pedra-ferro) e outras rochas vulcânicas de idade jurássica (120-130 Ma), depositadas durante o processo de abertura entre América do Sul e a África. Ao resfriarem, adquiriram estruturas características, como

fraturamento vertical e horizontal, ou pequenas cavidades, algumas das quais preenchidas por minerais como calcita, zeólitas, quartzo e ametista. É nessas estruturas e nas fraturas tectônicas que se encontra a água, geralmente de boa qualidade para todos os usos. O SASG 2 tem menos fraturas de resfriamento - por isso sua potencialidade como aquífero geralmente é bem menor, dependendo exclusivamente das fraturas tectônicas (Stallbaum et al, 2018, p. 66).

Pela sua característica física e abrangência, o SASG se apresenta como um importante reservatório de águas subterrâneas, sendo utilizado em grande parte de sua área de ocorrência. É o principal reservatório de águas subterrâneas para uso imediato do SAIG/SG nas regiões sudeste, central e oeste do Estado de Santa Catarina, norte e noroeste do Rio Grande do Sul, oeste do Paraná e centro-oeste de São Paulo, além do Sul do Mato Grosso do Sul e parte de outros estados e países da América do Sul incluídos na Bacia Sedimentar do Paraná (Descovi Filho et al., 2016).

No estado de Santa Catarina o SASG tem sido intensivamente utilizado para enfrentar problemas de abastecimento de água nas áreas urbanas e rurais, uma vez que os períodos de estiagem e os processos de contaminação impactam negativamente os recursos hídricos superficiais e subterrâneos (Freitas et al., 2003).

Em termos de vulnerabilidade natural, o Aquífero Guarani está mais protegido, em comparação com o Aquífero Serra Geral. Isso ocorre porque a área de afloramento do SAG é mais limitada, enquanto o SASG se encontra na superfície, 'protegido' apenas pelo solo em quase 50% do território catarinense. Sendo assim, a possibilidade de contaminação do SASG depende, basicamente do uso da terra (florestal, agrícola, industrial e urbano) (Stallbaum et al., 2018).

De acordo com o Programa Estratégico de Ação do SAG da OEA (2009), a contaminação do aquífero Guarani, quando ocorre, é detectada em poços pouco profundos e que apresentam falhas em sua construção. Outra forma de contaminação desse aquífero é nas áreas de afloramento e em áreas próximas (zonas de basalto fraturado, com possibilidade de contaminação vinda da superfície), nas quais a vulnerabilidade costuma ser maior. Dessa forma, pode-se afirmar que a vulnerabilidade natural nas áreas confinadas é inexpressiva.

1.1 PROBLEMA, PERGUNTA E HIPÓTESES

A governança das águas subterrâneas tem como objetivo manter a funcionalidade, a longo prazo, dos sistemas aquíferos (GROUNDWATER GOVERNANCE, 2012). Entretanto, para alcançar esse objetivo é necessária a intervenção dos diferentes atores sociais no sentido de minimizar os problemas decorrentes de atividades produtivas e de ações humanas que tenham o potencial de causar danos às águas superficiais e subterrâneas.

Santa Catarina é um estado brasileiro com grande produção de alimentos ou *commodities* agropecuárias, e desde 1975 tem aumentado a produção de suínos e de aves (Lopes; Scheibe, 2010), além de laticínios nas últimas décadas. Embora as atividades pecuárias e agrícolas sejam o grande “motor” da economia catarinense, responsável em 2009 por cerca de 60% das exportações e em 2019 por 68,3% das exportações (EPAGRI/CEPA, 2009 e 2019), são também atividades que implicam num significativo potencial de poluição, ao gerarem grande quantidade de dejetos, além de empregarem a utilização de fertilizantes e agrotóxicos na sua cadeia produtiva.

Outro aspecto preocupante é o serviço de esgotamento sanitário ainda deficitário no estado. No que se refere à distribuição de água, todos os municípios do estado têm rede de distribuição, em que são distribuídos 1.545.255m³ de água tratada diariamente (IBGE, 2017). Entretanto, os dados do IBGE mostram que apenas 131 dos 295 municípios catarinenses têm rede de coleta de esgoto sanitário. A rede coletora de esgoto compreendia, então, 5474 km, com um volume total de 264.150m³ de esgotos tratados por dia (ou seja, 17% da água distribuída).

A partir dos anos de 1980 Santa Catarina registrou um agravamento dos índices de qualidade das águas superficiais, decorrente das características dos tipos de uso do solo. Com essa realidade, usuários da água passaram a recorrer gradativamente à extração de águas subterrâneas para suprir as necessidades de abastecimento (FATMA, 1986; apud Lopes, 2012).

Esse uso intensificado da água subterrânea pode causar alterações significativas no ciclo hidrológico e assim agravar a já existente “crise hídrica” (ou crise civilizatória) na região (Ramos, 2017). Em curto prazo, a superexploração dos aquíferos pode trazer benefícios suprimindo a demanda existente. No entanto, as

consequências a médio e longo prazo podem ser desastrosas e potencialmente irreversíveis, prejudicando o potencial produtivo regional (Villar, 2015).

Destacam-se dificuldades apontadas por alguns autores em relação aos aquíferos em questão, com destaque para as características intrínsecas de cada aquífero, além da dificuldade em estimar e/ou definir a disponibilidade de água nos mesmos em médio e longo prazo.

Ademais, observa-se a dificuldade no planejamento da gestão do SAIG/SG, bem como a grande demanda pelo uso das águas subterrâneas pela população, considerando que este recurso demanda recarga e seu uso pode ficar comprometido. Scheibe et al. (2013) ressaltam que embora o volume de água armazenada seja imenso, existem restrições quanto ao volume de água explorável do Sistema Aquífero Guarani, devido às características geométricas das camadas e hidráulicas da rocha. Assim, a exploração nas zonas mais profundas seria do tipo “mineração não renovável”, em função da impossibilidade de renovação da água em um período “condizente com novo aproveitamento dentro do atual processo civilizatório” (Foster et al. (2011). Embora a “mineração da água” possa ser considerada socialmente aceitável, é necessária a gestão adequada desse recurso (Foster e Hirata, 2009).

Observam-se ainda aspectos climáticos que podem agravar a situação hídrica na região de ocorrência do SAIG/SG e impactar o sistema aquífero tanto com relação a sua recarga como em relação ao aumento da sua exploração diante de situações de estiagens prolongadas, conforme tem se observado nas últimas duas décadas.

Considerando a realidade atual de utilização das águas no estado de Santa Catarina e as perspectivas futuras que são discutidas na literatura, a pergunta que se impõe é: Como as políticas ambientais têm conduzido, diante dos cenários de mudanças climáticas, a gestão integrada das águas na área de ocorrência do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral - SAIG/SG e quais seriam as perspectivas para o futuro?

Esse questionamento leva às seguintes hipóteses:

- As mudanças climáticas podem levar a situações de estiagem mais intensas e prolongadas no meio Oeste de Santa Catarina, o que poderá impactar na disponibilidade de água superficial e consequente aumento da demanda por água subterrânea, bem como na diminuição da capacidade de recarga do SAIG/SG;

- As políticas ambientais existentes no Brasil, especificamente no estado de Santa Catarina, não são capazes de lidar com os efeitos negativos das mudanças

climáticas no curto, médio e longo prazo, especialmente no que se refere à gestão das águas subterrâneas e sua importância enquanto recursos estratégicos.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é: Analisar pesquisas sobre as tendências climáticas, da vulnerabilidade do SAIG/SG e da governança da água em Santa Catarina, evidenciando os prováveis impactos das mudanças climáticas globais sobre as águas subterrâneas, especialmente sobre o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Evidenciar as tendências na variabilidade climática no Estado de Santa Catarina.
- b) Descrever as implicações das mudanças climáticas globais na intensificação do uso de água subterrânea e na recarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral.
- c) Destacar as lacunas existentes na governança das águas subterrâneas do SAIG/SG em Santa Catarina no que se refere às políticas climáticas para a região.
- d) Discutir as perspectivas futuras para a gestão integrada das águas diante das mudanças climáticas globais.

1.3 JUSTIFICATIVA

A pesquisa justifica-se pela importância da água para a manutenção dos ecossistemas e para o desenvolvimento das diferentes sociedades, tanto em termos de consumo humano, como para produção e sanitização. Estudar o gerenciamento das águas a partir do olhar da sustentabilidade é fator primordial na atual conjuntura ambiental e socioeconômica. A crescente demanda da sociedade por água leva à ocorrência de forte pressão sobre os corpos hídricos.

O mérito da pesquisa está na busca pela integração de temáticas que, embora muito próximas, são frequentemente colocadas em setores diferentes por parte dos governos e da sociedade. Pensar a gestão sustentável das águas considerando as implicações das mudanças climáticas é um desafio. Entretanto, é fundamental que os planos de gerenciamento das águas, os planos de bacias hidrográficas, pesquisas e estudos não sejam elaborados com a perspectiva de atender apenas a geração atual, mas aquelas que estão por vir - as quais terão que lidar, mais fortemente, com as prováveis implicações das alterações climáticas, tais como a intensificação das secas e inundações.

Nesse contexto, a pesquisa contempla pelo menos seis dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS/ONU: ODS 6 - Garantia da disponibilidade de água potável e saneamento para todos; ODS 11 - tornar cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis; ODS 12 - garantia de padrões de consumo e de produção sustentáveis; ODS 13 - adoção de medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos; ODS 14 - preservação da vida marinha; ODS 15- proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda da biodiversidade.

Aplicar esta temática ao Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG é interessante, necessário e urgente, tanto pela sua abrangência de 1.1 milhões de quilômetros quadrados, quanto pela sua importância socioeconômica e ambiental para a região sul e sudeste do Brasil, bem como para os países vizinhos (Paraguai, Argentina e Uruguai).

Diversos autores (Huang et al.,2017; Aslam et al.,2017; Boughariou et al., 2018) indicam que ainda existem limitações das informações acerca da vulnerabilidade das águas subterrâneas aos efeitos das futuras mudanças climáticas e do uso do solo diante de um conjunto de cenários climáticos futuros. Nesse sentido, destaca-se que as águas subterrâneas são um recurso importante para o fornecimento de água, e que se tornará ainda mais importante diante de condições climáticas mais adversas (Döll, 2009). Sendo assim, observa-se que as alterações do clima, tais como variações na temperatura, na evaporação e na precipitação, poderão levar a alterações nas águas subterrâneas; e as atividades antrópicas como a extração insustentável do recurso para irrigação e consumo humano, a emissão de poluentes e a urbanização poderão exacerbar essas alterações.

Evidencia-se a importância desta pesquisa através do ocorrido no ano de 2014 nas regiões Sul e Sudeste, e mais recentemente a partir do ano de 2018 com a forte estiagem ocorrida, pelo menos até 2021 em Santa Catarina e nas regiões Sul e Sudeste. Nesses eventos, a variabilidade climática através do menor índice pluviométrico na região, implicou em escassez de água para consumo, o que, juntamente com a expansão demográfica, resultou em uma situação de insegurança hídrica, perdas na produção e riscos à saúde da população. Portanto, o desenvolvimento de pesquisa que relacione a vulnerabilidade dos aquíferos às mudanças climáticas, à capacidade de resposta adaptativa, à demanda hídrica e à gestão das águas é fundamental para a elaboração de políticas, principalmente locais, que visem à utilização deste recurso a partir da perspectiva do desenvolvimento sustentável e da construção de ações integradas, integradoras e participativas.

2 ELABORAÇÃO DA TESE

A pesquisa tem caráter qualitativo, uma vez que “a compreensão dos conteúdos é mais importante do que sua descrição ou sua explicação”, ou seja, é mais importante desvendar os significados mais profundos do objeto estudado do que o que é instantaneamente aparente (Tozoni-Reis, 2009). É uma pesquisa na modalidade Bibliográfica/Documental, a qual é fundamentada na seleção de documentos, autores e obras para a produção do conhecimento, e tem como principal característica a coleta dos dados na própria bibliografia sobre o tema e sobre o objeto estudado.

A análise documental e da bibliografia, com foco na definição de alguns conceitos fundamentais para a pesquisa, buscou subsidiar a compreensão da pesquisadora acerca da relação entre os problemas atuais e futuros na gestão das águas do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG. Além disso, possibilitou compreender e discutir as interferências ou pressões que as mudanças climáticas poderão causar sobre o SAIG/SG. O Quadro 1 sintetiza as referências que abordam diferentes temáticas, pertinentes às discussões realizadas ao longo da pesquisa.

Quadro 1. Temas e principais referências utilizadas.

TEMA	AUTOR	ANO
Mudanças climáticas	PBMC	2014
	GONDIM	2010
	MARENGO	2009
	UNFCCC	2007, 2015
	BRAGA et al.	2006
	LAUKKONEN et al.	2009
	GIDDENS	2010
	IPCC	2007
	KUNDZEWICZ; DÖLL	2009
	LI e MAECHANT	2013
	HUANG et al.	2017
Águas subterrâneas	BRASIL (ANA)	2007
	BOSCARDIN BORGHETTI et al.	2004
	TUCCI	2009
	COSTA et al.	2007
	FEITOSA et al.	2008
	SCHEIBE; HIRATA	2008
	DÖLL	2009
	PEIXOTO E CAVALCANTE	2019
	STALLBAUM et al.	2018
	PEA/ SAG;	2009
	REDE GUARANI/SERRA GERAL;	2020
CPRM/MAPA HIDROGEOLÓGICO DE SC	2013	
Governança	HASSING et al.	2009
	BOHN et al.	2014
	BRASIL	1997
	VILLAR	2012, 2015,
	SILVA et al.	2016
	STEWART et al.	2017
	PÉREZ-SÁNCHEZ e SENENT-APARICIO	2013
	OECD	2015
	COMASSETO	2015
	RIBEIRO, W. C.	2015
	LEI DAS ÁGUAS 9433,	2011 e 2019
	Cap-Net UNDP,	1997
	WOLKMER et al.	2005 e 2020
	2012	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A pesquisa também se caracteriza como documental, uma vez que parte dos dados coletados está presente em documentos institucionais e de órgãos oficiais. Dessa forma, foram consultados documentos técnicos de instituições relacionadas com as temáticas abordadas, tais como: Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura - UNESCO, *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, *Food and Agriculture Organization* - FAO, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (Serviço Geológico do Brasil). O levantamento e a análise da bibliografia, bem como de documentos técnicos, foram desenvolvidos com

o intuito de auxiliar no alcance dos objetivos específicos e permearam todo o processo de pesquisa.

Nas seções seguintes serão detalhados os procedimentos utilizados para alcançar os objetivos propostos na pesquisa.

2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA BIBLIOGRAFIA

A revisão sistemática teve o intuito de selecionar documentos que pudessem auxiliar no alcance dos objetivos da pesquisa. De acordo com Vieira (2017) “a revisão sistemática busca elaborar uma síntese dos trabalhos existentes e codificá-los de forma qualitativa com o uso de algum critério”, em que são demonstradas as diferenças entre os estudos, os métodos, as definições de variáveis e outros elementos. Assim, objetiva realizar uma busca e análise qualitativa e interpretativa dos textos.

Primeiramente, a busca sistemática foi feita na base de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, uma vez que o tema da pesquisa é de caráter regional e local. Dessa forma, a utilização do Portal de Periódicos CAPES se justifica ao retornar mais resultados interessantes à pesquisa, relacionados diretamente com a área de estudo e no idioma português. Embora tenham retornado resultados de pesquisa em outros idiomas, o foco não coincidia com a área e objeto de estudo proposto. Por esses motivos ficou evidente o prevailecimento da base de dados CAPES em detrimento da base de dados SCOPUS.

No portal de Periódicos CAPES o mecanismo de busca contém as definições “qualquer”, “no título”, “como autor” e “no assunto” para a definição dos termos ou descritores. Além disso, os operadores são os seguintes:

- **contém**: atende a parte do termo, ou seja, palavras derivadas ou que contenham parte do termo definido podem ser incluídas nos resultados, exemplo: “aquifer” pode retornar “aquífero”;

- **é (exato)**: busca exatamente o termo na base de dados, por exemplo, o termo “Mudança Climática” retornará apenas documentos que contenham esse termo;

- **começa com**: busca como inicia o termo pesquisado, ou seja, o termo utilizado deverá aparecer no início do título dos documentos.

Foram também realizadas buscas sistemáticas na base de dados do Google Acadêmico, o qual, da mesma forma que a CAPES, disponibiliza definições para a busca dos termos:

- com **todas** as palavras: localiza documentos que contenham todas as palavras definidas na busca.

- com **a frase exata**: busca documentos que apresentem a frase ou termos na sequência em que foram definidos na busca.

- com **no mínimo** uma das palavras: encontra documentos com pelo menos um dos termos definidos na busca.

- **sem** as palavras: exclui os documentos que apresentem as palavras selecionadas.

Os termos localizados podem ser combinados utilizando-se os operadores booleanos "AND", "OR" ou "NOT", para compor a estratégia de busca. Entre termos distintos, o "AND" é usado para localizar estudos sobre os dois temas (intersecção); entre os sinônimos de um componente da busca, utiliza-se o "OR", recuperando-se artigos que abordam um ou outro tema (soma); e o operador "NOT" é utilizado para excluir um assunto da busca. Exemplo de termo de busca sistemática realizada no Google Acadêmico:

"Variabilidade climática" AND "Santa Catarina" AND "Oeste de Santa Catarina"
"Pluviosidade" AND "Temperatura"

2.2 ANÁLISE DAS TENDÊNCIAS CLIMATOLÓGICAS E DA VARIABILIDADE CLIMÁTICA

Com vistas a *Evidenciar as tendências na variabilidade climática no Estado de Santa Catarina*, foram analisadas as pesquisas referentes às tendências climatológicas no estado. Entre os estudos sobre a dinâmica climática do estado de Santa Catarina foi realizada a pesquisa com base nos trabalhos de Alves e Minuzzi (2018), Franke et al. (2017), Cardoso e De Quadro (2017), Alves et al. (2017), Spinelli et al. (2012). Para compreender a dinâmica das chuvas, fez-se necessário identificar a ocorrência de aumento, estabilidade ou diminuição das precipitações, ou seja, compreender a variabilidade das chuvas.

Pesquisas como as de Minuzzi (2010), Minuzzi e Lopes (2014), Minuzzi e Frederico (2017), Gotardo (2018), Minuzzi (2018) e Baptista e Severo (2018) buscaram analisar a variabilidade climática e a variabilidade no regime de chuvas em Santa Catarina. A análise dos resultados dessas pesquisas, juntamente com a análise dos resultados disponibilizados pelo mais recente relatório acessível do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC (2022) - possibilitaram a discussão acerca das expectativas climáticas futuras para a área de estudo.

2.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO CLIMA E DA DEMANDA DE ÁGUA SOBRE O SAIG/SG

Para Descrever como as mudanças climáticas globais podem influenciar na intensificação do uso de água subterrânea e na recarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral, foi feito o levantamento de informações acerca dos indicadores utilizados por pesquisadores para analisar os impactos das mudanças climáticas nas águas subterrâneas. Esse levantamento de informações ocorreu por meio de banco de dados e publicações do projeto Rede Guarani Serra/Geral; bem como através da pesquisa em artigos, teses e dissertações relacionados às temáticas: aquífero subterrâneo, Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral, poluição de aquíferos, vulnerabilidade de aquíferos às mudanças climáticas, variabilidade climática, mudanças climáticas, governança de águas subterrâneas, gestão sustentável das águas, gestão integrada de recursos hídricos, gestão de risco, entre outros que se fizeram pertinentes.

Em seguida foram realizadas pesquisas acerca dos dados sobre a demanda hídrica atual da área de estudo e do potencial de recarga do SAIG/SG. Esse levantamento foi realizado através das informações coletadas nos órgãos ambientais e de fornecimento de água para a população (CASAN).

A partir dos resultados da pesquisa realizada por REDE GUARANI/SERRA GERAL (2020) com a aplicação do método GOD para definição da vulnerabilidade física do SAIG/SG; da coleta de dados, por meio do IBGE, sobre crescimento populacional na região estudada; da coleta de informações acerca do saneamento por meio da Agência de Regulação de Serviços Públicos de Santa Catarina – ARESC, da Agência Reguladora Intermunicipal de Saneamento - ARIS e da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento – CASAN, bem como da busca por dados

referentes à perfuração de poços e uso das águas subterrâneas, espera-se identificar as perspectivas futuras em termos de variabilidade climática para a região e as pressões que os usuários dos aquíferos desenvolvem sobre os mesmos.

2.4 ANÁLISE DA GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM SANTA CATARINA

Para alcançar o objetivo “*Destacar as lacunas existentes na governança das águas subterrâneas do SAIG/SG em Santa Catarina no que se refere às políticas climáticas para a região*”, foram adotados como base os resultados da pesquisa desenvolvida por Goetten (2015). Na referida pesquisa foi utilizada uma metodologia adaptada de Foster et al. (2009), a qual foi aplicada pelo autor nos estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. A metodologia consiste na utilização de 20 critérios adaptados para a realidade brasileira e se baseia num *check-list* composto de vinte critérios de avaliação comparativa, os quais são divididos em quatro campos temáticos: 1. técnico; 2. legal/institucional; 3. coordenação político intersetorial; e, 4. Operacional. O Quadro 2 sintetiza essa metodologia.

Quadro 2. Critérios utilizados para avaliação da governança das águas subterrâneas

Campos temáticos	Nº	Critério	Contexto
Técnico	1	Existência de mapas hidrogeológicos básicos.	Verificar a existência de mapas que identifiquem as águas subterrâneas.
	2	Caracterização das águas subterrâneas.	Verificar a existência de estudos que classifiquem a tipologia das águas subterrâneas.
	3	Rede de monitoramento piezométrico	Verificar a existência de uma rede de monitoramento piezométrico que estabeleça o status do recurso.
	4	Rede de monitoramento da qualidade da água subterrânea.	Verificar a existência de uma rede de monitoramento que identifique a qualidade das águas subterrâneas.
	5	Avaliação de risco de contaminação de águas subterrâneas.	Verificar a existência de estudos que identifiquem atividades e situações que possam colocar em risco a qualidade das águas subterrâneas.
	6	Base de dados referente à prospecção geofísica.	Verificar a existência de dados que identifiquem os locais mais propícios à perfuração de poços.
	7	Existência de um mapa potenciométrico.	Verificar a existência de mapas potenciométricos que identifiquem zonas de recarga, fluxo e descarga de aquíferos.
	8	Disponibilidade de modelos numéricos de gestão de aquíferos.	Verificar a existência de modelos numéricos de gestão ao menos preliminares dos aquíferos críticos e estratégicos.

Campos temáticos	Nº	Critério	Contexto
Operacional/Legal	9	Enquadramento das águas subterrâneas.	Verificar a existência de enquadramento das águas subterrâneas nos termos da Resolução CONAMA nº 396/2008.
	10	Outorga de direito de uso da água subterrânea.	Verificar a existência e aplicação de procedimento administrativo de outorga.
	11	Cobrança pelo uso da água subterrânea.	Verificar a existência e aplicação de procedimento administrativo de cobrança.
	12	Sistema de informações sobre recursos hídricos subterrâneos.	Verificar a existência de um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre águas subterrâneas e fatores intervenientes em sua gestão.
	13	Plano de ação para a gestão das águas subterrânea.	Verificar a existência de regulamentação e elaboração de plano estadual de recursos hídricos que contemple diagnóstico, medidas e instrumentos para a gestão da água subterrânea.
	14	Licenciamento para perfuração de poços	Verificar a existência e aplicação de procedimento administrativo de licenciamento.
	15	Licenciamento ambiental de atividades potencialmente poluidoras das águas subterrâneas;	Verificar a existência e aplicação de procedimento administrativo de licenciamento, capaz de proibir ou restringir a atividade se oferecer risco às águas subterrâneas.
	16	Sanções pelo descumprimento da legislação de proteção da água subterrânea.	Verificar a existência e aplicação de procedimento administrativo de responsabilização pelo descumprimento da legislação.
Institucional/Legal	17	Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos.	Verificar a existência de sistema estadual de gerenciamento de recursos hídricos, cujos órgãos, tenham competência para a gestão da água subterrânea.
	18	Organizações comunitárias de gestão de aquíferos.	Verificar a existência de regulamentação e a criação de organizações voltadas a mobilizar a participação da comunidade para a gestão de aquíferos.
	19	Participação da sociedade civil na gestão das águas subterrâneas	Verificar a existência de paridade na representação da sociedade civil junto ao Comitê de Bacia Hidrográfica.
Coord. Política Intersetorial	20	Coordenação entre as políticas de recursos hídricos, ambiental, agrícola, energética, econômica, prevenção de desastres e ordenamento territorial.	Verificar a existência de articulação entre as políticas públicas mencionadas no âmbito do planejamento estadual (plano plurianual).

Fonte: Bohn et al. (2014).

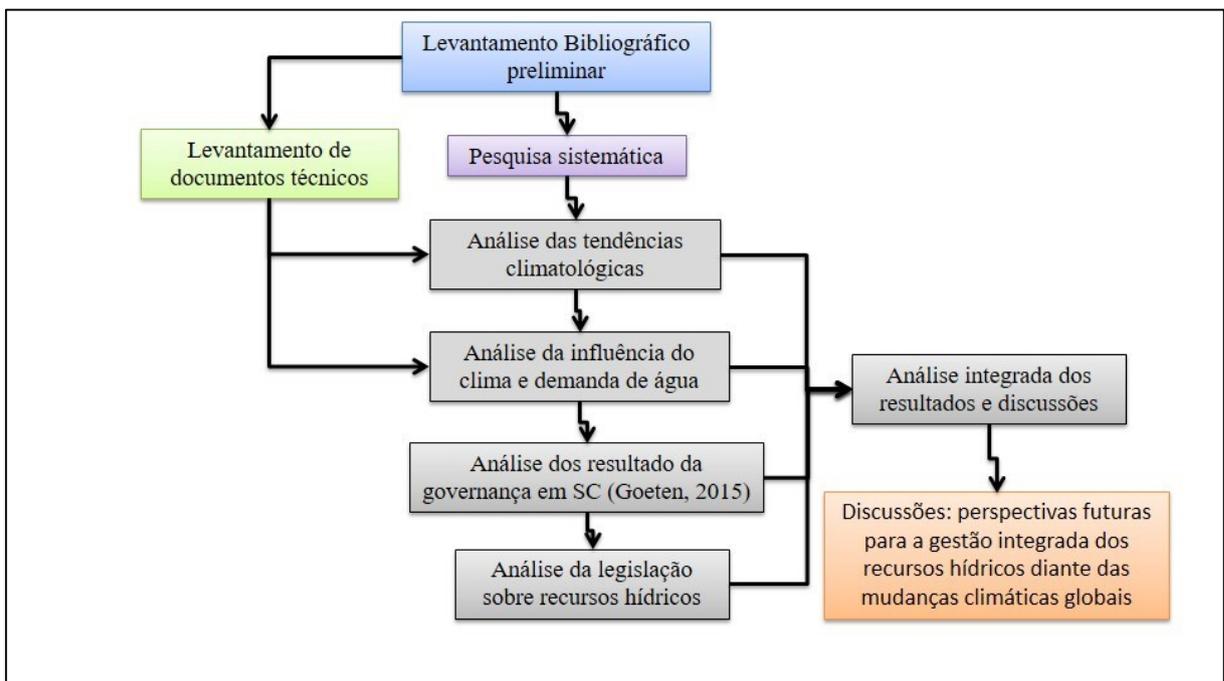
Posteriormente, foi feita a análise da legislação relacionada com a gestão da água no estado de Santa Catarina, a qual compreendeu a Política Nacional de Recursos Hídricos, resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), resoluções do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), resoluções do Conselho Estadual de Meio Ambiente de Santa Catarina (CONSEMA-SC), do Código

de Minas, dentre outros, além da análise das políticas públicas e ações voltadas para a gestão das águas subterrâneas na região.

Com base nos dados obtidos a partir da pesquisa realizada por Goetten (2015), e da análise da legislação, bem como a partir das discussões acerca das perspectivas futuras em termos de variabilidade climática na região, foi possível propor mudanças ou adaptações nos procedimentos, políticas e ações de modo a contemplar as mudanças climáticas no processo de tomada de decisão.

De posse dos resultados obtidos com as etapas metodológicas anteriores foi possível fazer a análise e a discussão das informações, a fim de propor sugestões para modificações na governança das águas subterrâneas na área de estudo, a partir das mudanças climáticas globais. Ou seja, *discutir as perspectivas futuras para a gestão integrada das águas diante das mudanças climáticas globais*. As etapas da pesquisa são sintetizadas por meio do fluxograma apresentado na Figura 3.

Figura 3. Fluxograma das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

3 MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

O tema mudanças climáticas vem sendo discutido na comunidade acadêmica internacional desde a década de 1970 e fundamenta-se a partir de diferentes óticas,

que analisam os desastres naturais associados às alterações no clima, à vulnerabilidade de populações e ecossistemas a essas mudanças, e à adaptação aos impactos que as mesmas poderão ocasionar.

As mudanças climáticas globais correspondem a alterações significativas no regime de chuvas, temperatura, evaporação e umidade em relação aos valores históricos de uma região. Essas mudanças estão relacionadas com o aquecimento que atinge o planeta em função das crescentes emissões de gases de efeito estufa, oriundos de atividades antrópicas, sobretudo nas últimas três décadas (Hirata et al., 2019).

As alterações climáticas provocam mudanças nos sistemas geofísicos, biológicos e humanos, e podem ser observadas a partir dos registros sobre eventos extremos, que passam a ocorrer com mais frequência (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas - PBMC, 2016). Isto porque, com o aumento da temperatura média do ar ocorrem mudanças nos padrões pluviiais e em eventos climáticos extremos, tais como secas, inundações, tornados e incêndios florestais, que se tornam mais frequentes. O PBMC (2014) já destacava que os “eventos extremos ocorrem quando valores, frequência e associação temporal das observações registram um aumento ou uma diminuição significativa durante um determinado estado climático”.

Segundo Gondim (2010) “o ciclo hidrológico está diretamente vinculado às mudanças de temperatura da atmosfera e ao balanço de radiação”, e de acordo com os modelos climáticos disponibilizados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) esperam-se, entre outras consequências, intensas mudanças nos padrões de precipitação. Isso deverá afetar a disponibilidade e a distribuição temporal da vazão nos rios: sendo assim, eventos hidrológicos críticos, tais como as secas e enchentes, tendem a ocorrer com maior frequência.

Os estudos realizados pelo IPCC confirmam que a mudança climática está contribuindo para transformações do ambiente biofísico que afetarão ecossistemas, assentamentos humanos e das águas, bem como a produção de alimentos (PBMC, 2014). Além disso, as mudanças climáticas contribuirão com a escassez de água - não apenas através do aumento da temperatura e prolongamento dos períodos de seca, mas também através da degradação das águas por meio de eventos extremos de precipitação, que carregam sedimentos, patógenos e outros contaminantes para os corpos hídricos (Denicola et al., 2015).

De acordo com Marengo (2009) e *United Nations Framework Convention on Climate Change* - UNFCCC (2007), os impactos decorrentes das mudanças climáticas são inevitáveis, e os governos e a população terão que se adaptar para lidar com o derretimento de geleiras e calotas polares, secas intensas, inundações, alteração nos regimes de chuvas, furacões, tempestades, além de degradação da biodiversidade e outros fenômenos. Neste sentido, é importante compreender o nível de vulnerabilidade a que diferentes sistemas e regiões estão sujeitos diante da grande ameaça que as mudanças climáticas globais podem oferecer.

Destaque-se que as consequências dos impactos das mudanças climáticas não são sentidas igualmente por todos, ou seja, a população mais pobre, as crianças e os idosos serão os mais afetados (Braga et al., 2006). Os fatores que determinam os impactos, a vulnerabilidade e a capacidade de adaptação às mudanças climáticas são complexos e desiguais nas diversas regiões, estando diretamente relacionados, entre outras coisas, com o nível de desenvolvimento social e a capacidade de resposta da sociedade nas diversas escalas (Laukkonen et al., 2009; Giddens, 2010).

De acordo com Braga et al. (2006), no Brasil, as regiões Sul, Sudeste e Nordeste foram consideradas por estudo do Banco Mundial e da Universidade de Columbia, como *hotspots* globais de risco de desastres hidrológicos e de seca. São regiões que apresentam um histórico de eventos climáticos extremos e que têm potencial para serem atingidas pela intensificação das mudanças climáticas futuras.

Minuzzi e Frederico (2017) ressaltam que a situação da localização geográfica da região sul do Brasil, oferece maior amplitude térmica do ciclo anual de temperatura no país, em que o maior contraste ocorre entre o inverno e o verão (aproximadamente 11°C). E que além das variabilidades espacial e sazonal do clima médio na região. Há, também, a variabilidade climática em torno desse estado médio, em várias escalas de tempo, ou seja, há significativas oscilações interanuais de chuva e temperatura, em razão dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña (GRIMM, 2009).

3.1 PRESSÕES SOBRE O SISTEMA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM UM CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Além da variabilidade natural do clima, existe razoável consenso de que as mudanças climáticas induzidas, ou intensificadas, pelos seres humanos têm causado eventos adversos generalizados, tais como perdas ou danos econômicos nas

atividades e produções agrícolas, além de impactos à natureza e às pessoas. Embora alguns esforços de desenvolvimento e adaptação tenham reduzido a vulnerabilidade, pessoas, sistemas e regiões mais vulneráveis são afetados desproporcionalmente (IPCC, 2022). O aumento dos eventos climáticos extremos (aliado a outros fatores), expôs milhões de pessoas à insegurança alimentar aguda e reduziu a segurança hídrica, com os maiores impactos observados em muitos locais e/ou comunidades na África, Ásia, América Central e do Sul, ilhas pequenas e o Ártico (IPCC, 2022).

As mudanças climáticas interferem diretamente no ciclo hidrológico, alterando o regime pluviométrico e a evapotranspiração em uma região, influenciando, portanto, no processo de recarga dos aquíferos e modificando o fluxo dos rios (Hirata; Conicelli, 2012; Gomes, 2008). Os impactos das mudanças climáticas nas águas, especialmente nas águas subterrâneas, não podem mais ser ocultados, e são ainda mais exacerbados sob a influência integrada da variabilidade climática, mudanças climáticas e atividades antropogênicas (Aslam et al., 2018). Assim, o grau de impacto varia de acordo com a localização geográfica e outros fatores que levam os sistemas e regiões a diferentes níveis de vulnerabilidade.

O último relatório do IPCC mostrou que a extensão e a magnitude dos impactos das mudanças climáticas são maiores do que o estimado em avaliações anteriores (IPCC, 2022). As áreas onde frequentemente há escassez de água passam por períodos de seca significativos que podem se agravar no futuro devido às mudanças climáticas (Gomez-Gomez et al., 2022). A escassez de água pode ser definida como um excesso de demanda de água sobre a oferta disponível e é caracterizada pela impossibilidade de suprir a demanda decorrente da superexploração das águas subterrâneas e da vulnerabilidade dos recursos naturais (Steduto et al., 2012).

Em todo o mundo as mudanças climáticas têm tornado as secas mais intensas e frequentes, as quais são responsáveis por graves perdas econômicas e sociais em todo o planeta (Soares et al., 2021). Esses autores destacam que o desflorestamento na Amazônia é um aspecto fomentador desse cenário, tanto local como globalmente.

No ano de 2021, entre os meses de março e maio, o clima seco nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil levou a uma escassez de 267 km³ de água retida em rios, em lagos, no solo e em aquíferos, em comparação com a média sazonal dos últimos vinte anos (Getirana et al., 2021). O hidroclima das regiões sul, sudeste e

centro-oeste do Brasil, responsável por 70% do Produto Interno Bruto brasileiro, é parcialmente controlado pela transferência de umidade da floresta tropical. Isso ocorre porque os fluxos atmosféricos causados pela transpiração das árvores, ou 'rios voadores', são responsáveis pela maior parte das chuvas diárias na região (Nobre, 2014). Assim, Getirana et al., (2021) concluem que o desflorestamento na região Amazônica impacta diretamente a precipitação nas regiões sul, sudeste e centro-oeste. Fearnside (2021) corrobora esse fato ao evidenciar que, no sudoeste da Amazônia, durante o período de transição da estação seca para a chuvosa (setembro-outubro), o provimento de vapor de água é fundamental para evitar o prolongamento da estação seca no centro sul do país.

Observa-se que as regiões áridas e semiáridas são as mais vulneráveis à variabilidade climática, o que impacta a disponibilidade de água (Bhering, 2021). Pesquisas realizadas em diferentes regiões do globo indicam que serão essas as regiões com maiores impactos sobre as águas (Gössling, 2015; Tortella; Tirado, 2011). Essa realidade provavelmente implicará em maior exploração das águas subterrâneas.

3.2 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Na literatura é encontrada uma quantidade crescente de publicações que relacionam a disponibilidade de água subterrânea e mudanças climáticas, o que evidencia a preocupação com essa fonte de água no atual cenário. Na pesquisa desenvolvida por Ramos et al. (2020) foi apresentado um modelo numérico detalhado do fluxo de água subterrânea de um aquífero na costa leste africana. Esse modelo foi usado para medir empiricamente como a precipitação e a variabilidade da temperatura podem afetar a recarga de sistemas aquíferos. O modelo inclui como entrada o aumento da captação devido ao crescimento econômico e os autores afirmam que a recarga do aquífero depende de eventos de chuva intensa. Assim, a distribuição das chuvas e as chuvas mais intensas seriam mais importantes para a produção efetiva de recarga do aquífero do que a precipitação total anual (Ramos et al., 2020).

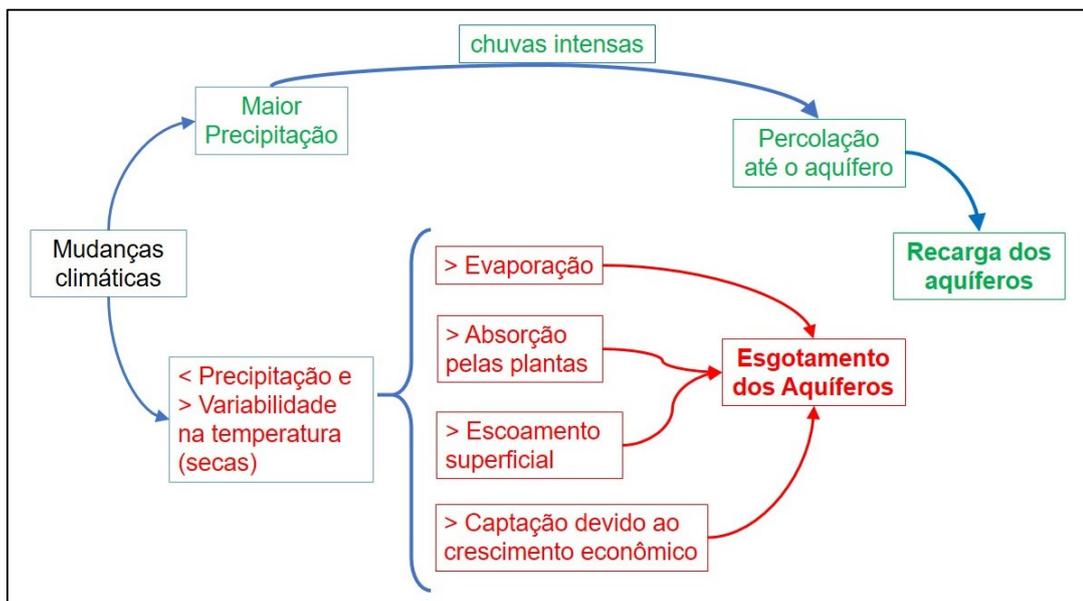
Dessa forma, é possível afirmar que um aquífero localizado em uma região que enfrenta seca prolongada e que tenha a água retirada para suprir a demanda social e econômica, depende da ocorrência de períodos de chuva intensa para que sua recarga efetivamente ocorra. Compreende-se com isso que chuvas pouco

intensas, ainda que por períodos mais longos, não são capazes de suprir suficientemente a recarga em virtude da evaporação, da absorção pelas plantas e do escoamento superficial, fatores que inibem a percolação até o aquífero.

Essa situação é, também, observada por Sadorff e Muller (2010) na região do mediterrâneo. De acordo com os autores, é esperado que a atual extração massiva de água “fóssil” do Aquífero Arenito Núbio e do Aquífero Norte do Saara aumente, gerando numerosos problemas secundários. Com isso, os modelos sugerem que a recarga das águas subterrâneas diminuirá drasticamente ao longo da costa sul do Mediterrâneo – em mais de 70% até 2050 (Sadoff; Muller, 2010).

A Figura 4 ilustra a influência das mudanças climáticas sobre a recarga dos aquíferos. As cores verde e vermelha indicam aspectos que contribuem, respectivamente, de forma positiva ou negativa com esse processo. As mudanças climáticas impactam diretamente na precipitação e na variabilidade da temperatura, as quais, por sua vez, influenciam na recarga dos aquíferos. No caso da precipitação, em períodos de **chuva intensa** a recarga é mais efetiva. Por outro lado, em períodos de **seca** a recarga é comprometida, as águas superficiais se tornam escassas e ocorre como agravante, o aumento da captação decorrente do crescimento econômico. No caso da **variabilidade na temperatura**, nota-se que a evaporação, absorção pelas plantas e o escoamento superficial são aspectos diretamente afetados e que por sua vez influenciam na recarga dos aquíferos.

Figura 4. Esquema para a recarga de aquíferos



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

Ramos et al. (2020) afirmam que o nível da água subterrânea, além de ser significativamente afetado por períodos de três anos em condições de seca, demanda um período úmido para retornar ao estado inicial. Os autores destacam que a diminuição do nível da água subterrânea não ocorre de forma uniforme em todas as formações geológicas e os possíveis efeitos também não são equivalentes. Outro aspecto importante ressaltado, diz respeito à cunha salina, a qual se movimenta para o interior diante do aumento do período de seca. No caso do objeto de estudo, a movimentação da cunha salina em direção ao interior variou entre 0,5 e 2 km. Esse impacto é significativo para os usuários dessa fonte.

A influência de alterações no clima sobre as condições de aquíferos se mostra importante no monitoramento de barragens. Naderi (2020) avaliou a segurança hídrica para a bacia hidrográfica da Barragem de Doruzan no sul do Irã, considerando o tempo presente e três cenários de mudanças climáticas, o que evidenciou a necessidade de considerar mudanças climáticas nesse contexto. Foi previsto que a precipitação média anual diminuirá entre 13 e 17%; a temperatura média aumentará entre 1,5 e 3,3°C; e que a entrada de menos água na barragem (-50%) limitará a disponibilidade de água a jusante. Naderi (2020) afirma ainda que a exploração das águas subterrâneas é atualmente insustentável em todos os aquíferos da área de estudo e as alterações climáticas diminuirão ainda mais a sua disponibilidade, intensificando a “crise hídrica” ou crise civilizatória já existente.

Gomez-Gomez et al. (2022) evidenciam essa mesma situação ao avaliar o impacto dos potenciais cenários futuros de mudanças climáticas no sistema de gestão da bacia hidrográfica do rio Segura, sudeste da Espanha, sobre as secas, por meio de um método embasado em técnicas estatísticas e modelos matemáticos. A Espanha localiza-se em região que sofre com escassez hídrica (Gössling, 2015; Tortela; TIRADO, 2011). Gomez-Gomez et al. (2022) destacaram que as secas podem ser consideradas como um fenômeno do sistema terrestre que abrange uma série de processos meteorológicos, hidrológicos e biofísicos com implicações socioeconômicas. Dessa forma, dependendo do fenômeno do sistema terrestre e das variáveis estudadas, as secas podem ser classificadas de acordo com a forma como são percebidas. Já segundo Mattiuzi (2021), as secas podem ser meteorológicas (falta de precipitação), agrícolas (deficiência na disponibilidade de água para agricultura e crescimento das plantas), hidrológicas (deficiências nos volumes de água superficiais

e subterrâneos) e operacionais ou socioeconômicas (falta de água para atendimento das demandas).

De acordo com a propensão das regiões áridas e semiáridas de serem mais afetadas pelas mudanças climáticas, o fato de períodos de seca serem potencializados pode significar importantes implicações para a manutenção dos ecossistemas e do balanço hídrico. Essa realidade impactaria a economia da população, especificamente por meio da agropecuária. Os resultados obtidos por Gomez-Gomez et al. (2022) mostraram que nos três cenários estudados para o período de 2071-2100, os recursos disponíveis para atender os diferentes elementos de demanda serão menores, o que significa maiores déficits hídricos específicos.

Nesses três cenários foi prevista a redução significativa de precipitação e um aumento consistente de temperatura, além de grande incremento no número, duração, intensidade e magnitude das secas. Assim, os autores concluíram que são estimadas taxas mais altas de bombeamento em aquíferos e o impacto também se refletiria em menores garantias para atender as demandas (Gomez-Gomez et al., 2022). Embora haja credibilidade nos modelos referidos, salienta-se a necessidade de confirmação de dados de tamanha extrapolação, pois variáveis influentes adicionais aos efeitos citados por Gomez-Gomez et al. (2022) podem ocorrer antes do período delimitado e devem ser consideradas em avaliações mais profundas.

A pesquisa desenvolvida por Wang et al. (2018) na bacia hidrográfica de Guanzhong na China, com dados observacionais, usou abordagem integrada para estudar os impactos das mudanças climáticas e das atividades humanas sobre o sistema de águas subterrâneas e sobre o fluxo base da bacia hidrográfica. Nessa região a temperatura média anual é de cerca de 13°C e a precipitação anual varia entre 400 e 900mm, sendo a média de cerca de 600mm. Como alguns anos têm baixa precipitação e altas taxas de evaporação, a vegetação natural da região é uma mistura de florestas e estepes. Antes dos assentamentos humanos converterem as planícies para a agricultura, ela abrigava uma grande variedade de vida selvagem (Lander, 2020).

Os métodos utilizados por Wang et al. (2018) para estudar a pressão humana e das mudanças climáticas sobre o sistema aquífero local incluíram: registros de escoamento de rios e uma análise estatística multivariada de dados, incluindo níveis históricos de águas subterrâneas e clima; investigação hidroquímica e análise de

tendências dos dados hidroquímicos históricos; análise Wavelet² de dados climáticos; e o índice de fluxo de base. Foi observada tendência de aquecimento e de diminuição das chuvas desde a década de 1960, além do aumento das atividades humanas desde a década de 1970. A redução da recarga das águas subterrâneas nos últimos 30 anos levou ao rebaixamento contínuo dos níveis das águas subterrâneas, mudanças complexas do ambiente químico, salinização localizada e forte declínio da vazão de base para o rio.

A falta de dados relacionados ao sistema de recarga, as incertezas com relação à escolha de indicadores e a indisponibilidade de modelos preditivos dos efeitos de longo prazo, são problemas que ainda limitam os estudos que buscam relacionar as mudanças climáticas e a variedade de atividades humanas com os sistemas de águas subterrâneas.

No Brasil, a pesquisa realizada por Bhering et al. (2021) no município de Montes Claros, MG, mostrou que é fundamental a realização de uma caracterização detalhada da hidrogeologia local da área estudada para a definição de políticas de abastecimento de água mais eficientes na gestão das águas, especialmente em um cenário de mudanças climáticas e escassez de água em regiões semiáridas. Os autores destacam que na área urbana do município o aquífero apresenta uma baixa capacidade específica e uma concentração significativa de poços de água. Isso implica, além de eventual rebaixamento do nível do lençol freático, num aumento do balanço hídrico negativo, uma vez que a exploração das águas subterrâneas é superior à recarga pluviométrica local pela chuva. Althoff et al. (2021) reforça a necessidade de melhor planejamento integrado da gestão das águas e do monitoramento consistente das mesmas de modo a garantir o bem-estar social.

Observa-se, portanto, que as mudanças climáticas, por meio de mudanças na temperatura e outros fatores ambientais, podem interferir de forma indireta na relação entre sociedade, setores produtivos e das águas, modificando a demanda ou demandando água com outras características físicas, químicas e biológicas (Hirata; Conicelli, 2011). É importante destacar que o impacto das mudanças climáticas pode variar de acordo com a localização geográfica e outros fatores que levam os sistemas e regiões a diferentes níveis de vulnerabilidade. Assim, de acordo com Aslam et al.

² “Esta análise de wavelet tem vantagem sobre as análises espectrais clássicas, porque permite analisar periodicidade de eventos em diferentes escalas da variabilidade temporal e não necessita de uma série estacionária” (Santos et al., 2013.)

(2018) várias tentativas foram feitas em várias regiões do mundo para quantificar os impactos e consequências de fatores climáticos e não climáticos em termos de vulnerabilidade das águas subterrâneas.

Para Bhering et al. (2021) as mudanças climáticas, o crescimento populacional e as atividades econômicas aumentam a pressão sobre as águas, comprometendo os escoamentos e a qualidade dos grandes ecossistemas de água doce do mundo. De acordo com Jorgensen, Graymore e O'Toole (2009), o aumento da população, a poluição das fontes de água, a expansão urbana, a irrigação agrícola, as mudanças climáticas e as secas são fatores que contribuem para o desequilíbrio entre a demanda e a disponibilidade de água.

As águas subterrâneas têm função estratégica diante do cenário de mudanças climáticas, já que as características dos aquíferos possibilitam a oferta de água mesmo durante períodos de estiagem prolongados (Hirata; Conicelli, 2011). Entretanto, essa disponibilidade é dependente da recarga dos aquíferos durante períodos de chuva mais intensa. De acordo com Ramos et al. (2020), as diferenças de recarga em diferentes cenários climáticos podem ser explicadas a partir da umidade antecedente do solo. Ou seja, ao final de um período de seca, em que há déficit de umidade no solo, a chuva é retida no mesmo até que o déficit de umidade seja satisfeito, e assim menos recarga atinge o aquífero. O oposto ocorre em solos úmidos, em que a umidade é elevada e, portanto, a recarga do aquífero é maior.

Nos climas áridos, a evaporação potencial excede a precipitação e a evaporação real depende da capacidade de água disponível para a evaporação. O escoamento superficial ou a filtragem para a água subterrânea ocorre unicamente nos períodos em que se produzirá precipitação suficiente para superar a evaporação (Sadoff; Muller, 2010). Dessa forma, se a mudança no clima futuro levar a um aumento dos períodos de seca e declínio da precipitação total ou declínio na intensidade de eventos pluviométricos individuais, a redução da recarga das águas subterrâneas é inevitável.

O resultado obtido por Naderi (2020) reforça essa afirmação, uma vez que conclui que a captação de águas subterrâneas somente é sustentável, nos aquíferos por ele estudados, durante 6 meses do ano e que as alterações climáticas limitam esse período ainda mais, tornando insustentável o seu uso já que haverá diminuição da disponibilidade de água subterrânea no futuro. Além disso, o esgotamento das águas subterrâneas está relacionado também com as políticas sociais da área de

estudo (Ramos et al., 2020). Ou seja, o controle e monitoramento do uso das águas subterrâneas por meio do fortalecimento das instituições e órgãos ambientais, bem como os investimentos em métodos e tecnologias de uso mais eficiente da água, podem contribuir para a diminuição da demanda sobre as águas subterrâneas. Nesse sentido, pesquisas como as de Flores (2022); Ilha, Oliveira e Gonçalves (2009); e Alghamdi et al. (2020), que avaliem o consumo de água por humanos nos seus diversos ambientes e indiquem meios para o uso mais eficiente das águas, podem contribuir para a diminuição das pressões sobre os aquíferos.

Assim, é fundamental o investimento em pesquisas e o desenvolvimento de modelos para compreender, cada vez melhor, o funcionamento dos diferentes sistemas aquíferos e a sua relação com as mudanças climáticas visando apoiar a Gestão Integrada³ das águas diante dos eventos de seca intensa. Além disso, embora os estudos mostrem que ainda existam incertezas acerca da forma como ocorre a relação entre as mudanças climáticas e as águas subterrâneas, existem substanciais evidências de que medidas precisam ser tomadas e de que políticas necessitam ser colocadas em prática para gerenciar os impactos dessas mudanças e o uso da água.

Destaca-se principalmente a necessidade de políticas que busquem a manutenção dos ecossistemas, o reflorestamento⁴, o investimento em monitoramento das águas subterrâneas e a produção e análise de dados. Quanto às incertezas mencionadas, Wang et al. (2018) afirmam que uma das principais razões para essas incertezas é que a relação entre as variáveis climáticas em mudança, a variedade de atividades humanas e o sistema de águas subterrâneas é extremamente complicada e pouco compreendida. Nesse sentido, Aslam et al. (2018) destacam os efeitos da escolha dos indicadores e a importância de incluir indicadores compostos, pois a escolha do indicador tem um papel significativo na definição da confiabilidade dos resultados computados e pode gerar mais resultados realistas.

Para Soares et al. (2021) indicadores ecológicos e socioeconômicos interdisciplinares que possam monitorar os efeitos das mudanças climáticas globais são essenciais para definir, caracterizar e quantificar as consequências deste

³ A Gestão Integrada compreende a interação entre empresas de abastecimento e saneamento, instituições de extensão rural, serviço geológico, órgãos e secretarias ambientais, bem como usuários, comitês de bacias e a sociedade civil organizada; porém, essas entidades atuam de forma compartimentada em relação ciclo hidrológico e com limitada comunicação entre si (REDE GUARANI/SERRA GERAL, 2020).

⁴ O reflorestamento deve ser compreendido como o processo de refazer a floresta, com as suas características originais, ou seja com a diversidade ecológica que apresentava antes da degradação. Diferentemente do que vem sendo praticado, em que se faz o “reflorestamento” por meio do monocultivo.

fenômeno para a sociedade. Uma estratégia eficaz seria identificar e monitorar processos que não apenas confirmem que o clima está mudando, mas também indiquem como e em que medida isso afetará os bens e serviços ecossistêmicos (Soares et al., 2021).

Em busca de sustentabilidade na utilização de água subterrânea, estudos relacionam as condições atuais e as perspectivas futuras com cenários de escassez hídrica para discutir a disponibilidade de água para as gerações futuras. Hernandez e Solera (2015) afirmam que a exploração de aquíferos deve atender a estudos sistêmicos das necessidades hídricas atuais e futuras, considerando uma exploração sustentável, extraíndo o necessário na escassez e recarregando na abundância.

Quadro 3. Síntese das observações de autores sobre a relação das mudanças climáticas e águas subterrâneas

Tópicos principais	Abordagem	Autores
Estudos sobre a relação entre as águas subterrâneas e as mudanças climáticas em regiões semiáridas	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitação e variabilidade na temperatura - Irrigação agrícola - Poluição das fontes de água - Expansão urbana - Aumento da captação e crescimento econômico 	RAMOS et al., 2020 SADOFF; MULLER, 2010 Bhering et al., 2021 Jorgensen, Graymore e O'Toole, 2009
Previsão de escassez de recursos hídricos	<ul style="list-style-type: none"> - Intensificação das secas - "Crise hídrica" - Afeta o balanço hídrico - Afeta a manutenção dos ecossistemas 	Naderi, 2020 Gomez-Gomez et al., 2022 Mattiuzi, 2021
Consequências sobre os serviços ecossistêmicos	<ul style="list-style-type: none"> - Salinização - Declínio da vazão de base para o rio - Esgotamento das águas subterrâneas 	Wang et al., 2018 Bhering et al., 2021
Estudos visando a sustentabilidade do uso das águas subterrâneas	<ul style="list-style-type: none"> - Gestão e monitoramento dos recursos hídricos - Políticas de abastecimento mais eficientes - Caracterização hidrogeológica - Políticas de abastecimento mais eficientes - Fortalecimento das instituições e órgãos ambientais - Métodos e tecnologias de uso mais eficientes da água 	Bhering et al., 2021 Althoff et al., 2021 Soares et al., 2021 Aslam et al., 2018

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

Observa-se que os estudos apontam as regiões semiáridas como as que estão mais sujeitas aos impactos das mudanças climáticas sobre as águas, em função da diminuição da precipitação e da variabilidade na temperatura. Esses fatores interferem diretamente sobre a demanda por água subterrânea, uma vez que o esgotamento das fontes de água superficiais levarão à retirada cada vez maior de água dos aquíferos. Além disso, em um cenário de intensificação da seca, o crescimento econômico contribuirá com a maior demanda por essas águas, com destaque para o uso na irrigação agrícola e para suprir a demanda da expansão urbana.

Além da influência dos impactos das mudanças climáticas às dinâmicas sociais, observa-se que a interação destas afetará a manutenção dos ecossistemas e o balanço hídrico, gerando assim uma “crise hídrica” ou crise civilizatória. No caso dos serviços ecossistêmicos, a intensificação do uso das águas subterrâneas poderá levar ao seu esgotamento, à salinização da mesma e ao declínio de base para o rio. Ou seja, o uso indiscriminado das águas subterrâneas está relacionado não apenas com as mudanças climáticas, mas com a forma com a qual a gestão hídrica é realizada.

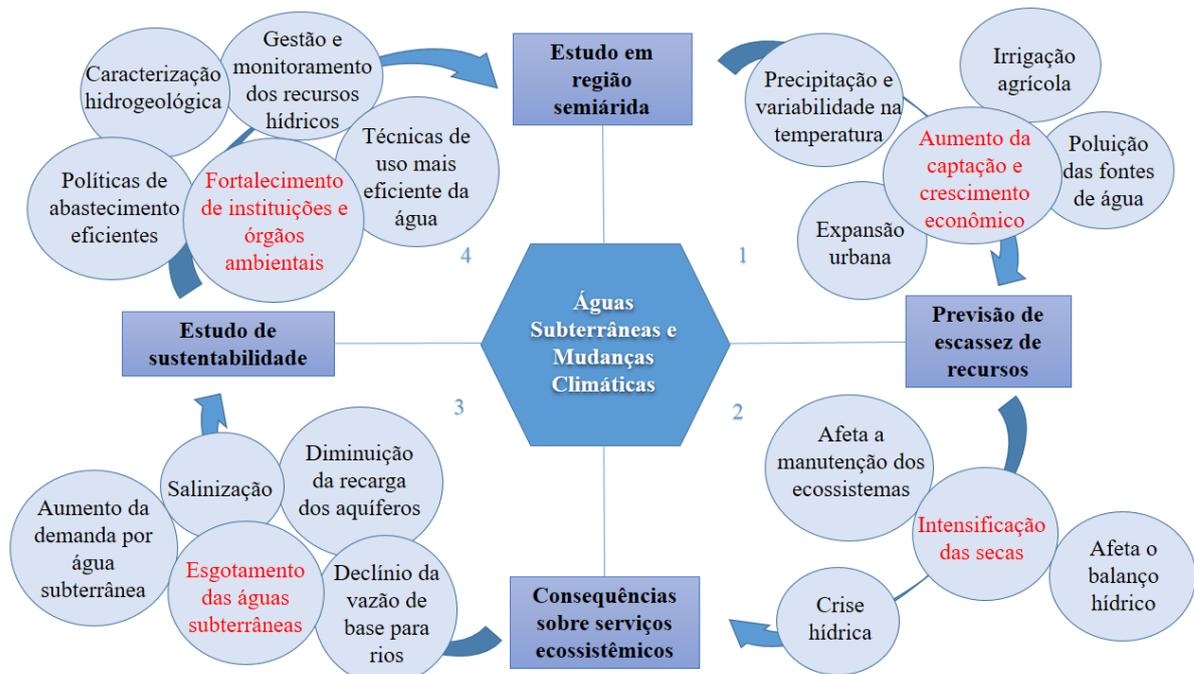
Para evitar ou mitigar esse impacto são necessários investimentos em políticas de abastecimento mais eficientes, na gestão e monitoramento das águas, e na caracterização hidrogeológica dos aquíferos, permitindo assim o uso mais sustentável das águas subterrâneas em um contexto geral de conservação de água. Para alcançar isso, é fundamental o fortalecimento das instituições e órgãos ambientais de modo a instigar o desenvolvimento e utilização de técnicas de uso mais eficiente da água, o que reduziria a demanda por água subterrânea.

A Figura 5 é um “mapa” mental que foi construído com os tópicos derivados da Tabela 1, a qual sintetiza os estudos, as abordagens e os temas influentes sobre a relação entre as mudanças climáticas e a conservação de aquíferos. O mapa mental relaciona esses tópicos de acordo com sua relevância para o tema principal e suas contribuições para os demais temas, com o objetivo de serem organizados na pesquisa. Pode ser observado que há relações indicadas por setas, mas o fluxo de influência não necessariamente é contínuo, o que o diferencia de um fluxograma.

Em cada quadrante da figura circular formada no “mapa” mental da Figura 5 há tópicos relacionados entre si e limitados pelos temas ilustrados nos retângulos azuis. Dessa forma, no quadrante 4 ilustram-se técnicas de uso mais eficiente de água, diminuição da demanda por água subterrânea e o fortalecimento de instituições e órgãos ambientais. Este último é destacado em vermelho porque dele dependem os

demais para ocorrerem. Esse grupo de temas contribui para **Estudos em região semiárida** e por **Estudos de sustentabilidade** de uso de água de forma diferente dos grupos posicionados nos demais quadrantes.

Figura 5. Diagrama de tópicos relacionados e influentes à relação entre disponibilidade de águas subterrâneas e mudanças climáticas.



Fonte: Elaborado pela autora, 2023.

3.3 SECAS E ESTIAGEM

Para compreender as implicações dos fenômenos climáticos sobre as águas subterrâneas faz-se necessário compreender a diferença entre as secas e as estiagens. O Atlas Brasileiro de Desastres Naturais – 1991 a 2012 - referente a Santa Catarina (CEPED-UFSC, 2013) explica que a estiagem é um fenômeno considerado existente quando ocorre um atraso superior a quinze dias do início da temporada de chuvas. Outro indicativo são as médias mensais de precipitação pluviométrica, dos meses chuvosos, inferiores a 60% das médias mensais de longo período da região considerada.

Dessa forma, a estiagem resulta da redução das precipitações pluviométricas, do atraso dos períodos chuvosos ou da ausência de chuvas previstas para uma determinada temporada, em que ocorre a queda dos índices pluviométricos para níveis sensivelmente inferiores aos da normal climatológica (Castro et al., 2003). Para

Nodari e Espíndola (2013) essa queda pode ser denominada como uma 'baixa vazão', pois é decorrência da seca e os fenômenos que a estabelecem prejudicam a reposição de água necessária para a manutenção da umidade do solo e comprometem a qualidade do mesmo.

Pela sua característica, de ocorrer por longos períodos (embora por menos tempo e menos intensas que as secas) e abranger grandes áreas, a estiagem é um dos desastres de maior ocorrência no mundo, produzindo reflexos sobre as reservas hidrológicas locais, e consequentes prejuízos à agricultura e pecuária. Já a seca pode ser considerada a forma crônica da estiagem (Kobiyama et al., 2006)

As secas podem ocorrer devido a fatores meteorológicos, como a falta de chuvas (precipitação) e a fatores hidrológicos, como a deficiência nos volumes de águas superficiais e subterrâneas. Kobiyama et al. (2006) afirmam que as características geoambientais podem ser elementos condicionantes na frequência, duração e intensidade dos danos e prejuízos relacionados às secas. Dessa forma, é possível afirmar que as formas de relevo influenciam no deslocamento das massas de ar, interferem na formação de nuvens e por conseguinte na precipitação.

Segundo Mattiuzi (2021), as secas são fenômenos naturais que podem afetar setores econômicos e sociais e são um dos principais desastres relacionados às águas. Os dados do Centre for Research on the Epidemiology of Disasters – CRED (2020) mostram que entre os anos de 2009 e 2019 as secas afetaram mais de 100 milhões de pessoas e causaram perdas econômicas de mais de 10 bilhões de dólares em todo o mundo.

Nesse sentido, Mattiuzi (2021) destaca que no Sul do Brasil os anos de 2019, 2020 e 2021 foram marcados por baixas precipitações que resultaram na redução da disponibilidade hídrica. Essa situação de escassez repercutiu em diversos setores através da diminuição dos níveis dos reservatórios, problemas no abastecimento público de água e perdas agrícolas. Em uma nação dependente da agricultura para quase um quarto de seu Produto Interno Bruto - PIB, culturas como soja, café e cana-de-açúcar, e a pecuária, usam grande parte da água. (Getirana et al., 2021). Mattiuzi (2021) afirma que essa situação de escassez pode estar relacionada com as condições de *La Niña*, fenômeno que, na região Sul do Brasil, causa precipitações abaixo da média. Destaca-se que em situações de escassez hídrica os aquíferos atuam para a regularização do abastecimento de água.

Percebe-se o impacto imediato das secas na produção agropecuária, na economia e na sociedade. Nesse sentido Getirana et al. (2021) destaca que no Brasil, que responde por um terço das exportações globais, o preço da soja subiu 67% de junho de 2020 a maio de 2021, as contas de eletricidade subiram 130% no mesmo período e diversas cidades enfrentavam um iminente racionamento de água. Entretanto, é importante observar que embora as perdas econômicas sejam relevantes para a discussão, os problemas ambientais e sociais relacionados com a escassez hídrica são ainda maiores.

Hirata e Conicelli (2012) ressaltam que a maior demanda por água subterrânea afeta os aquíferos e também as águas superficiais reduzindo os fluxos de base e consequentemente reduz a biodiversidade e impacta outros sistemas que dependem de níveis estáveis de água em reservatórios, lagos e rios. No caso específico da Bacia do Rio da Prata no sul do Brasil, Gomes (2008) afirma que as elevadas temperaturas podem, de alguma forma, limitar a água para consumo, agricultura e geração de energia devido a um acréscimo na evaporação e na evapotranspiração. Essa situação afetaria o balanço hídrico e comprometeria não apenas a vazão dos cursos d'água como também a recarga de aquíferos, com destaque para a do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (Stallbaum et al., 2018). Além disso, as mudanças na temperatura podem levar à redução da cobertura vegetal, redução da estabilidade dos agregados do solo devido à diminuição do teor de matéria orgânica e de outros agentes de agregação do solo, redução da taxa de infiltração e redução do volume de água nos rios (Gomes, 2008).

O impacto combinado das mudanças climáticas e atividades humanas intensivas podem causar um declínio substancial na recarga dos aquíferos e nos níveis das águas subterrâneas. Nesse sentido, Johannsen et al. (2016) afirmam que as disparidades entre disponibilidade de água e demanda de água estão aumentando. Em anos de secas, as águas subterrâneas são usadas para irrigação, podendo levar ao esgotamento dos aquíferos, bem como à degradação da qualidade das águas e mudanças associadas nos ecossistemas (Wang et al., 2018). Assim, a disponibilidade local de água depende fortemente das mudanças demográficas, da economia e ecologia locais e do impacto do uso da terra e das mudanças climáticas (Johannsen et al., 2016). Dessa forma, as potenciais mudanças na recarga dos aquíferos devido às mudanças climáticas exigem maior atenção da comunidade científica e dos

tomadores de decisão, pois afetam a disponibilidade futura de água em muitas regiões assim como o bem-estar de bilhões de pessoas.

Yihdego et al. (2017) propõem um método para analisar a interação entre as águas subterrâneas e o lago Linlithgow, na Austrália. Os autores utilizaram uma abordagem baseada na modelagem do balanço hídrico para analisar e destacar o efeito da água subterrânea no nível do lago ao longo tempo. Esse modelo ilustra como realizar modelagem em ambientes com escassez de dados e fornece um meio para avaliar áreas focais para coleta de dados futuros e melhorias de modelo. Essa abordagem é adequada para obter informações sobre o efeito das águas subterrâneas nos níveis das áreas úmidas ou dos lagos. Além disso, é um método que pode ser usado em qualquer lugar, sendo a sua aplicabilidade útil para implementar mecanismos de adaptação para o gerenciamento futuro das águas reduzindo a vulnerabilidade e aumentando a resiliência às mudanças climáticas (Yihdego et al., 2017).

Na pesquisa realizada por Reinecke et al. (2021), que investiga incertezas nas projeções de recarga de águas subterrâneas usando um conjunto multi-modelo, se observa que apesar das incertezas, são fornecidas mais evidências de que as mudanças climáticas afetarão a disponibilidade de água subterrânea em muitas regiões do mundo. A mesma pesquisa destaca que é esperada uma diminuição notável da disponibilidade hídrica no Mediterrâneo, na Amazônia e no restante do Brasil.

É consenso entre os autores que as mudanças climáticas podem afetar a distribuição espacial e temporal das variáveis hidrológicas (Yihdego et al., 2017; Johannsen et al., 2016; Reinecke et al., 2021). Como consequência, podem ocorrer mudanças nos regimes de chuva, de vazão dos rios, de recarga dos aquíferos e, por conseguinte podem produzir danos aos ecossistemas, à produção de alimentos, abastecimento de água e geração de energia (Adam, 2016).

Hirata e Conicelli (2012) afirmavam já em 2012 que embora fossem esperadas mais chuvas em algumas regiões do país, a distribuição das mesmas não ocorreria de modo uniforme ao longo do ano, ou seja, deixavam evidente a tendência de ocorrência de chuvas concentradas em momentos específicos (provocando inundações), podendo causar períodos de seca mais longos. Nesse sentido, os dados apresentados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC,

2022) indicam que as regiões Sul e Sudeste do Brasil sofrerão com a maior frequência de eventos pluviométricos.

3.4 VARIABILIDADE CLIMÁTICA EM SANTA CATARINA

O aumento da frequência de eventos extremos e desastres naturais tem chamado cada vez mais a atenção da comunidade acadêmica e da população catarinense. Para Sanches et al. (2014 apud Gotardo et al., 2018), esses eventos climáticos são evidências da alteração do clima tanto em nível global, como regional e local.

De acordo com Minuzzi (2010), na escala regional essas mudanças são muito divergentes e nem sempre acompanham a tendência global, principalmente no que se refere à temperatura. Nos relatórios do IPCC são evidenciadas as anormalidades do comportamento da temperatura média da superfície terrestre e suas consequências sobre a frequência e a intensidade dos eventos extremos nas regiões tropicais.

O efeito das mudanças climáticas é percebido através de variáveis descritoras do clima, tais como a radiação, a temperatura e a evapotranspiração. Outra importante variável é a precipitação, que está relacionada com a disponibilidade hídrica e que impacta diretamente a atividade agropecuária (Baptista; Severo, 2018), uma vez que é um setor que depende exclusivamente do comportamento da meteorologia e do clima (EMBRAPA, 2008). Conforme indicam Baptista e Severo (2018) e Gotardo et al. (2018), os dados de precipitação são comumente utilizados para compreender a sua variabilidade espacial e temporal, consequentes das características do clima de determinada região.

Minuzzi (2010) destaca que diante das projeções climáticas globais são necessárias informações e ferramentas cada vez mais precisas nas escalas regional e global, visando o aprimoramento e atualização da tomada de decisão e de práticas rotineiras na produção agrícola, inserindo-as nas políticas de adaptabilidade e mitigação. Gotardo et al. (2018) e Baptista e Severo (2018) evidenciam a importância dos estudos de ocorrência e distribuição das precipitações para dar suporte às tomadas de decisão e para o planejamento das atividades econômicas no nível local e regional.

No Brasil, segundo Groisman et al. (2005) é notório o aumento significativo do volume precipitado a partir de 1950. De acordo com José e Minuzzi (2019), a região Sul do Brasil apresenta um regime de precipitação bem distribuído ao longo do ano, em que há maior concentração de chuvas no verão, quando ocorre o encontro de massas de ar com temperatura e umidade distintas, denominadas chuvas frontais. Nessa região, a situação geográfica garante a maior amplitude térmica no ciclo anual, evidenciando a diferença entre inverno e verão (Alves; Minuzzi, 2018).

Entre os estados brasileiros, Santa Catarina é um dos que apresenta melhor distribuição pluviométrica ao longo do ano, com média anual que varia de 1250mm a 2000mm (Spinelli et al., 2012). Segundo Monteiro (2001), os sistemas meteorológicos responsáveis por chuvas no estado são, principalmente: frentes frias; vórtices ciclônicos; cavados de níveis médios; convecção tropical; Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e circulação marítima. Importante destacar que a combinação da umidade advinda da Bacia Amazônica para o Centro-Oeste, Sudeste e Sul do Brasil, com as frentes frias oriundas do sul são os principais responsáveis pelas chuvas na região sul do país (Marengo, 2020).

Quanto ao relevo, distintas configurações influenciam a distribuição de precipitações. Nas áreas de barlavento próximas a encostas de montanhas, as precipitações são mais abundantes devido a que a elevação do ar úmido e quente favorece a formação de nuvens cumuliformes⁵, resultando no aumento do volume precipitado no local. Dessa forma, há índices maiores de precipitação em municípios próximos à encosta da Serra Geral em comparação com a Zona Costeira (Monteiro, 2001).

Monteiro (2001) destaca, ainda, que o estado de Santa Catarina, mesmo com limitado distanciamento latitudinal, especialmente no Oeste, apresenta variações climáticas espaciais expressivas. Essa característica deriva da existência de sistemas atmosféricos diversos associados a diferenças de altitude entre o Planalto e regiões circunvizinhas. Assim, tanto os episódios de muitas chuvas, como os de pequenas estiagens, podem ser intensificados em função da atuação dos fenômenos *El-Niño* e *La-Niña*, respectivamente (Monteiro, 2001). Com relação à estiagem, CEPED-UFSC (2013) evidencia que para o período de 1991 a 2012 os anos em que ocorreram registros do fenômeno *La-Niña* não coincidem com os anos que apresentaram maior

⁵ Nuvens cumuliformes são aquelas com desenvolvimento vertical e que geralmente cobrem pequenas áreas e são associadas com levantamento bem mais vigoroso (GRIMM, 1999).

número de registros de estiagem e seca no estado catarinense (Tabela 1). Ou seja, é possível inferir que não há uma relação direta entre a intensidade e abrangência da estiagem com a ocorrência ou não do fenômeno *La Niña*.

Tabela 1. Anos de ocorrência e intensidade do fenômeno *La Niña*.

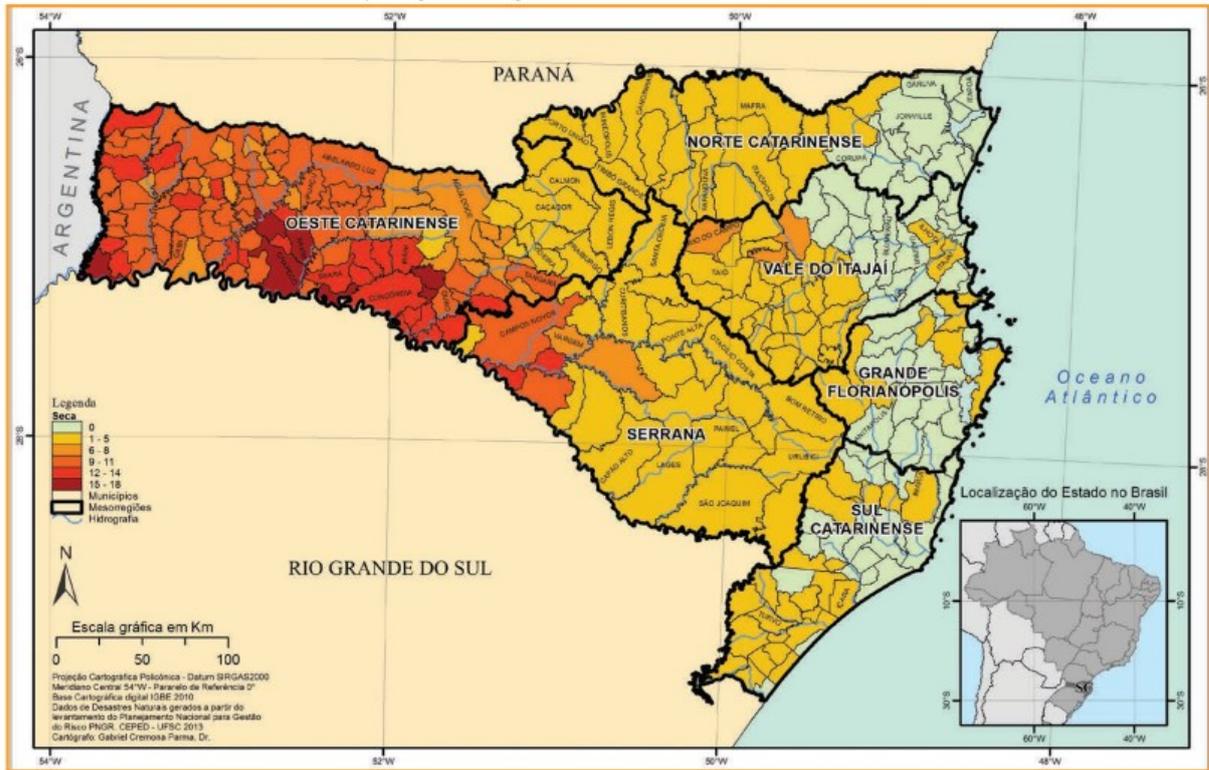
Anos de ocorrência do fenômeno <i>La Niña</i>			
1892-1893	1916-1917	1949-1950	1988-1989
1893-1894	1917-1918	1954-1955	1998-1999
1903-1904	1924-1925	1955-1956	1999-2000
1906-1907	1933-1934	1967-1968	2007-2008
1908-1909	1937-1938	1970-1971	2010-2011
1909-1910	1938-1939	1973-1974	2017-2018
1910-1911	1942-1943	1975-1976	-

Legenda: **Forte** Moderado Fraco

Fonte: Adaptado de CPTEC-INPE (2022)

Na Figura 6, observa-se que ao longo do período entre 1991 e 2012 foram registradas 1.518 ocorrências de estiagem e seca em Santa Catarina, com predominância nos municípios do oeste e região serrana do estado, sendo 227 municípios afetados (CEPED-UFSC, 2013).

Figura 6. Registros de estiagem e seca no Estado de Santa Catarina de 1991 a 2012



Fonte: CEPED/UFSC (2013).

Todos os anos o estado de Santa Catarina é acometido pela estiagem e a situação de emergência é noticiada pelos diferentes veículos de comunicação do estado e do Brasil. As notícias, em sua maioria, evidenciam as perdas na produção agrícola, a falta de água para abastecimento, os recordes na intensidade da seca, as cidades em situação de emergência e principalmente os prejuízos econômicos que a estiagem e seca promovem na região (Quadro 4).

Quadro 4. Reportagens sobre os eventos de seca e estiagem no estado de Santa Catarina

Fonte	Título da reportagem	Ano	Síntese
ND+	Defesa Civil monitora municípios atingidos pela estiagem em Santa Catarina	27.03.2012	A Secretaria de Estado da Defesa Civil acompanha a situação dos municípios atingidos pela estiagem em Santa Catarina. Conforme último relatório, atualizado terça-feira (27), são 113 municípios em situação de emergência
ND+	Seca no meio-oeste é uma das piores dos últimos cem anos no mês de novembro, segundo a Epagri	06.12.2012	A prefeitura de Joaçaba decretou situação de emergência no fim da tarde desta quarta-feira (5). De acordo com o prefeito Rafael Lasko, a falta de chuva prejudicou grande parte das culturas no município. “O quadro climático de novembro prejudicou muito a produção de grãos e existe um apelo dos agricultores para avaliação criteriosa desse quadro”, enfatizou o prefeito.
g1	Seca pode prejudicar até 50% da colheita de melancias no sul de SC	04.12.2014	Estiagem prejudica produção da fruta em Jaguaruna desde novembro. Seca e calor afetam também metade das plantações de milho.

Fonte	Título da reportagem	Ano	Síntese
ND+	Segunda estiagem de 2017 castiga produtores agrícolas de Santa Catarina	21.09.2017	Prestes a completar um mês de seca, Santa Catarina deve ter redução de 29% da produção das lavouras de trigo
ND+	Seca pode ser a maior dos últimos 20 anos em Santa Catarina, aponta CASAN	22.09.2017	Desde o dia 23 de agosto não chove regularmente no estado; CASAN pede que a população economize água
ND+	Estiagem de 2019 é semelhante às ocorridas em 2014 e 2017 em Santa Catarina, afirma Epagri	25.09.2019	As estiagens ocorridas em 2014 e 2017 foram semelhantes à ocorrida em 2019, com persistência e sem prazo para ser encerrada.
ND+	Estiagem: governo autoriza perfuração de poços artesianos	04.05.2020	O governo do Estado autorizou a perfuração de poços artesianos para minimizar os impactos da estiagem aqui em Santa Catarina.
ND+	CASAN anuncia perfuração de poços para minimizar estiagem em Chapecó	13.01.2021	A informação foi repassada ao prefeito João Rodrigues em audiência realizada em Florianópolis; a perfuração iniciará no bairro Boa Vista.
ND+	SC tem nove cidades em nível crítico de estiagem e seca extrema; veja quais	03.09.2021	Boletim Hidrometeorológico divulgado pelos órgãos de controle do Estado ainda mostram 83 cidades em atenção e 27 em alerta
ND+	Seca extrema em SC: veja as cidades em situação de emergência e o risco de faltar água no verão	21.12.2021	Nos últimos dois anos, choveu 900 mm a menos no Estado; seca se mantém em níveis graves e extremos na região Oeste
Correio de Santa Catarina	Seca no Oeste catarinense chega a R\$3,7 bilhões em prejuízos	03.03.2022	O déficit hídrico tem causado secas mais intensas nos últimos 3 anos. Isso tem causado anos com abundância de produção, intercalados com seqüências de anos ruins e grandes prejuízos.
NSC-DC	Oeste de SC vive drama com falta de água e estiagem provoca prejuízo bilionário à economia	26.02.2022	Moradores buscam alternativas para manter higiene e alimentação, enquanto agricultura acumula perdas históricas devido à falta de chuva; especialistas alertam que a situação pode piorar nos próximos meses.
Estadão	Seca e onda de calor no Sul e Centro-Oeste já causam perdas de R\$ 45 bilhões no agronegócio	13.01.2022	Prejuízos equivalem a 40% do valor da produção agrícola no Rio grande do Sul, e a 37% no Paraná; soja e milho são as culturas mais atingidas pela falta de chuva e por temperaturas perto de 40°C.
g1	Seca histórica em SC: 42% das cidades decretam emergência; 'Situação desumana', diz moradora	23.02.2022	Santa Catarina tem 125 cidades com decretos de emergência assinados por conta da seca. Em 2020 o estado igualou a pior seca da história do estado, registrado anteriormente em 1957.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

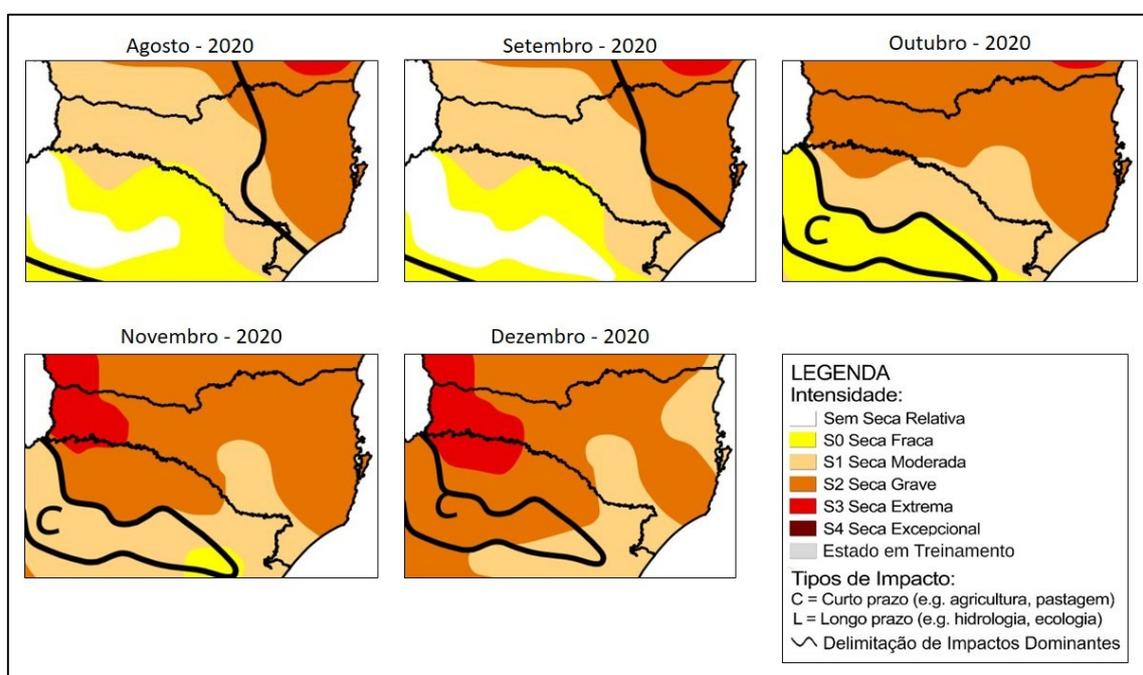
Nota-se que entre os principais impactos causados pelas estiagens, são os prejuízos na produção agrícola os mais fortemente sentidos ou evidenciados (pelos veículos de comunicação). E a situação de emergência tem levado a autorização das perfurações de poços tubulares nas áreas rurais mais atingidas por esses eventos nesses momentos (Meio Oeste catarinense).

Uma ferramenta interessante, que foi implementada inicialmente para monitorar a seca na região Nordeste do Brasil é o **Monitor de Secas**, o qual está sob a liderança da Agência Nacional de Águas – ANA e do Instituto Nacional de

Meteorologia – INMET. A partir de agosto de 2020 o monitor de secas passou a apresentar informações sobre as secas no estado de Santa Catarina. Nas imagens a seguir é possível observar as informações geradas pelo Monitor de Secas para o estado catarinense nos anos de 2020, 2021 e 2022 (Figuras 8, 9 e 10).

Com relação ao ano de 2020 é possível observar que de agosto a dezembro, todo o estado de Santa Catarina apresenta seca com intensidade variando entre moderada e extrema. O período de seca mais extremo começou a partir do mês de novembro no extremo oeste (Figura 7).

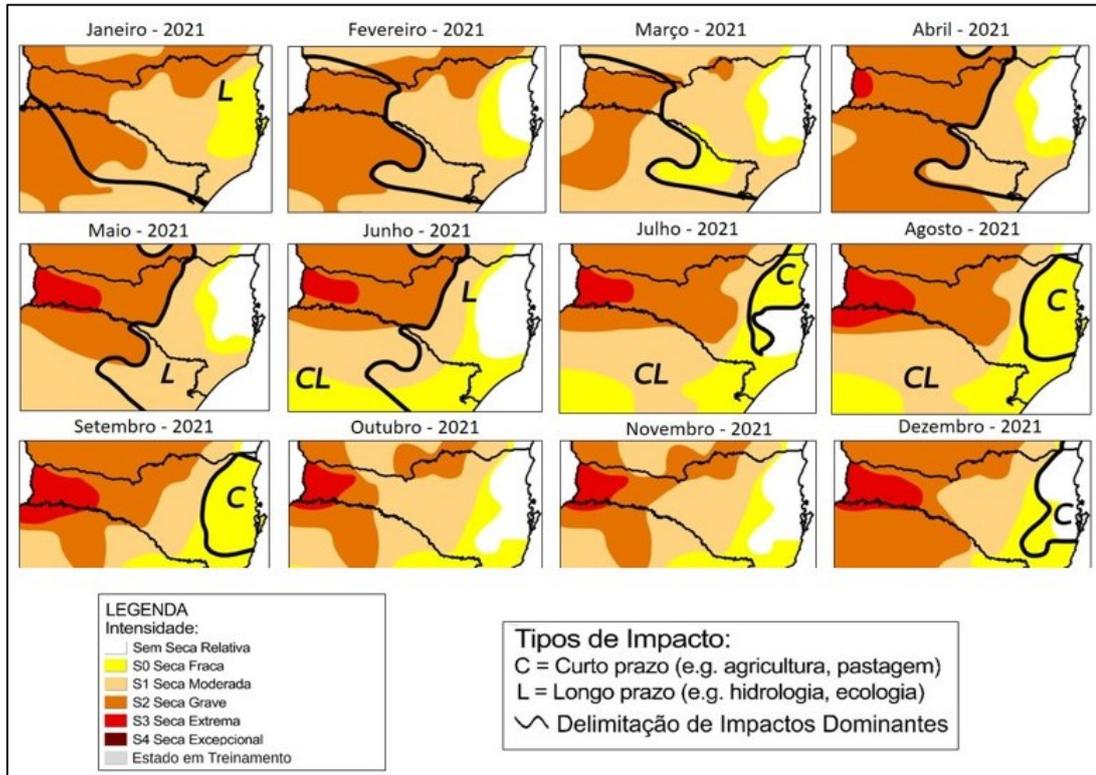
Figura 7. Mapas da seca no estado de Santa Catarina – ano 2020



Fonte: Adaptado de Monitor de Secas (2022). Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br>

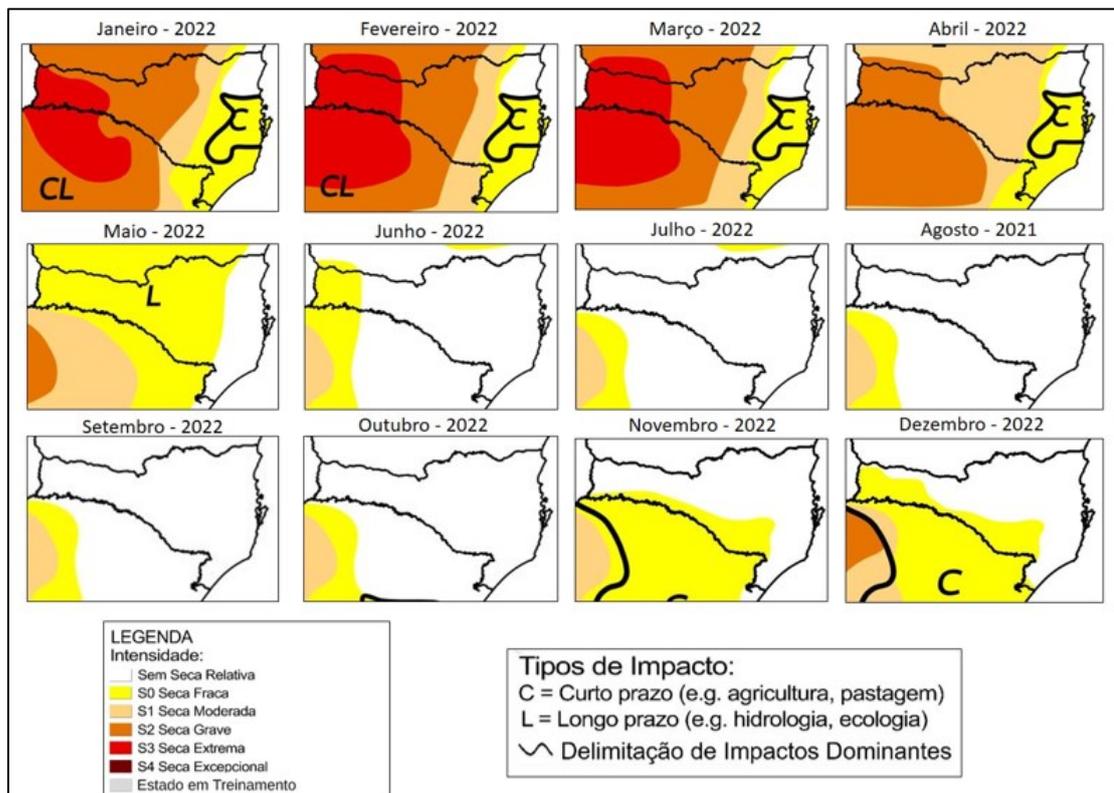
Na Figura 8, observa-se que a partir de janeiro de 2021 a seca diminui de intensidade em todo o estado, passando de extrema para grave no Oeste; de grave para moderada na região central do estado e de grave para fraca no litoral e seguindo a tendência de diminuição de intensidade até março de 2021. A partir de abril daquele ano a seca extrema retorna no extremo oeste catarinense, seguindo com intensidade extrema e grave ao longo dos meses em direção ao meio oeste até o mês de agosto. A partir de setembro há uma sensível redução da área afetada pela seca extrema e grave no meio oeste de Santa Catarina, mas com a persistência da mesma até o final do ano de 2021 (Figura 8).

Figura 8. Mapas da seca no estado de Santa Catarina – ano 2021



Fonte: Adaptado de Monitor de Secas (2022). Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br>

Figura 9. Mapas da seca no estado de Santa Catarina – ano 2022

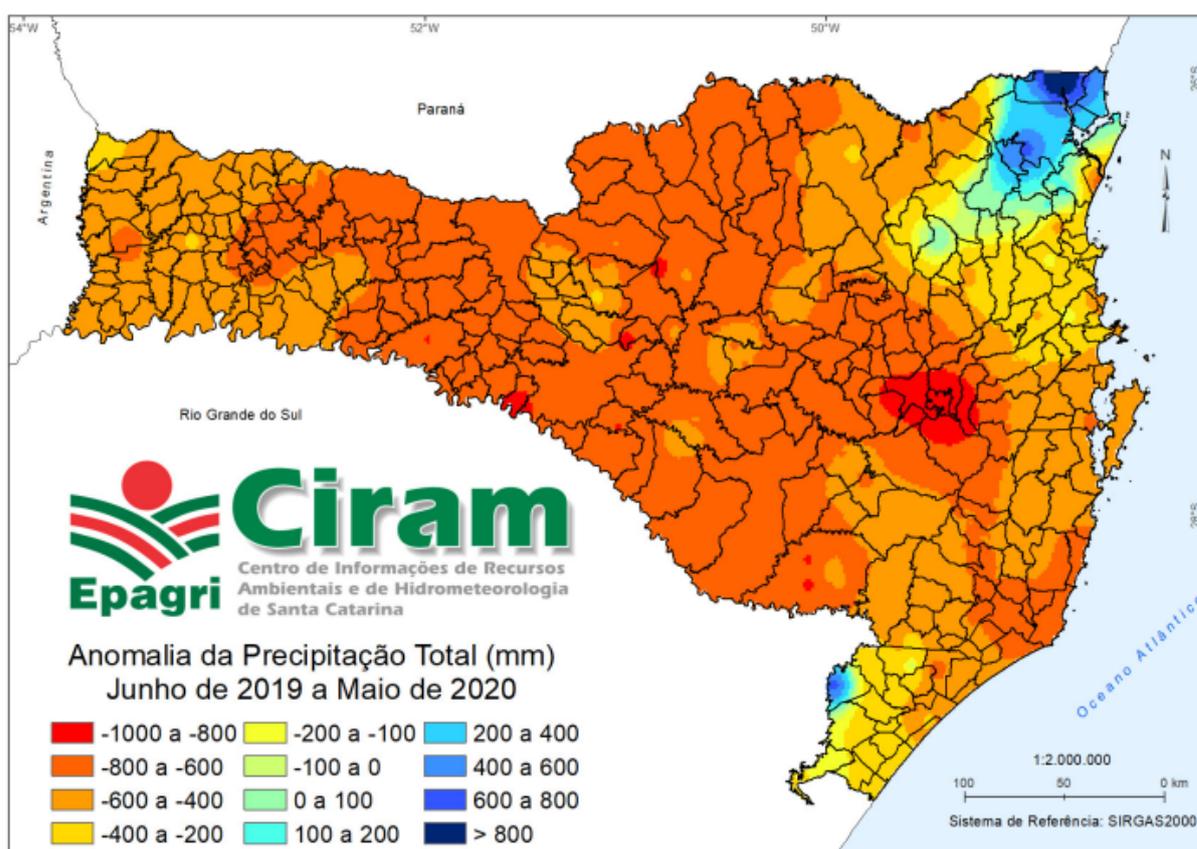


Fonte: Adaptado de Monitor de Secas (2022). Disponível em: <https://monitordesecas.ana.gov.br>

No ano de 2022, a partir de janeiro a seca com intensidade extrema e grave volta a se expandir em direção à região central do estado, persistindo até o mês de abril, e cedendo a partir de então (Figura 9).

De acordo com Miranda Junior et al. (2020) no ano de 2019 os meses de junho a agosto e setembro foram de prolongados períodos secos em Santa Catarina. Em outubro e novembro a precipitação foi melhor distribuída, porém, no período de dezembro de 2019 a maio de 2020 foram constatadas anomalias na precipitação. De acordo com os autores, foram identificadas anomalias negativas entre 600mm e 800mm na maior parte do estado no período de 12 meses (junho/2019 a maio/2020) (Figura 10).

Figura 10. Anomalia de chuva entre junho de 2019 e maio de 2020 em Santa Catarina.



Fonte: Miranda Junior et al. (2020).

Há que se considerar a possível relação entre o desflorestamento da Amazônia e a intensificação dos eventos de seca nas regiões Sul e Sudeste. Fearnside (2021) afirma que a umidade chega às regiões sul, sudeste e centro-oeste

do Brasil por correntes de ar procedentes da Bolívia e da parte ocidental da Amazônia brasileira, sendo que a importância do suprimento de vapor de água para o sul, sudeste e centro-oeste varia de acordo com a estação do ano. De acordo com Nobre (2014), a Amazônia é responsável por levar “chuvas essenciais” a essas regiões, e o desflorestamento tem feito com que a formação de vapor na Amazônia diminua e conseqüentemente se intensifique a seca nessas regiões do país.

Para compreender essa dinâmica é importante entender primeiro a influência da floresta Amazônica sobre os efeitos físicos na atmosfera. Nesse sentido, Nobre (2014) explica que “os processos de transpiração e condensação mediados pelas árvores mudam a pressão atmosférica e arrastam a necessária umidade do oceano para o continente”. Com isso observa-se uma redução localizada de pressão que ‘puxa’ os ventos do mar para a terra e por conseguinte produzem as chuvas na área florestada. Assim, caso a floresta seja removida a evaporação no continente será menor que no oceano, o que provocará a reversão dos fluxos atmosféricos e a desertificação da então área florestada (Nobre, 2014).

Esse fenômeno, de transpiração abundante das árvores em maior proporção que a evaporação nos oceanos contíguos, é conhecido como Bomba Biótica. A qual, faz com que através da condensação nas nuvens ocorra um rebaixamento da pressão atmosférica sobre a floresta, possibilitando que o ar úmido sobre o oceano seja sugado para dentro do continente (Makarieva e Gorshkov, 2007). A partir desse processo de “bombeamento” a umidade é então transportada por meio dos “rios aéreos” para outras regiões.

Arraut (2012) explica que os termos ‘rio aéreo’ ou ‘rios voadores’ remetem aos caminhos de fluxo de umidade, que podem ser filamentosos ou largos. Assim, é estabelecida uma analogia com os rios de superfície, em que os ‘rios aéreos’ perdem água através da precipitação e ganham por meio da evaporação, enquanto com os rios de superfície ocorre o contrário. Na Figura 11 é possível observar que os rios voadores são formados a partir da evaporação da água proveniente do Oceano Atlântico, a qual é levada para dentro da Amazônia por meio dos ventos alísios, caracterizados por sua alta umidade. Na floresta ocorre a precipitação intensa e a recarga dos ventos de umidade por meio da evaporação advinda da própria floresta Amazônica. Os ventos de umidade seguem em direção à Cordilheira dos Andes onde parte da água é novamente precipitada, reabastecendo a bacia Amazônica e o

restante segue em direção ao sul, provendo chuva para o sul do continente Sul-Americano (Cordeiro; Rezende, 2021; Marengo, 2020).

Figura 11. Formação dos Rios Voadores e seu percurso pelo continente.



Fonte: Adaptado de Marengo, 2020.

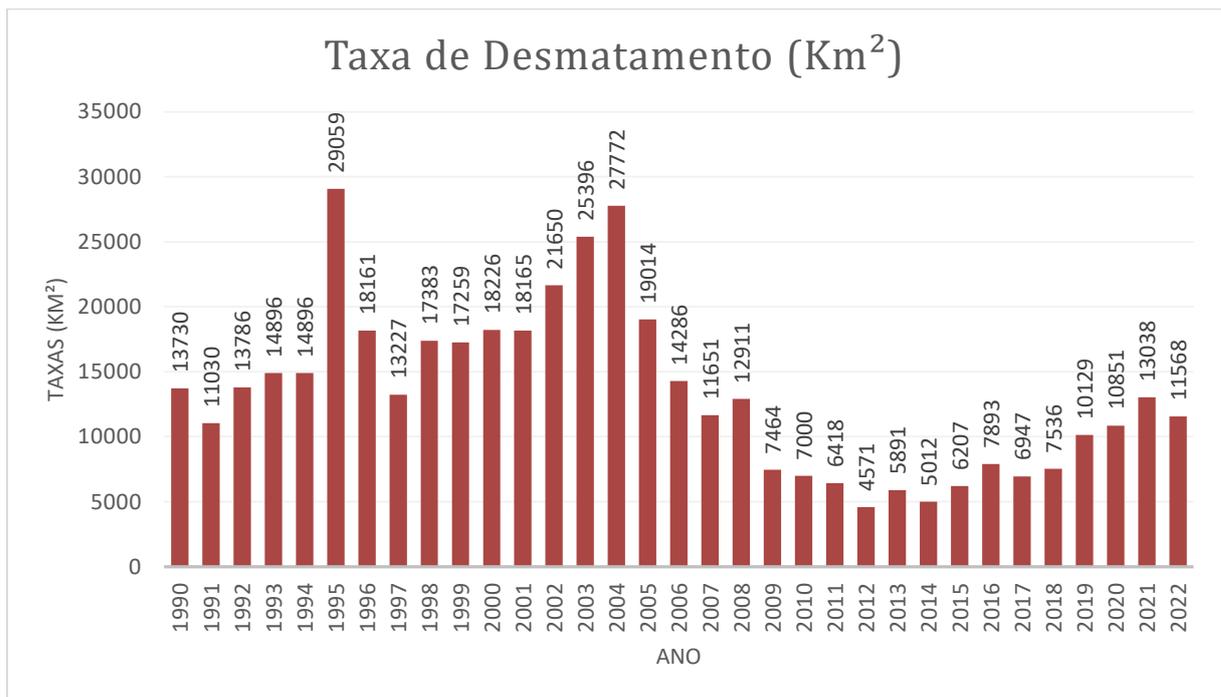
De acordo com Marengo (2020), o desflorestamento é visto como uma ameaça ambiental que reduz a umidade proveniente da vegetação para a atmosfera, reduzindo assim o volume de água transportado pelos 'rios voadores'. Nesse sentido, há consenso entre autores (Marengo, 2020; Nobre, 2014; Costa, 2021) sobre a relação entre o desflorestamento da Amazônia e a menor incidência de chuvas nas regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil. Entretanto, não é possível afirmar que o prolongamento do período de estiagem e seca no sul do país tenha influência apenas das dinâmicas ambientais ocorridas na região amazônica.

É fato que o fenômeno *La Niña* influencia na ocorrência de estiagem e seca na região, mas esse fenômeno também não é o único responsável pela intensificação

desses eventos na região. Nesse sentido, indica-se o aumento do desflorestamento, com conseqüente interferência nos sistemas atmosféricos, somado à ocorrência do fenômeno *La Niña* - bem como as alterações no clima global - como fatores que, de forma conjunta, têm levado à intensificação da seca na região.

Na figura 12 é possível observar que a partir do ano de 2004 até 2012 houve uma queda na taxa de desflorestamento da Amazônia brasileira e que a partir de 2014 o desflorestamento voltou a se intensificar. Esse aumento do desflorestamento coincide com o período de aumento da estiagem nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, em especial no estado de Santa Catarina. Entretanto, conforme dito anteriormente, ainda não é possível afirmar que haja correlação direta entre esses dados.

Figura 12. Taxas de desflorestamento da Amazônia brasileira.



Fonte: Adaptado de INPE – PRODES (Desmatamento), 2022.

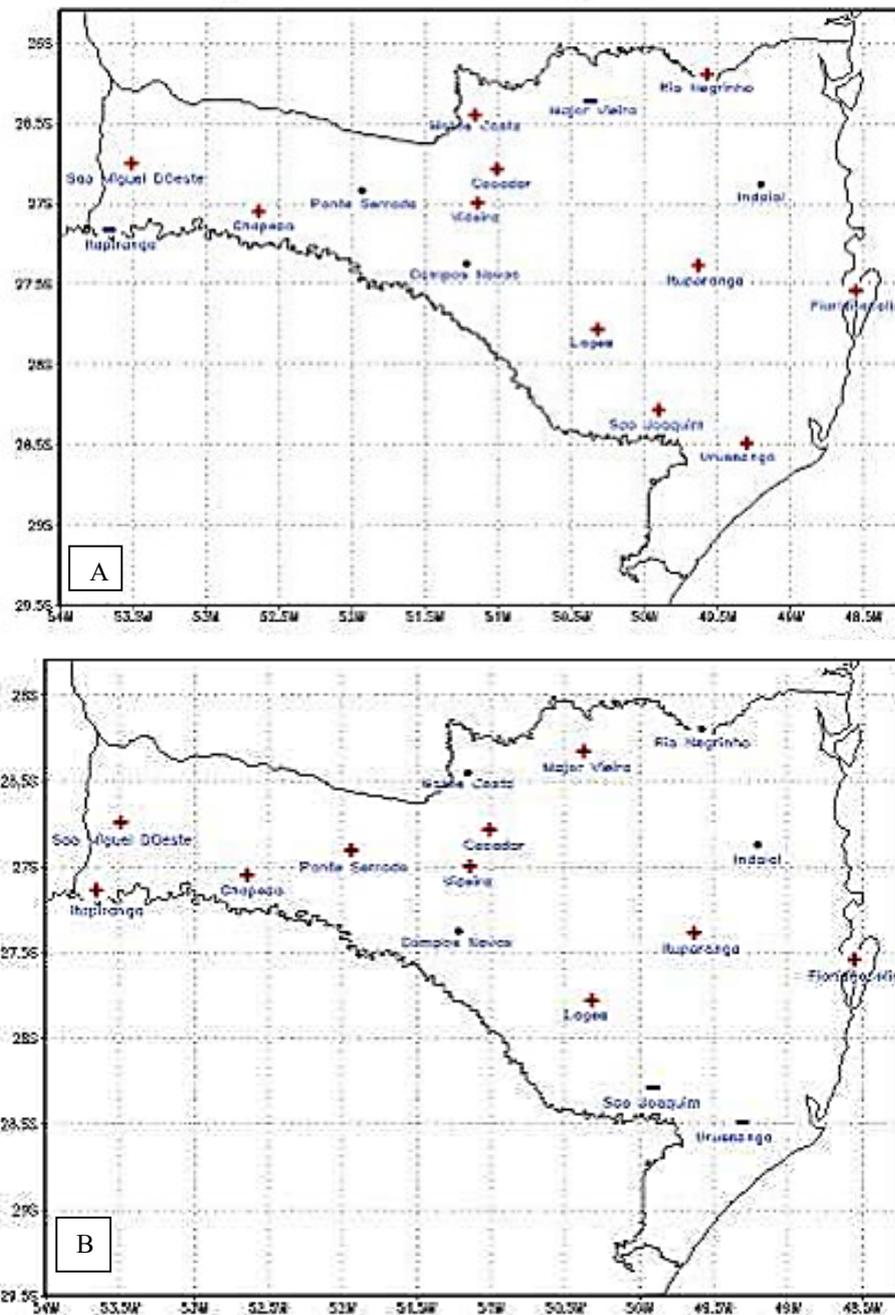
Outro fator que influencia diretamente sobre a dinâmica das águas em Santa Catarina é a Floresta Atlântica, que é responsável pela regulação dos fluxos dos mananciais, manutenção da fertilidade do solo e equilíbrio climático (Cardoso, 2016). Desde o período colonial, por meio do crescimento populacional e urbano, e de atividades exploratórias, vem ocorrendo o desflorestamento dessa área. A floresta Atlântica é um ecossistema bastante degradado e fragmentado, mas ainda assim, um

dos mais ricos em biodiversidade. Entretanto, a supressão desses fragmentos ou a falsa ideia de reflorestamento por meio de monoculturas (eucalipto, pinus) é preocupante e já impactam de forma severa as águas subterrâneas.

Algumas regiões do estado de Santa Catarina têm sido alvo das mudanças no clima, principalmente no que se refere aos períodos de estiagem e às sucessivas ocorrências de eventos extremos de precipitação. Esse fato, segundo Spinelli et al. (2012), indica que há uma considerável variabilidade na precipitação em Santa Catarina; e destaca as mesorregiões do Oeste Catarinense, Vale do Itajaí e Grande Florianópolis como as mais afetadas por estiagens e inundações sendo que os municípios mais afetados pela estiagem estão localizados na mesorregião Oeste e nos planaltos catarinenses.

Camargo et al. (2009) mostram que há tendências anuais de incremento na temperatura mínima em 11 das 16 localidades investigadas no estado de Santa Catarina, considerando a série histórica de cada local. Os sinais positivos mostrados na Figura 13 A indicam aumento de temperatura mínima do ar, os sinais negativos indicam diminuição e os pontos representam dados não significativos. Quanto à temperatura máxima, a tendência de incremento é verificada, na Figura 13 B, em 10 das 16 localidades investigadas pelos autores.

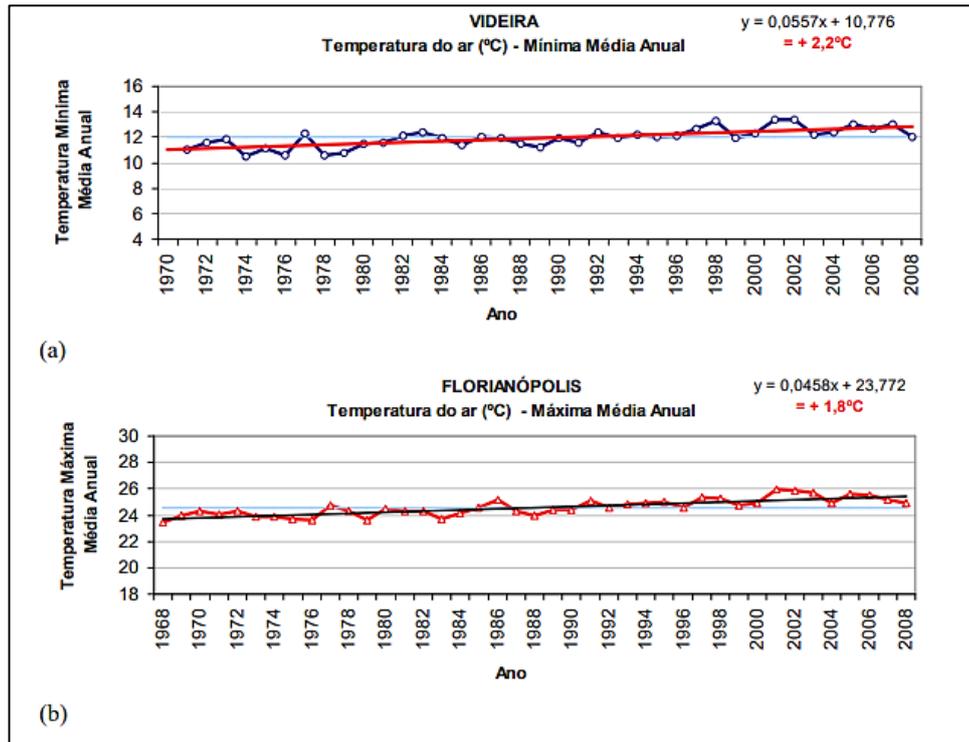
Figura 13. A) Tendências anuais da temperatura mínima do ar em Santa Catarina, B) tendências anuais da temperatura máxima do ar em Santa Catarina considerando a série histórica de cada localidade



Fonte: Adaptado de Camargo et al. (2009).

No que se refere à temperatura média, duas localidades catarinenses são destacadas por Camargo et al. (2009): Videira e Florianópolis. A Figura 14 mostra tendências anuais da temperatura do ar, mínima (a) e máxima (b), para essas localidades. As linhas vermelhas representam as tendências ao longo da série histórica de cada estação e a linha em azul representa a média histórica.

Figura 14. Tendências anuais da temperatura mínima e máxima para as localidades de Videira e Florianópolis respectivamente.



Fonte: Adaptado de Camargo et al. (2009)

Eventos extremos relacionados com altas temperaturas geram impactos na saúde e mortalidade humana e, mesmo em situações em que não haja risco de morte, ocorrem impactos sociais, econômicos e aos ecossistemas (Minuzzi; Frederico, 2017). Nesse sentido, observa-se a importância de estudos de variabilidade climática local e regional para a elaboração de planos de gestão, mitigação e adaptação aos impactos sociais e ambientais que as alterações climáticas, intensificadas pelas atividades humanas, podem causar. Entretanto, devido à ausência de séries históricas completas, ainda existe dificuldade em relação à definição dessas mudanças nos níveis regional e local (Cardoso; Quadro, 2017).

Pesquisas desenvolvidas por Minuzzi (2010a), e Minuzzi e Frederico (2017), estudaram a variabilidade da temperatura no estado de Santa Catarina; Minuzzi (2010b), Minuzzi e Lopez (2014), Gotardo et al. (2018), Minuzzi (2018), Baptista e Severo (2018), Murara e Mendonça (2019), mostram o comportamento das chuvas no estado de Santa Catarina; Souza et al. (2011), buscaram determinar a demanda de água para irrigação do milho durante eventos de La Niña, considerando que durante esses eventos as chuvas ficam abaixo da média.

José e Minuzzi (2020) buscaram analisar o desempenho na estimativa de precipitação pelo Radar Meteorológico do Oeste (RMO) de Santa Catarina em diferentes escalas de tempo (10 minutos, 60 minutos e 24 horas) por meio da comparação com o mensurado nos pluviômetros, e concluíram que quanto menor o intervalo de tempo estimado de precipitação pelo RMO, menor tende a ser o desempenho do mesmo, uma vez que para ter um bom desempenho seria necessário obter valores de correlação com os pluviômetros acima de 0,70 (índice de confiança). E destacam que “para os valores acumulados de 24 horas e de 60 minutos, o radar tende a superestimar a precipitação, principalmente para menores quantidades”. Para os autores, os baixos desempenhos na precipitação estimada para intervalos de tempo menores reforçam a necessidade de calibração do radar meteorológico do Oeste.

Perera et al. (2020) afirmam que a alteração no clima provavelmente se acelerará ainda mais, o que causará eventos climáticos extremos cada vez mais frequentes e fortes. O aumento dos extremos climáticos leva a alguns impactos irreversíveis à medida que os sistemas naturais e humanos sejam empurrados para além de sua capacidade de adaptação (IPCC, 2022). E a água é o principal meio através do qual as alterações climáticas farão sentir os seus efeitos nas pessoas, nos ecossistemas e nas economias. Seja em decorrência da falta de água por períodos prolongados de seca, ou pelas inundações causadas pelo aumento da frequência e intensidade das chuvas, e mesmo pela perda da qualidade da água para consumo.

A disponibilidade de água em quantidade e qualidade necessárias para a manutenção da vida humana e dos ecossistemas é ponto fundamental diante das mudanças climáticas globais. Portanto, a gestão das águas deve constituir uma abordagem preventiva para a adaptação às mudanças climáticas (Sadoff; Muller, 2010).

A intensificação da escassez hídrica em algumas regiões é compreendida pelos autores pesquisados como resultado do processo de mudanças climáticas globais. Embora já exista consenso acerca da ocorrência dessas mudanças, ainda existem incertezas que precisam ser estudadas mais a fundo. Muitas dessas incertezas ocorrem devido às poucas informações de indicadores locais que possam ser incorporados aos modelos de análise climática. Além disso, simulações de alta resolução, mais poder computacional e observações confiáveis *in situ* e baseadas em satélite são fundamentais para entender como e quais fatores são mais fortemente

impactados por essas mudanças. Os estudos destacam a importância dos cientistas do clima, da saúde e sociais, bem como engenheiros e modeladores no desenvolvimento de métodos que visem melhorar as previsões.

No que se refere aos aquíferos, as incertezas são ainda maiores, pois ainda não se entende suficientemente como os aquíferos respondem à variabilidade e às mudanças climáticas. Dessa forma, mais pesquisas, juntamente com o monitoramento das águas subterrâneas e da umidade do solo, são necessárias para compreender como os aquíferos respondem às mudanças no clima, assim como ao bombeamento excessivo e às pressões que as atividades humanas impõem aos mesmos. Dessa forma, a utilização de cenários para conhecer as possibilidades futuras de alteração dos processos de recarga auxilia no desenvolvimento de medidas preventivas em relação às situações críticas ou de calamidade para as gerações vindouras, quanto à disponibilidade de água (Gomes, 2008).

Os resultados dessas pesquisas podem contribuir para a elaboração de planos de gestão para as águas subterrâneas e o ecoambiente relacionado diante das crescentes pressões das intensivas atividades humanas sobrepostas às mudanças climáticas. Dessa forma, a governança deve ser fortalecida e é necessária uma orientação mais eficaz sobre como responder às crises futuras.

Para que essas medidas ocorram é fundamental o investimento em pesquisas sobre o tema e o fortalecimento das instituições para que dados sejam produzidos e analisados, e a fiscalização e monitoramento sejam realizados, o que não se verifica atualmente no Brasil. O sucateamento de instituições de fiscalização e monitoramento ambiental, como o IBAMA e ICMBio, por parte do governo brasileiro (especialmente período 2019-2022) implica diretamente na ausência de mecanismos de gestão das secas no Brasil.

O aumento do desflorestamento desde o Golpe de Estado que afastou a Presidenta Dilma, e o desmantelamento das políticas ambientais no país perpetrado durante o (des)governo Bolsonaro, magnificaram os impactos econômicos, sociais e principalmente ambientais dos eventos possivelmente relacionados às mudanças climáticas.

4 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: CARACTERÍSTICAS E PRESSÕES SOBRE O SISTEMA EM UM CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

As águas subterrâneas compreendem uma fase do ciclo hidrológico, já que constituem uma parte da água precipitada. Parte da água que atinge o solo através da precipitação, se infiltra e percola no interior do subsolo por períodos de tempo bastante variáveis, uma vez que fatores como: porosidade do subsolo, cobertura vegetal, inclinação do terreno e tipo de chuva, podem influenciar no processo de infiltração (Boscardin Borghetti et al., 2004).

Hirata et al. (2019) destacam que as águas no interior de um aquífero fluem de forma lenta desde a zona de recarga até a zona de descarga, onde as águas subterrâneas vertem diretamente em corpos de água superficial, como no caso de rios, lagos, pântanos e o mar.

São vários os fatores que podem causar pressão sobre as águas, em especial sobre os sistemas de águas subterrâneas, e afetar as opções e os requisitos para o gerenciamento da água, sendo estes principalmente fatores socioeconômicos, como também as mudanças climáticas (Hassing et al., 2009). Suguio (2006) e Tucci et al. (2003), afirmam que entre os principais problemas ambientais globais relacionados com a água destacam-se: o aquecimento global, a chuva ácida, a destruição da camada de ozônio, a disposição inadequada de resíduos sólidos e/ou perigosos, a poluição oceânica, o desflorestamento, a diminuição de espécies da vida selvagem, despejo de poluentes em rios e a desertificação. Todos esses fatores, de algum modo, podem afetar a dinâmica das águas subterrâneas, especialmente no que diz respeito a sua qualidade e quantidade.

Devido aos recursos hidrológicos serem bastante influenciados pelas pressões humanas, os efeitos das mudanças climáticas sobre as massas de água subterrânea devem ser considerados a partir de diferentes perspectivas. Destaca-se que tanto o clima quanto as pressões humanas são responsáveis por definir as mudanças globais (Mas-Pla; Menció, 2019). Dessa forma, a variabilidade climática influencia na interação entre as águas superficiais e subterrâneas de maneira dinâmica, uma vez que pode afetar o ciclo hidrológico modificando o armazenamento de água no solo e as taxas de evapotranspiração devido ao aumento da temperatura, o que poderia causar alterações nos níveis de água subterrânea e, por conseguinte, afetar a interação rio-aquífero (Batista et al., 2018).

Se comparadas às águas superficiais, nota-se que as águas subterrâneas são uma fonte atraente de água doce porque permitem retiradas mesmo durante as estações secas, quando os rios carregam pouca ou nenhuma água sendo, ainda, muitas vezes menos poluídas do que as águas de superfície (Kundzewicz; Döll, 2009; Liu, 2011). Ademais, as águas subterrâneas apresentam geralmente excelente qualidade natural e, na maior parte das vezes, dispensa-se o tratamento pós-extração, como é comum às águas de rios, lagos e açudes (Hirata et al., 2019). Entretanto, Ribeiro et al. (2019) ressaltam que embora a utilização de aquíferos como fonte de abastecimento para a população humana seja importante e já se apresente como a principal fonte de abastecimento, existem aquíferos com águas armazenadas em eras geológicas tão antigas que a extração dessa água significaria consumir o reservatório em sua totalidade no longo prazo, podendo ser compreendida como a 'mineração da água' (Foster; Hirata, 2009). Esta água, portanto, pode ser definida como um recurso não-renovável, diferente da água superficial.

Com vistas a discutir sobre os principais fatores que podem causar pressão sobre os aquíferos em um contexto de mudanças climáticas, buscou-se dividir este capítulo em cinco subcapítulos: 1. Características e funções dos Aquíferos, 2. Vulnerabilidade às mudanças climáticas: diferentes perspectivas, 3. Métodos para análise de vulnerabilidade de aquíferos, 4. Pressões sobre um sistema aquífero diante de mudanças climáticas globais e 5. Crescimento populacional e a pressão sobre as águas subterrâneas. Busca-se, assim, apresentar e discutir os principais conceitos relacionados com a temática da pesquisa, bem como evidenciar os aspectos que contribuem para o aumento da vulnerabilidade dos aquíferos.

4.1 CARACTERÍSTICAS E FUNÇÕES DOS AQUÍFEROS

De acordo com a Lei do Saneamento Básico, nº 11.445 de 05 de janeiro de 2007, “as águas subterrâneas são aquelas que se encontram sob a superfície da Terra, preenchendo os espaços vazios existentes entre os grãos do solo, rochas e fissuras (rachaduras, quebras, descontinuidades e espaços vazios)”. Já as **rochas** saturadas que possibilitam a circulação, o armazenamento e a extração de água são chamadas de aquíferos; e geralmente os aquíferos possuem a capacidade de armazenar grande quantidade de água (BRASIL, 2007). Ou seja, correspondem ao

material geológico (rocha ou solo) capaz de servir de repositório e de transmissor da água ali armazenada (Boscardin Borghetti et al, 2004).

A definição de aquífero segundo Tucci (2009) é de “uma formação geológica (ou um grupo de formações) que contém água e permite que a mesma se movimente em condições naturais e em quantidades significativas”; e para a Agência Nacional de Águas – ANA corresponde a “uma ou mais camadas subterrâneas de rocha ou outros estratos geológicos suficientemente porosos e permeáveis para permitirem um fluxo significativo de águas subterrâneas ou a captação de quantidades significativas das mesmas” (Brasil, 2014).

Segundo Costa (2007), existem três formas principais em que a água ocorre no subsolo: a) nas rochas fraturadas, b) nos terrenos fraturados-cársticos e c) nas rochas sedimentares. Na primeira, a água está presente nas discontinuidades da rocha, como no caso das falhas e fraturas; isso ocorre geralmente com as rochas ígneas e metamórficas. Nos terrenos fraturados-cársticos ocorre também a discontinuidade da rocha, além de uma dissolução ao longo dos planos de fraturas, em função da presença de minerais solúveis, como nas rochas calcárias. Já nas rochas sedimentares como os arenitos e mesmo as areias, a água é armazenada nos espaços entre os grãos da rocha, sendo este último o tipo que apresenta os melhores aquíferos.

De acordo com Boscardin Borghetti et al. (2004), Feitosa et al. (2008) e Rebouças (2013) são funções dos aquíferos:

- **PRODUÇÃO** – fornece água em quantidade e qualidade adequadas para os usos múltiplos;
- **AMBIENTAL** – fornecem água para a manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade;
- **ESTOCAGEM E REGULARIZAÇÃO** – armazenam água em períodos de chuva, cedendo em épocas de estiagem para os rios e lagos;
- **FILTRAGEM** – atuam como filtros naturais, minimizando os custos de tratamento para consumo;
- **TRANSPORTE** – conduzem água de uma área de recarga (onde a água infiltra) para as áreas de bombeamento, onde estão situados os poços;
- **ESTRATÉGICA** – protegem a água armazenada tanto da evaporação como das consequências das guerras e sabotagens;

- ENERGÉTICA – permitem a utilização de água subterrânea aquecida pelo gradiente geotermal, como fonte de energia elétrica ou termal.

Essas funções evidenciam a importância que os aquíferos apresentam para a sociedade nas suas mais diversas atividades, além de serem fundamentais para a manutenção dos ecossistemas, pela sua interação com as águas superficiais.

No que diz respeito à recarga natural de um aquífero, há dependência direta do regime pluviométrico, ou seja, da quantidade de chuvas, bem como do balanceamento entre a infiltração, o escoamento e a evaporação (BRASIL, 2007). Dessa forma, aspectos como topografia, características do solo e a cobertura vegetal são fundamentais para o processo de recarga dos aquíferos.

Nesse contexto, existem duas formas de recarga dos mesmos, a direta e a indireta. A primeira ocorre nos aquíferos livres em toda a sua extensão através de infiltração direta das águas na superfície do solo, e nos aquíferos confinados apenas nas áreas de afloramento. Já a recarga indireta, ocorre quando os aquíferos não estão em contato direto com as águas superficiais e são recarregados através de outras rochas (Brasil, 2007; Boscardin Borghetti et al, 2004).

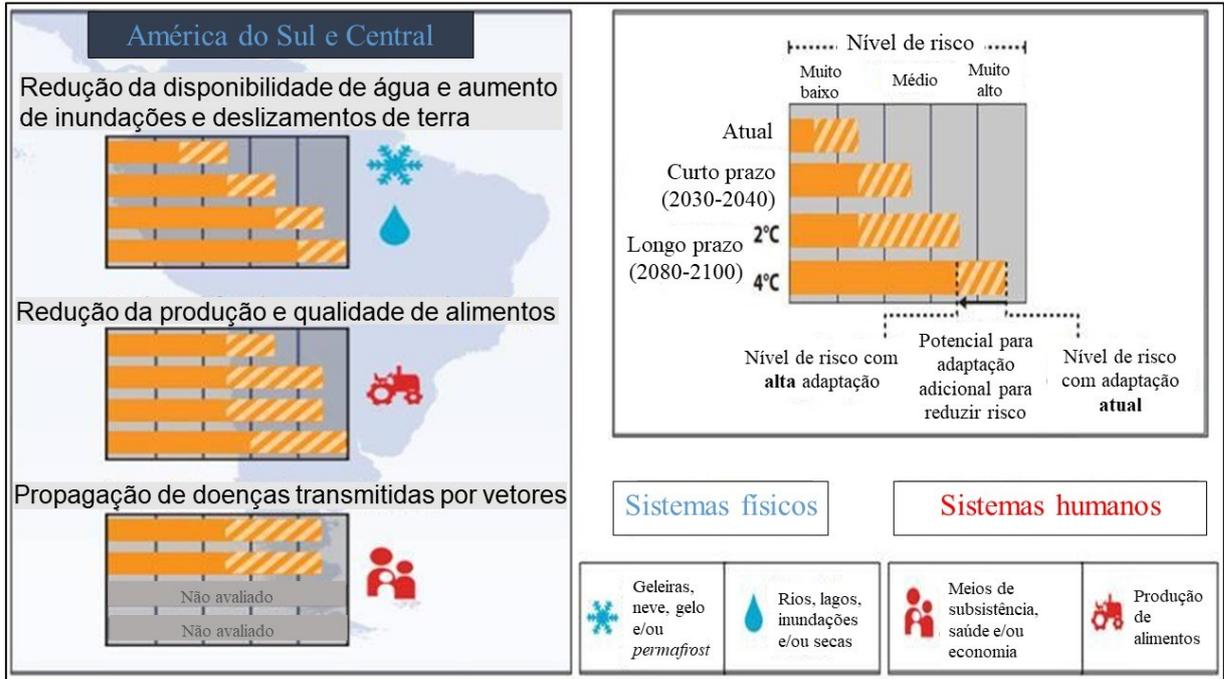
Por se tratarem de áreas fundamentais para a manutenção da qualidade e quantidade das águas subterrâneas, é importante que estas áreas sejam protegidas, de modo a evitar o desflorestamento, o uso incorreto dos solos e a implantação de atividades potencialmente poluidoras (Brasil, 2007). Ainda, para alcançar o uso sustentável das águas subterrâneas, evitando o seu esgotamento, é fundamental que a extração das águas não exceda a recarga média em longo prazo (Döll, 2009).

No contexto das mudanças climáticas, Turrall et al. (2011) afirmam que no geral os impactos prováveis sobre a recarga das águas subterrâneas ainda não foram suficientemente estudados, mas é esperado que nos trópicos e nas altas latitudes ocorra um aumento da precipitação. Já nas regiões áridas e semiáridas nas latitudes médias e no interior de grandes continentes é prevista a diminuição da precipitação e se prevê que os aquíferos localizados em áreas onde o escoamento poderá diminuir, deverão passar por uma redução ainda maior na reposição das águas.

Segundo o quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC, existe grande evidência e elevada concordância entre pesquisadores, de que ocorrerá redução da renovação das águas superficiais e das águas subterrâneas na maioria das regiões subtropicais devido às frequentes secas,

intensificando assim a competição por água entre os setores (IPCC, 2014). Nesse sentido, a Figura 15 destaca os principais riscos e o potencial de redução de riscos nas Américas Central e Sul.

Figura 15. Principais riscos regionais e potenciais de redução de riscos.



Fonte: Adaptado de IPCC, 2014.

Nota-se que existiria um potencial de redução da disponibilidade hídrica, e do aumento das inundações e deslizamentos, além da previsão de diminuição da produção de alimentos e de sua qualidade. E em relação à saúde da população observa-se que poderá ocorrer aumento das doenças causadas por vetores.

O risco de contaminação da água subterrânea corresponde à probabilidade de determinado contaminante adentrar a parte saturada do aquífero e atingir a água subterrânea, estando, portanto, relacionado com o uso do solo; e refere-se à vulnerabilidade do aquífero somada às atividades humanas potencialmente poluidoras/contaminantes (Peixoto; Cavalcante, 2019).

4.2 VULNERABILIDADE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: DIFERENTES PERSPECTIVAS

O conceito de vulnerabilidade, compreende diferentes entendimentos, dependendo do objeto foco de análise. Do ponto de vista da vulnerabilidade dos sistemas humanos, às mudanças climáticas, ou seja, da população enquanto principais atingidos por essas mudanças, a vulnerabilidade é compreendida como a capacidade que comunidades e os sistemas humanos têm para lidar e se adaptar às mudanças climáticas. Por outro lado, quando se fala de um aquífero o que se analisa é a vulnerabilidade física do mesmo. Isso porque o aquífero não tem capacidade para se adaptar, mas apresenta uma estrutura própria que lhe permite, ou não, 'resistir' à contaminação por ações antrópicas e aos impactos diretos das Mudanças Climáticas, como as secas mais intensas e prolongadas.

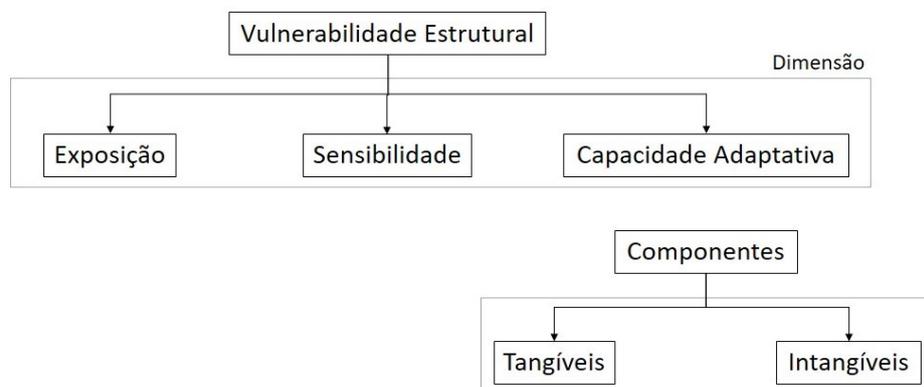
Um cenário que ilustra essas diferentes abordagens é o de uma ilha inabitada pelo homem, a qual, devido ao aumento do nível do mar, é submergida: a única análise de vulnerabilidade adotada é referente às características físicas e talvez ecológicas da mesma. De outro lado, um país insular, cuja população, economia e estruturas sociais em constante ameaça pelo mesmo aumento do nível do mar - mas que por meio de ações antrópicas (construção de mecanismos de adaptação) seja capaz de se adaptar e mitigar os impactos das inundações, apresenta uma análise de vulnerabilidade que compreende os seres humanos e seus meios de vida como vulneráveis.

Dessa forma, não há vulnerabilidade social, econômica e cultural se não há ser humano que venha a ser atingido. Por outro lado, a vulnerabilidade física dos sistemas naturais pode ser intrínseca (própria desses sistemas), mas também construída, ou seja, a partir da inserção do homem enquanto parte da natureza e utilizador dos recursos naturais. Assim, é possível afirmar que em um sistema natural, com características físicas que o tornam menos vulnerável às ameaças climáticas, existe a possibilidade de esse sistema ser afetado e tornar-se mais vulnerável devido às pressões indiretas que as Mudanças Climáticas podem causar.

4.2.1 A vulnerabilidade dos sistemas antrópicos às mudanças climáticas

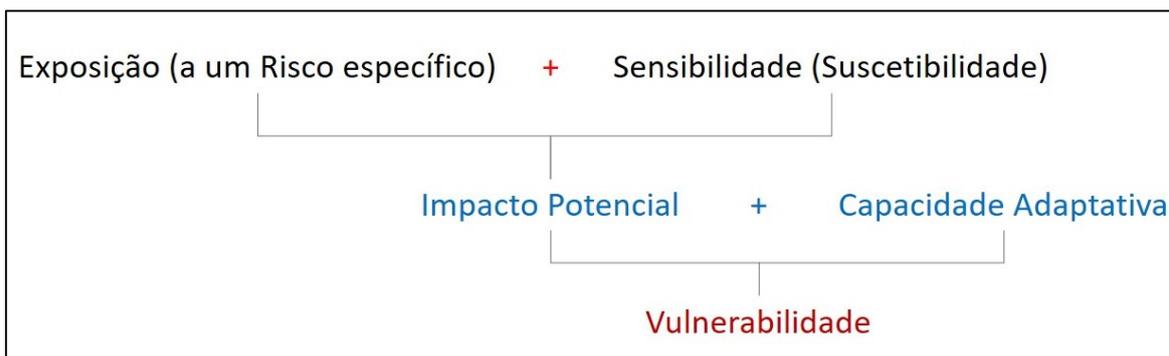
A vulnerabilidade às mudanças climáticas corresponde ao grau em que um sistema é suscetível a efeitos adversos das mudanças climáticas, ou incapaz de lidar com os mesmos, incluindo variabilidade climática e extremos (IPCC, 2007). Nesse sentido, a comunidade acadêmica compreende a vulnerabilidade às mudanças climáticas a partir de três fatores: a exposição, a sensibilidade e a capacidade adaptativa - sendo que na capacidade adaptativa estão inseridos componentes **tangíveis**, que correspondem aos ativos estruturais e à infraestrutura física que gerencia riscos, as estratégias de engenharia, abrigos, além de instituições de apoio psicológico e de saúde para a população afetada durante e após desastres; e os componentes **intangíveis**, que compreendem a capacidade adaptativa das pessoas, suas atitudes e crenças, que influenciam sua ação, sua percepção de risco e a ação coletiva (Andrade; Szlafsztein, 2018; Myers et al., 2011) (Figuras 16 e 17).

Figura 16. Estrutura da vulnerabilidade às mudanças climáticas, incluindo componentes tangíveis e intangíveis.



Fonte: Adaptado de Andrade e Szlafsztein, 2018.

Figura 17. Estrutura de impactos das mudanças climáticas.



Fonte: Adaptado de Myers et al., 2011.

Observa-se, portanto, que a vulnerabilidade às mudanças climáticas pode variar de acordo com: o grau de exposição do sistema a determinado risco, o nível de sensibilidade ao mesmo, e de acordo com a sua capacidade para se adaptar (IPCC, 2007; Pettengell, 2010). Dessa forma, é possível afirmar que quanto maior for a capacidade adaptativa, menor será o grau de vulnerabilidade relacionado à ameaça. Importante destacar que embora os conceitos de capacidade adaptativa e resiliência sejam utilizados algumas vezes como sinônimos, existem diferenças importantes entre os mesmos.

A resiliência deve ser entendida como um subconjunto da capacidade adaptativa, uma vez que é definida em termos de mudanças de estado entre domínios, sendo uma propriedade interna do sistema, que não inclui a exposição às perturbações (Gallopín, 2006). Já a capacidade adaptativa compreende a capacidade de um sistema de ajustar-se às mudanças climáticas para moderar danos potenciais, aproveitar oportunidades ou lidar com as consequências.

4.2.2 A vulnerabilidade dos sistemas de águas subterrâneas

No que se refere à vulnerabilidade de um aquífero, ela pode ser **intrínseca** (ou natural), que corresponde à vulnerabilidade das águas subterrâneas aos contaminantes gerados pelas atividades antrópicas, considerando as características geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas e hidrogeoquímicas inerentes da área; e **específica** (ou integrada), que corresponde à vulnerabilidade das águas subterrâneas a contaminantes em particular, considerando as propriedades do contaminante e sua relação com vários componentes da vulnerabilidade intrínseca (Sener; Davraz, 2013).

Para Ribeiro et al. (2011), a vulnerabilidade à contaminação de aquíferos compreende uma série de atributos ou características do meio, que correspondem ao solo, à zona não saturada, aos parâmetros hidráulicos do aquífero e à recarga, os quais controlam a habilidade do aquífero para resistir aos impactos, bem como determinam a sua capacidade de auto restauração.

A vulnerabilidade do aquífero, de acordo com Foster et al. (2006), é determinada pelo contexto hidrogeológico natural, ou seja, a partir das características intrínsecas, muito estáveis; e o risco só ocorre quando há uma carga que represente perigo, ou seja, uma carga com algum tipo de poluição e/ou contaminação, uma vez que as atividades poluidoras representam um fator dinâmico que, inicialmente, pode ser controlado (Lopes, 2012; REDE GUARANI/SERRA GERAL, 2020). Nesse contexto, Lopes (2012) afirma que a vulnerabilidade das águas subterrâneas pode ser definida como “o grau da potencial suscetibilidade da água subterrânea a uma fonte de poluição tópica ou difusa”.

A crescente degradação da qualidade das águas superficiais pode fazer com que as águas subterrâneas assumam maior importância, tanto do ponto de vista socioeconômico como ambiental; ademais, já é perceptível o crescimento no uso das águas subterrâneas nas últimas décadas, em comparação às águas superficiais (Brasil, 2007; Kundzewicz; Döll, 2009). As águas subterrâneas são a fonte mais importante de água em regiões áridas e semiáridas, devido ao grande volume disponível e à baixa vulnerabilidade à poluição, se comparadas com as águas superficiais (Sener; Davraz, 2013; Kundzewicz; Döll, 2009). Dessa forma, a “maior ou menor susceptibilidade de um aquífero à contaminação e poluição é chamada de vulnerabilidade” (Brasil, 2007b).

De acordo com REDE GUARANI/SERRA GERAL (2020) é possível a existência de um aquífero com alto índice de vulnerabilidade, mas que não tenha risco de poluição caso inexista carga poluente. Por outro lado, é possível a existência de um risco de poluição excepcional, embora o índice de vulnerabilidade seja baixo.

Entretanto, é importante analisar a vulnerabilidade do aquífero também do ponto de vista da diminuição da sua disponibilidade ou exaustão. Ou seja, por meio das mudanças climáticas, com secas mais intensas, frequentes e/ou duradouras, e consequente aumento da retirada da água subterrânea, o aquífero se torna vulnerável à intensificação da demanda de água pelas atividades antrópicas, que podem causar o desequilíbrio ou exaustão do aquífero. Aslam et al. (2018) afirmam que a

vulnerabilidade das águas subterrâneas aumentará se as mudanças climáticas continuarem com a tendência atual. Os fatores não-climáticos como crescimento populacional, urbanização, desflorestamento, industrialização, além das demandas crescentes dos setores doméstico e agrícola, têm a propensão de estressar as águas subterrâneas e serem amplificados pelas mudanças climáticas.

Assim, a vulnerabilidade das águas subterrâneas às mudanças climáticas está relacionada com a sua sensibilidade às ameaças atuais, bem como com os potenciais estressores climáticos. Na Figura 18 fica evidente a relação entre a exposição, a sensibilidade, a capacidade adaptativa e os impactos das mudanças climáticas.

Figura 18. Vulnerabilidade das Águas Subterrâneas aos impactos das Mudanças Climáticas



Fonte: Adaptado de Aslam et al. (2018).

Nesse sentido, observa-se que a **exposição**, ou seja, os estímulos climáticos a que um sistema é exposto, somada à **sensibilidade** (propriedade intrínseca), por um lado, e a **capacidade adaptativa** do sistema de se adaptar aos **impactos**

prejudiciais das mudanças climáticas, por outro, são os fatores que implicarão na definição do grau de vulnerabilidade de um sistema aquífero.

Compreende-se que a vulnerabilidade de sistemas de águas subterrâneas não poderia, neste caso, ser analisada apenas do ponto de vista das características intrínsecas dos mesmos para repelir ou suportar uma carga poluidora. Essa análise deve contemplar a percepção de que parâmetros meteorológicos, como precipitação e temperatura, influenciam nos níveis de armazenamento das águas subterrâneas, seja de maneira **direta** pela menor infiltração e conseqüente diminuição da recarga dos aquíferos; seja de forma **indireta** por meio do aumento na demanda de água por fatores não-climáticos. Ambos os casos são influenciados pelas mudanças climáticas, conforme visto anteriormente.

4.2.3 Vulnerabilidade das águas subterrâneas a partir dos impactos secundários das Mudanças Climáticas

No que se refere à vulnerabilidade das águas subterrâneas às mudanças climáticas, há uma relação **direta**, em que as alterações nas variáveis climáticas (temperatura, evaporação e precipitação) podem influenciar diretamente sobre a dinâmica do aquífero; e uma **indireta**, no caso dos impactos das mudanças climáticas sobre a dinâmica da população, da economia e do ambiente - e desses impactos sobre o aquífero (impactos secundários).

Em relação aos impactos das mudanças climáticas sobre as águas subterrâneas, Turrall et al. (2011) destacam que existem três possibilidades básicas:

- Se houver um aumento da frequência e extensão das inundações ocorrerá um aumento da recarga do aquífero,
- Se ocorrer o aumento de frequência, duração e severidade da seca, o tempo do ciclo aumentará e a exploração exigirá melhor equilíbrio. Dessa forma, em anos mais secos (em que a demanda seria maior) deverá ser dada maior atenção à retirada da água subterrânea, de modo a evitar que o consumo ultrapasse a recarga e, em anos mais chuvosos, esse uso poderá ser maior, uma vez que o ciclo de recarga do aquífero ocorrerá com mais eficiência.
- Se acontecer um aumento do derretimento da neve, as taxas de recarga do aquífero deverão aumentar, mas isso dependerá do comportamento do

permafrost (gelo eterno) e dos padrões de recarga (específico para regiões frias).

Kundzewicz e Döll (2009) afirmam que as mudanças climáticas afetam as águas subterrâneas de forma direta, principalmente com relação a sua recarga por meio do aumento na temperatura média, da variabilidade da precipitação e do aumento do nível do mar. Já Huang et al. (2017) destacam que as mudanças climáticas afetariam, também diretamente, a vulnerabilidade das águas subterrâneas por meio da interação das águas superficiais, da malha de recarga e do nível das águas subterrâneas.

Além disso, existe a tendência de aumento na demanda por água e consequente aumento da extração de água subterrânea. Ademais, as águas subterrâneas são impactadas pelas alterações no uso e cobertura do solo. Huang et al. (2017) ressaltam que as atividades antropogênicas, tais como a extração para consumo humano e irrigação, as emissões de poluentes e a urbanização podem exacerbar as alterações nas águas subterrâneas.

Turrall et al. (2011) afirmam que nos aquíferos nas regiões áridas e semiáridas, onde o escoamento diminuirá, é esperada uma severa redução no reabastecimento dos aquíferos. Importante destacar que a vulnerabilidade das águas subterrâneas é fortemente dependente dos fatores profundidade do aquífero, recarga, uso e cobertura do solo. Assim, é esperado que a qualidade das águas subterrâneas seja influenciada pelas mudanças climáticas e pelas atividades antrópicas, devido principalmente às influências da recarga e uso do solo nos sistemas de águas subterrâneas (Li; Maechant, 2013).

Nesse sentido, são vários os fatores que podem causar pressão sobre os aquíferos e aumentar o fator de poluição desses. Entre estes se destacam: a **agricultura**, a **industrialização**, e o **crescimento populacional** (e sua concentração em áreas urbanas). Com relação à agricultura, no caso de as mudanças climáticas levarem a uma diminuição da disponibilidade das águas superficiais, há a tendência de que as águas subterrâneas passem a ser o principal recurso a ser utilizado na irrigação (no caso de locais em que há possibilidade de perfuração de poços); entretanto, em locais onde a perfuração de poços é inviável ou em quantidade menor que a necessária para produção, existe a possibilidade de uma diminuição da produção. Essa diminuição da produção agrícola pode levar as comunidades mais

próximas a migrarem para outras regiões mais propícias ao desenvolvimento da prática agrícola (Wrathall et al., 2018). Por outro lado, é possível que ocorra expansão das áreas utilizadas para cultivo, aumentando assim a possibilidade de contaminação do aquífero por agrotóxicos.

No que se refere à industrialização, a menor disponibilidade das águas superficiais também levará à necessidade de perfuração de poços e ao despejo de efluentes (muitas vezes não tratados) no ambiente, o que poderá causar prejuízos às águas subterrâneas. Nesse sentido, Comasseto et al. (2015) e Costa et al. (2007) afirmam que a poluição da água superficial com conseqüente comprometimento de sua qualidade, tem levado ao aumento do uso de águas subterrâneas.

A industrialização e o conseqüente desenvolvimento socioeconômico promovem a demanda por alimentos, lazer, equipamentos eletrônicos, entre outros bens de consumo, que demandam água e energia de forma interdependente para serem produzidos, ou seja, ao longo de todo o processo de produção de um bem, há necessidade de água e energia (Yang; Chen, 2016; Torcellini et al., 2003). Assim, Cominola et al. (2015) ressaltam a relação direta entre o desenvolvimento econômico e a demanda por recurso hídrico; ou seja, o consumo de água tende a ser maior à medida que o poder aquisitivo aumenta, pressionando o sistema integrado de água e energia a suprir tal demanda (Schmitz; Bittencourt, 2017).

Já o crescimento populacional, por si só, implica em maior demanda por água para consumo. Concentração populacional, decorrente muitas vezes de migração devido ao estresse hídrico, pode levar a maior demanda por águas subterrâneas para consumo humano, tratamento de efluentes, e produção de alimentos, com conseqüente extração deste recurso além da sua capacidade de recarga. Observa-se que com o crescimento populacional e a industrialização, maiores quantidades de efluentes domésticos e industriais são despejados e levam à poluição das águas subterrâneas (Sener; Davraz, 2013), construindo, portanto, outro fator de vulnerabilidade.

Huang et al. (2017) destacam que muitos estudos avaliam a vulnerabilidade das águas subterrâneas, porém são mais focados nos cenários presentes ou em cenários de mudanças climáticas sem considerar a urbanização. Dessa forma, afirmam que pouco se sabe acerca da vulnerabilidade futura das águas subterrâneas combinada com os efeitos das mudanças climáticas e mudanças no uso do solo sob o conjunto de cenários de mudanças climáticas.

Entretanto, é fundamental que sejam implementadas políticas de adaptação voltadas para a gestão das águas, independentemente da precisão das previsões climáticas. Gondim et al. (2010), afirmam que esse tipo de política é definida pelo Banco Mundial como uma política ‘sem arrependimentos’ (*no regrets*), que correspondem às políticas direcionadas à solução de problemas associados com a variabilidade climática existente, enquanto, ao mesmo tempo, é construída maior ‘capacidade adaptativa’ às mudanças climáticas futuras.

Pettengell (2010) destaca que a adaptação deve ser compreendida como uma combinação entre a redução da vulnerabilidade e a preparação para lidar com riscos específicos como as secas ou inundações, por exemplo. Esse autor destaca ainda que uma abordagem de adaptação que funciona, mesmo com a incerteza de eventos climáticos futuros, é a combinação de atividades que: abordem os perigos atuais, a maior variabilidade climática e as tendências emergentes; que gerenciem os riscos e incertezas; e que construam a capacidade adaptativa (Quadro 5).

Quadro 5. Síntese dos principais tópicos abordados no capítulo

Tópicos principais	Abordagem		Autores
Vulnerabilidade dos sistemas antrópicos às mudanças climáticas	A partir de três fatores	- a exposição, - a sensibilidade e - a capacidade adaptativa	Andrade e Szlafsztein (2018) Myers et al. (2011) IPCC (2007) Pettengell (2010)
Vulnerabilidade das águas subterrâneas	- Degradação da qualidade das águas superficiais - Fatores não-climáticos (crescimento populacional, urbanização, desflorestamento, industrialização, além das demandas crescentes dos setores doméstico e agrícola)	- Vulnerabilidade intrínseca ou específica (dos aquíferos) - Aumento do uso das águas subterrâneas - Sensibilidade às ameaças atuais, e os potenciais estressores climáticos	Sener e Davraz (2013) Ribeiro et al. (2011) Foster et al. (2006) Lopes (2012) Rede Guarani/Serra Geral (2020) Brasil (2007) Kundzewicz; Döll (2009) Aslam et al. (2018)
Impactos diretos das MC sobre as águas subterrâneas	- Modificações nos fenômenos atmosféricos - Modificação de aspectos físicos e de ecossistemas	- Aumento na temperatura média - Aumento da variabilidade da precipitação - Aumento do nível do mar - Por meio da interação com as águas superficiais	Turrall et al. (2011) Kundzewicz e Döll (2009) Huang et al. (2017)

<p>Impactos secundários (mudanças climáticas e atividades antrópicas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Decorrentes dos impactos diretos das mudanças climáticas - Agricultura - Industrialização - Crescimento populacional - Concentração populacional 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento na demanda por água subterrânea - Aumento da extração de água subterrânea - Severa redução no reabastecimento dos aquíferos - Perda da qualidade das águas subterrâneas 	<p>Aslam et al. (2018) Huang et al. (2017); Turrall et al. (2011) Cominola et al. (2015) Schmitz e Bittencourt (2017)</p>
<p>Políticas de gestão das águas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptação - Redução da vulnerabilidade 	<ul style="list-style-type: none"> - Políticas de adaptação voltadas para as águas - Minimizar a vulnerabilidade e se preparar para lidar com riscos específicos (secas ou inundações) 	<p>Huang et al. (2017) Gondim et al. (2010) Pettengell (2010)</p>

Fonte: Organizado pela Autora (2023).

4.3 MÉTODOS PARA ANÁLISE DE VULNERABILIDADE DE AQUÍFEROS

De acordo com Aslam et al. (2018), existem substanciais variações na abordagem e nos métodos utilizados para medir a vulnerabilidade de aquíferos, principalmente porque a vulnerabilidade às mudanças climáticas é altamente dependente do contexto e da escala, variando amplamente entre os sistemas. Existem, portanto, diversos métodos que são utilizados para a determinação da vulnerabilidade intrínseca e específica de aquíferos. Entre esses se destacam: DRASTIC, GOD, TPE, Sintacs, Modified Sintacs, e DART e GALDIT (Aslam et al., 2018; Ribeiro et al., 2011).

Segundo Sener e Davraz (2013), os métodos de avaliação da vulnerabilidade de um aquífero dividem uma determinada área geográfica em subáreas, considerando a sua suscetibilidade à contaminação das águas subterrâneas, para que posteriormente sejam definidas medidas de proteção das mesmas. Ribeiro et al. (2011) afirmam que a utilização de metodologia para determinação da vulnerabilidade de aquíferos atua como uma ferramenta de auxílio para as propostas de proteção de águas subterrâneas, de atividades de gestão de recursos hídricos e de planejamento e ordenamento territorial.

A vulnerabilidade dos aquíferos pode ser determinada a partir de parâmetros intrínsecos aos mesmos, como: nível estático, condutividade hidráulica, transmissividade, grau de confinamento ou não confinamento do aquífero, tipo de aquífero (meio cárstico, intersticial e fissural), tipo de litologia, grau de fraturamento das rochas; como, também, a partir de atributos naturais extrínsecos ao aquífero,

como: tipo de solo, topografia do terreno, além da quantificação da recarga (Peixoto; Cavalcante, 2019).

Segundo diversos autores (Aslam et al., 2018; Ribeiro et al., 2011; Huang et al., 2017), os métodos DRASTIC e GOD são os mais utilizados para avaliar a vulnerabilidade intrínseca de aquíferos, uma vez que são de fácil utilização e aplicação em diferentes áreas.

O método DRASTIC é amplamente utilizado por pesquisadores em função de sua explicação distinta, requisitos de dados e fácil flexibilização do método às necessidades da área estudada, ou seja, é possível incorporar outros fatores além dos previamente definidos pelo método. O DRASTIC utiliza sete parâmetros: distância do nível da água subterrânea (D – *depth to water table*); recarga líquida (R - *net recharge*); tipo de aquífero (A – *aquifer type*); tipo de solo (S – *soil type*); topografia (T – *topography*); impacto da zona vadosa (I – *impact of vadose zone*); e condutividade (C – *conductivity*) (HUANG et al., 2017; LI e MERCHANT, 2013; FERNANDES et al. 2014). Entretanto, os mapas de vulnerabilidade de aquíferos apresentam limitações em decorrência da ausência de informações e dados necessários para a aplicação de metodologias detalhistas. Dessa forma, quando os dados são escassos e apresentam incertezas ou não abrangem completamente o território, a aplicação do DRASTIC torna-se inviável (Ribeiro et al., 2011). Ademais, O método DRASTIC original, possibilita definir o índice de vulnerabilidade intrínseca, mas não a vulnerabilidade específica. Para que seja possível avaliar a vulnerabilidade específica, como é o caso da vulnerabilidade às mudanças climáticas, o modelo DRASTIC deve ser modificado, de modo a incluir parâmetros que reflitam o impacto antropogênico (Thirumalaivasan et al., 2003). Nesse sentido, Aslam et al. (2018), indicam que o método *Modified-DRASTIC-AHP* pode ser uma alternativa convincente, já que envolve a atribuição de pesos para desenvolver uma hierarquia dos indicadores baseada na experiência.

Outro método bastante utilizado na avaliação de vulnerabilidade de aquíferos devido à simplicidade de conceitos e aplicações é o método GOD (Foster et al., 2002; Foster; Hirata, 1988). Três fatores básicos são utilizados para determinar a vulnerabilidade do aquífero à poluição: 1. O nível de inacessibilidade hidráulica da zona saturada do aquífero; 2. A capacidade de atenuação dos contaminantes dos estratos que cobrem a zona saturada do aquífero (Ribeiro et al., 2011); e 3. A distância até o lençol freático. Dessa forma, o índice de vulnerabilidade GOD caracteriza a poluição do aquífero com base nos parâmetros: **G**rau de confinamento hidráulico das

águas subterrâneas, no aquífero estudado; **O**corrência de estratos sobrepostos (leitos confinantes), em termos de caráter litológico e o grau de consolidação que determinam sua capacidade de atenuação de contaminantes; e a **D**istância ou profundidade do lençol freático, que corresponderia à “zona vadosa (Foster et al., 2002). Esse método define, também, apenas a vulnerabilidade intrínseca ao aquífero.

Na pesquisa desenvolvida por Lopes (2012; Lopes e Scheibe 2015), foi feita a complementação às análises possibilitadas pelo método GOD, e assim foi inserido o parâmetro solo (S) na análise de vulnerabilidade intrínseca do aquífero. Originalmente o método GOD não inclui um estudo explícito do solo (S), entretanto, Foster et al. (2002) destacam que a maioria dos processos que provocam a atenuação e/ou eliminação dos contaminantes no subsolo ocorrem com muito mais frequência na zona biologicamente ativa do solo, o que justifica sua consideração. Ademais, Foster et al. (2006) destacam que os perfis naturais de solo atenuam ativamente muitos poluentes resultantes das atividades humanas. Assim, foi utilizado no estudo, como descritores, o GODS, em que o parâmetro solo (S) avalia os valores de um índice do solo de acordo com o tipo de solo, sua textura e espessura.

4.3.1 Exemplos de aplicações dos métodos em pesquisas sobre a vulnerabilidade das águas subterrâneas

A pesquisa realizada por Nistor et al. (2016) desenvolveu uma análise acerca dos índices climáticos locais e da evapotranspiração em cultivos do distrito de Belis, Oeste da cadeia de montanhas Cárpatos. O estudo baseou-se principalmente sobre a precipitação, dados de temperatura e imagens de satélite, e teve a abordagem focada no clima e em estudos hidrológicos. Utilizou a combinação do método de status do índice climático com a precipitação efetiva, com o objetivo de avaliar os efeitos das mudanças climáticas sobre as águas subterrâneas.

Já a pesquisa desenvolvida por Nistor (2019) objetivou avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas na escala espacial da Europa. Para isso, foi utilizada uma abordagem espacial por meio de sistema de informações geográficas (SIG) para determinar a vulnerabilidade das águas subterrâneas. Nesse sentido, foram combinadas camadas de indicadores de quantidade e qualidade e o cálculo da

vulnerabilidade das águas subterrâneas foi feito através do índice NISTOR⁶-GWV (**New Implemented Spatial-Temporal On Regions–Groundwater Vulnerability**).

Huang et al. (2017) desenvolveram o mapa de vulnerabilidade para a província de Hunan, China, a partir do modelo DRASTIC. Porém, adicionaram o parâmetro de uso urbano da terra, uma vez que a pesquisa teve como objetivos estimar a vulnerabilidade futura das águas subterrâneas da área de estudo diante de um conjunto de cenários de mudanças climáticas e urbanização intensiva; e analisar o fator primário a afetar a vulnerabilidade das águas subterrâneas. De acordo com os autores, a profundidade do lençol freático é o fator mais importante na análise de vulnerabilidade, uma vez que é ela que determina a espessura do material através do qual a água infiltrada deve viajar antes de chegar à zona saturada do aquífero. E reconhecem que a gestão das águas subterrâneas deve ser baseada em uma avaliação da vulnerabilidade sob a ótica de uma variedade de possíveis mudanças no clima e mudanças no uso do solo.

Li e Merchant (2013), em seu estudo utilizaram o modelo DRASTIC modificado, em que tinham como objetivo determinar se, como e onde a vulnerabilidade das águas subterrâneas nessa área pode ser afetada pelas mudanças futuras no uso da terra, impulsionadas pelas mudanças climáticas e pelas crescentes demandas por biocombustíveis em North Dakota, EUA. O modelo DRASTIC revisado (DRSTIL) considerou a distância do nível da água subterrânea (*D – depth to water table*); a recarga líquida (*R - net recharge*); o tipo de solo (*S - soil type*); topografia (*T – topography*); impacto da zona vadosa (*I - impact of vadose zone*); e uso do solo (*L – land use*). Nessa pesquisa foi utilizada uma abordagem de modelagem que integra a vulnerabilidade das águas subterrâneas, cenários de mudanças climáticas e cenários modelados de uso e cobertura do solo.

Já na pesquisa desenvolvida por Ribeiro et al. (2011), foi aplicado o método GOD com o objetivo de obter o mapa de vulnerabilidade à contaminação de aquíferos da sub-bacia do rio Siriri, em Sergipe. A aplicação do método mostrou-se interessante, uma vez que permite, com o auxílio de sistema de informação geográfica (SIG), delimitar as áreas mais susceptíveis a contaminação. Peixoto e Cavalcante (2019) também utilizaram o método GOD em sua pesquisa, a qual desenvolveu um Índice de Risco de Contaminação da Água Subterrânea (IRCAS) aplicado aos aquíferos em

⁶ A autora conseguiu usar o próprio nome na construção do índice.

ambiente urbano no município de Fortaleza, Ceará. A construção desse índice ocorreu a partir da metodologia GOD e anexando a esta o Índice de Saneamento Ambiental (ISA), em que os dados foram gerenciados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) e validados com amostras de água subterrânea em 212 poços. Entretanto, nessas duas pesquisas não foram considerados fatores relacionados às mudanças climáticas, acredita-se que em função das limitações que o método GOD apresenta, pois utiliza apenas as características intrínsecas do aquífero (RIBEIRO et al., 2011).

No que se refere ao método GODS, destacam-se as pesquisas realizadas por Lopes (2012; Lopes e Scheibe, 2015), Facco (2018) e REDE GUARANI/SERRA GERAL (2020) no âmbito do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral no Brasil. A pesquisa realizada por Lopes (2012) desenvolveu o mapeamento da vulnerabilidade intrínseca e permitiu espacializar e identificar as áreas mais vulneráveis do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG) à contaminação das águas subterrâneas na Bacia do Rio do Peixe em Santa Catarina.

Por meio do cruzamento do mapa de Densidade de lineamentos com o mapa de Vulnerabilidade dos solos, Lopes (2012; Lopes e Scheibe 2015) formularam, assim, o **mapa de vulnerabilidade intrínseca**, o qual mostrou que as áreas com maior densidade de fraturas, falhas ou diques coincidem com as áreas de solos menos profundos (de característica menos argilosa). Essas áreas podem se constituir em faixas de maior vulnerabilidade do SASG, podendo inclusive chegar ao SAG. Com relação ao **mapa de Risco de Contaminação das Águas Subterrâneas** na Bacia do Rio do Peixe/SC, o mesmo foi desenvolvido a partir da combinação do mapa de vulnerabilidade intrínseca e do mapa de risco de contaminação das águas, em que foram considerados os principais tipos de cobertura e uso da terra. Os resultados obtidos possibilitaram dar orientações referentes ao uso e ocupação da terra, considerando aspectos de proteção das águas subterrâneas do SASG.

Já a pesquisa realizada por Facco (2018), utilizou o método GODS para determinar a vulnerabilidade do SASG no município de Chapecó/SC. E a pesquisa de REDE GUARANI/SERRA GERAL (2020) utilizou esse método para determinar a vulnerabilidade intrínseca do SAIG/SG em toda sua área de abrangência em Santa Catarina. Destaca-se que as informações obtidas com esse método podem ser utilizadas como subsídio às discussões acerca das formas de utilização mais sustentáveis de uso da terra, com vistas à preservação da qualidade das águas.

Entretanto, não é considerada, de forma explícita, nessas pesquisas, a utilização de fatores relacionados às mudanças climáticas.

Nesse sentido, para que sejam postas em prática não apenas políticas de uso sustentável da terra como também medidas para minimizar os possíveis impactos (diretos ou indiretos) das mudanças climáticas sobre os aquíferos, é fundamental que os estudos de vulnerabilidade das águas subterrâneas também considerem as variações climáticas e suas projeções futuras.

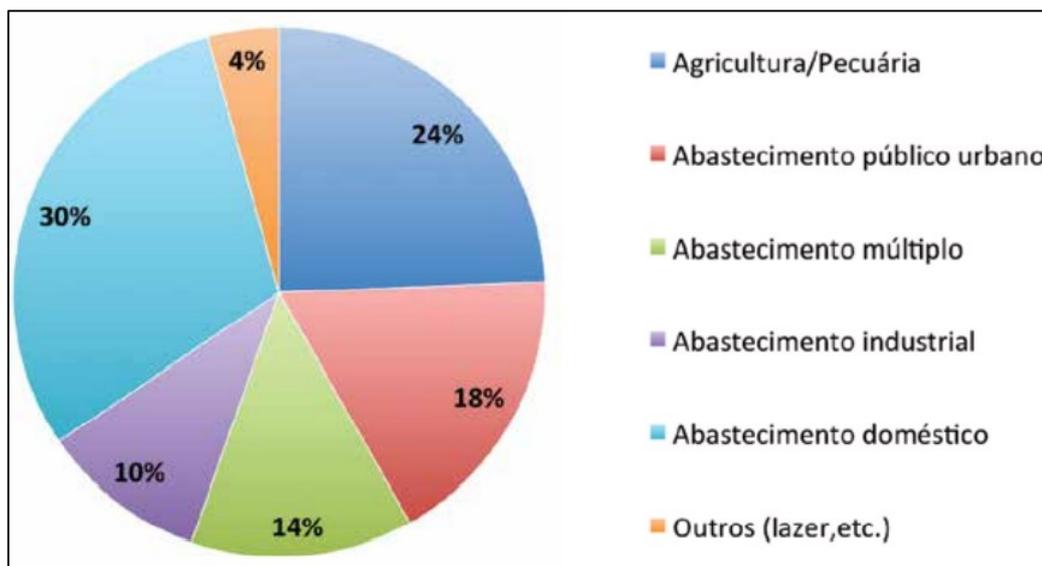
4.4 PRESSÕES SOBRE UM SISTEMA AQUÍFERO DIANTE DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Por pressões entende-se o conjunto de fatores que possam, de alguma forma, forçar que um sistema, seja ele natural ou antrópico, sofra mudanças que interfiram na sua característica ou dinâmica. O *World Water Assessment Programme* (2006) define pressões como as atividades que influenciam mais direta e imediatamente nas águas e seu uso.

No que se refere a um sistema aquífero, as pressões sobre o mesmo estão relacionadas com os fatores que de forma direta (pluviosidade e temperatura por ex.) e indireta (crescimento populacional e uso do solo) exercerão influência sobre as águas subterrâneas, forçando a mudança nas suas características físicas e químicas (como no caso de uma carga poluidora) ou influenciando na sua disponibilidade.

Importante destacar que a água subterrânea é o recurso natural mais extraído do subsolo brasileiro e usado para suprir diversas necessidades (Hirata et al. 2019). Na Figura 19 observa-se que o Abastecimento Doméstico é o que mais utiliza água subterrânea (30% da água subterrânea extraída), o que demonstra a forte dependência e a importância desse recurso para o desenvolvimento das atividades diárias da população. Na sequência estão as atividades de Agricultura e Pecuária consumindo 24% da água subterrânea extraída; o Abastecimento Público Urbano segue com 18% do uso desse recurso; o Abastecimento Múltiplo, caracterizado principalmente pelo uso diversificado para prestação de serviços urbanos com 14 %; seguido pelo uso industrial com 10% e de outros usos com 4% (Hirata et al. 2019).

Figura 19. Perfil de usuários de água subterrânea no Brasil



Fonte: Hirata et al. (2019).

O perfil dos usuários das águas subterrâneas no Brasil é diversificado e isso é evidenciado quanto à dependência desse recurso pelos diferentes estados. De modo geral, os estados das regiões Nordeste, Sudeste e Sul são os que mais dependem da água subterrânea para o desenvolvimento de suas atividades, tanto no meio rural como urbano (Hirata et al., 2019). Esse perfil de uso tem relação com as características socioeconômicas e ambientais de cada região. Ou seja, são as regiões com maior concentração populacional e de produção agropecuária e industrial que utilizam a maior parte das águas subterrâneas.

Nesse sentido, observa-se que os diferentes usos das águas subterrâneas podem causar pressões sobre os sistemas aquíferos, que pode variar bastante de uma região para outra, mas que deve ser compreendido e monitorado de modo a evitar a deterioração e mesmo a exaustão dessas águas.

Este subcapítulo está dividido em cinco tópicos: Saneamento e o risco de contaminação das águas subterrâneas; perfuração de poços e o risco de contaminação das águas subterrâneas; agricultura e o risco de contaminação das águas subterrâneas; capacidade adaptativa e sua importância frente aos impactos das mudanças climáticas na disponibilidade de água; e pressões sobre o SAIG/SG.

4.4.1 Saneamento e o risco de contaminação das águas subterrâneas

De acordo com a Lei nº. 11.445/2007, o saneamento básico corresponde ao conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais necessárias para o abastecimento de água potável, para o esgotamento sanitário, para a limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, bem como para a drenagem e manejo de águas pluviais (Brasil, 2007)⁷. Nesse sentido, o saneamento, em suas diferentes temáticas, gera um impacto direto sobre a população e o meio ambiente.

Isso porque são serviços que têm implicações não apenas sobre a qualidade de vida da população, no que se refere à saúde e prevenção de doenças (de veiculação hídrica e por vetores, por exemplo), como também sobre o meio ambiente, uma vez que do ambiente são retirados os recursos necessários para o desenvolvimento das atividades humanas e no próprio ambiente são lançados os resíduos dessas atividades.

Em relação ao serviço de fornecimento de água, o Brasil apresentava 82,9% dos domicílios abastecidos por rede geral de água (IBGE, 2010), com um total de 169.085.425 habitantes atendidos por esse serviço, correspondendo a um déficit de 19,5% de pessoas que não teriam acesso ao serviço (Brasil, 2019; IBGE, 2019).

O manejo de resíduos sólidos, por sua vez, corresponde aos serviços de coleta, tratamento e/ou disposição final de resíduos sólidos. Esses serviços são fundamentais, uma vez que sem o tratamento e disposição final adequada dos mesmos, pode ocorrer a contaminação do solo (podendo alcançar os aquíferos) e dos corpos hídricos, além da proliferação de doenças e poluição atmosférica através do gás metano (Kobiyama et al., 2008). Dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS mostram que 98,8% da população urbana é atendida por serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares (Brasil, 2019). Entretanto, no que se refere à destinação, apenas 59,5% dos resíduos coletados são destinados a aterros sanitários, ou seja, 29,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos são despejados em locais inadequados (Abrelpe, 2019).

⁷ Importante destacar que o novo marco regulatório do saneamento, Lei nº 14.026/2020, estimula a entrega dos serviços de saneamento básico ao capital privado, e aquilo que deveria ser um serviço público, voltado para o bem estar de toda a população, passa a ser uma mercadoria voltada para os interesses de empresários e acionistas. Nas palavras de Riccardo Petrella (IHU, 2010) a privatização da água se “traduz pela mercantilização da água e, por conseguinte, pela mercantilização da vida”, em que os mais pobres serão os principais atingidos.

Outro serviço importante que compreende o saneamento é o manejo de águas pluviais, que corresponde às intervenções estruturais e não estruturais que objetivam organizar o escoamento superficial nas cidades, e possibilitam, dessa forma, a diminuição dos desastres relacionados ao excesso de água e doenças decorrentes de alagamentos e inundações (Kobiyama et al., 2008). Entre as estruturas necessárias para o manejo de águas pluviais destacam-se: a cobertura de vias públicas com pavimentação e meio-fio, com redes ou canais pluviais subterrâneos; a existência de soluções de drenagem natural (faixas ou valas de infiltração); além de infraestruturas de captação, retenção e contenção (Brasil, 2019).

Nesse sentido, Santos (2021) destaca a importância do investimento em medidas não estruturais de combate às enchentes urbanas, tais como: reservatórios de acumulação de água de chuva, pisos drenantes, bosques florestados, combate à erosão e lançamento de entulho de construção civil, abandono da prática de retificação e canalização de córregos, e desestímulo ao crescimento urbano. Assim, o resultado do conjunto dessas práticas possibilitará a redução significativa do volume de águas de chuva lançadas sobre o sistema de drenagem. Destaca-se que os sistemas de retenção devem primeiramente cumprir a função de acumulação, pois será esse volume acumulado que suavizará os impactos sobre o sistema público de drenagem urbana e permitirá a alimentação do lençol freático (Santos, 2021).

No que se refere ao esgotamento sanitário, que compreende as ações de coleta, tratamento e disposição de efluentes, os dados do IBGE (2010) mostram que apenas 67,61% dos domicílios brasileiros possuíam acesso a esse serviço. E segundo o SNIS, a população total atendida com esgotamento sanitário em 2018 seria de 107.480.164, com um total de 32.529.045 ligações de esgotos (Brasil, 2019); ou seja, aproximadamente metade da população brasileira não teria acesso a sistema de esgotamento sanitário. Costa et al. (2007) e Peixoto e Cavalcante (2019) afirmam que esse quadro deficitário causa impactos não apenas sobre os rios, mas também sobre a qualidade das águas subterrâneas, principalmente nas zonas urbanas, sendo, portanto, os efluentes domésticos os contaminantes mais frequentes em áreas de indisponibilidade ou baixa eficiência de serviços de saneamento ambiental.

Kamalanandhini et al. (2019) afirmam que as contaminações por ações antropogênicas, assim como as águas residuais, efluentes de indústrias e fertilizantes usados na agricultura, causam deterioração da qualidade da água. Com a perda da qualidade das águas superficiais utilizadas para abastecimento da população há

necessidade de maiores investimentos em tratamento (o que pode não ocorrer), levando a população a buscar outras fontes para suprir suas necessidades, como é o caso das águas subterrâneas.

O uso de águas subterrâneas não regulamentadas para fins domésticos, incluindo o abastecimento para fins potáveis, pode ocasionar riscos para a saúde especialmente em áreas urbanas, devido aos problemas na qualidade da mesma. Tais problemas estão diretamente relacionados com o crescimento urbano acelerado e a expansão de assentamentos informais, os quais intensificam a poluição das águas subterrâneas por meio do aumento das águas residuais sanitárias e da disposição inadequada de resíduos sólidos (Houéménoua et al., 2020).

A falta de saneamento é um risco para as águas subterrâneas, uma vez que por meio da infiltração por fossas negras, do escoamento superficial, que acaba infiltrando no solo, e pelo vazamento de redes de esgoto, pode levar à contaminação das mesmas. Em cidades com elevada densidade demográfica e conseqüentemente alta taxa de produção de esgotos, este problema é potencializado (Costa et al., 2007).

De acordo com Oliveira et al. (2019) o esgoto doméstico é composto por 99,9% de água e 0,1% de impurezas de natureza orgânica e inorgânica, e ressalta que se não houver despejos industriais a composição do esgoto doméstico é razoavelmente constante. Peixoto e Cavalcante (2019) destacam que é esse percentual de impurezas que inclui o nitrato, o qual se mostra bastante problemático devido a sua habilidade de se ionizar e não ser removido da água por tratamentos convencionais, sendo, portanto, um dos principais indicadores para diagnosticar a contaminação por efluentes domésticos.

De modo geral, o impacto do lançamento de esgotos sobre a qualidade das águas subterrâneas pode ser detectado por meio de elevadas concentrações de nitrato e do surgimento de bactérias patogênicas e vírus. Normalmente a qualidade microbiológica é analisada por meio de coliformes totais e fecais, e estreptococos. Os coliformes totais são utilizados apenas como indícios de contaminação. Atualmente a espécie *Escherichia coli* é considerada o melhor indicador de contaminação fecal, visto que algumas espécies de bactérias pertencentes ao grupo dos coliformes fecais podem ser encontradas em outras fontes que não fezes (COSTA et al., 2007 p.96).

Observa-se, portanto, que o investimento em infraestrutura adequada para conter e tratar os resíduos potencialmente contaminantes é fundamental para manter a qualidade e a disponibilidade das águas subterrâneas. No Brasil, a ausência ou a má qualidade dos serviços de saneamento fazem com que a população busque outras

maneiras, muitas vezes inadequadas, de lidar com tais problemáticas. É frequente, por exemplo, a utilização de poços para extração de água para uso residencial, fato que ocorre, em sua maioria, sem o registro no órgão competente e sem os critérios técnicos adequados.

É importante lembrar que o acesso à água é um direito universal e ninguém deve ter o acesso negado a este recurso. É fundamental também reforçar que a água não pode ser dissociada do saneamento, pois os dois, juntos, são fundamentais para reduzir a carga global de doenças e para melhorar a saúde. Entretanto, esses direitos fundamentais são contrapostos pelas políticas do capital, que visa à privatização dos recursos naturais e dos serviços essenciais.

A deterioração da qualidade das águas superficiais tem levado ao aumento da exploração das águas subterrâneas, fato que indica a necessidade de uma gestão integrada das águas, inclusive as águas da chuva. “Esta visão aponta na direção contrária à da privatização deste insumo vital, que tem se seguido à sua classificação como mercadoria, ou *commodity*” (Scheibe, 2020, p.26).

4.4.2 Perfuração de poços e o risco de contaminação das águas subterrâneas

Poço corresponde a uma cavidade aberta na terra para atingir um aquífero, e existem dois tipos de poços: o **profundo, ou perfurado (eventualmente artesiano)** e o **escavado ou raso** (Brasil, 2014). O primeiro é perfurado com o auxílio de máquinas, para atingir um aquífero. Só é artesiano quando construído em um aquífero confinado em um local que está submetido a uma pressão, que faz jorrar a água acima da superfície do solo. De acordo com Facco (2018) as companhias perfuradoras de poços usam erroneamente o termo poço artesiano como forma de designar qualquer poço perfurado com o uso de máquinas, o que tem feito com que mesmo o poço tubular profundo não jorrante seja nomeado popularmente como poço artesiano. Assim, é importante destacar que nos aquíferos confinados os poços tubulares profundos podem, ou não, apresentar artesianismo, situação em que a água jorra sem a necessidade de equipamento de bombeamento.

O segundo tipo, **escavado ou raso**, corresponde ao poço que é escavado geralmente de forma manual, podendo ser revestido de blocos cerâmicos ou tijolos para retirada da água do lençol freático, possuindo, normalmente, até 25 metros de profundidade e em torno de um metro de diâmetro.

As fontes de água subterrânea são muitas vezes contaminadas pelo esgoto, quando a distância segura entre o poço e a fossa não é adequadamente mantida, o que pode resultar na contaminação microbiana na água e a consequente transmissão de doenças de veiculação hídrica: situação causada por sistemas de saneamento deficitário, mais comuns em países menos desenvolvidos (Islam et al., 2016).

De acordo com Costa et al. (2007) e Zoby (2008), houve já naquela década um crescimento da utilização de águas subterrâneas no Brasil, que seguiu acompanhada do crescimento da construção de poços sem a utilização de critérios técnicos adequados e em locações inadequadas, o que coloca em risco a qualidade das águas subterrâneas. Isso porque os poços criam uma conexão das águas subterrâneas mais rasas (as quais estão mais suscetíveis à contaminação) com as águas mais profundas (menos vulneráveis). Além disso, a falta de fiscalização e controle, poços mal construídos ou abandonados, e poços sem qualquer medida de proteção são os principais focos de poluição do manancial subterrâneo no meio urbano; já no meio rural o uso intensivo de insumos químicos na agricultura é o principal causador dos riscos às águas subterrâneas (Goetten, 2015).

Segundo Feitosa et al. (2008), “uma obra de captação mal construída representa um verdadeiro foco de contaminação da água subterrânea”. Entre os principais fatores construtivos de risco à contaminação de águas subterrâneas destacam-se (Costa et al., 2007, p.95):

- O não isolamento das camadas indesejáveis durante a perfuração, como por exemplo, a parte de rochas alteradas mais superficiais, que são mais vulneráveis a contaminação;
- A ausência de laje de proteção sanitária e altura inadequada da boca do poço;
- A proximidade com pontos potencialmente contaminantes da água, como fossas, postos de gasolina e lixões;
- A não desinfecção do poço após a construção;
- A não cimentação do espaço anelar entre o furo e o poço, que facilita a entrada de águas superficiais.

4.4.3 Agricultura e o risco de contaminação das águas subterrâneas

De acordo com Siebert et al. (2013), a agricultura é o setor que mais utiliza água, representando cerca de 70% da extração de água de rios e aquíferos em todo o mundo. Ao se considerar apenas a água subterrânea, responde por 80% da exploração da mesma (Turrall et al., 2011). E existiria a expectativa de aumento de cerca de 33% na demanda agrícola nos próximos 40 anos (Pérez-Sánchez; Senent-Aparicio, 2015). Situação que preocupa, pois a água subterrânea tem uma função estratégica, que pode ser colocada em risco caso não haja um adequado gerenciamento da mesma nas diferentes regiões, uma vez que seu uso é importante para a produção agrícola e segurança alimentar, mas é, acima de tudo, fundamental para o abastecimento de água potável para as atuais e futuras gerações.

O uso das águas subterrâneas para produção agrícola apresenta como principal vantagem o fato de poder ser obtida diretamente no local onde será utilizada e com custo inferior ao que seria se comparado com o investimento na construção de uma barragem ou transporte a partir de uma fonte mais distante. Por outro lado, a utilização da água subterrânea para esta finalidade apresenta o risco de contaminação do recurso hídrico, bem como a diminuição das reservas em função da superexploração (Chambel, 2017).

Nesse sentido, são vários os impactos ambientais relacionados com o uso da água em sistemas de produção agrícola e pecuário, como é o caso da salinização de solos, lixiviação de agroquímicos para as águas subterrâneas, carreamento de partículas de solo e fertilizantes para corpos d'água, além de contribuir com a deterioração da qualidade dos rios a jusante; já a criação de animais, pode levar à poluição de mananciais devido à disposição de efluentes no solo ou nos rios e lagos (Telles; Domingues, 2006).

Um fator que potencializa esses impactos são as mudanças climáticas, as quais atuam como um agravante para a degradação das águas subterrâneas, uma vez que as alterações na dinâmica das chuvas (secas e inundações) podem contribuir com a escassez de água (em quantidade e qualidade) e afetar as fontes de alimentos, já que a pouca disponibilidade de água tem efeito negativo direto na produção de alimentos (Denicola et al., 2015).

Em comparação às águas superficiais, a contaminação das águas subterrâneas ocorre de forma bem mais lenta. Isso porque o tempo necessário para

a “percolação até o lençol subterrâneo aumenta com o decréscimo da permeabilidade do solo e com a profundidade do lençol” (Telles; Domingues, 2006). Entretanto, embora isso possa parecer algo benéfico, há o grande problema que somente depois de muito tempo será possível saber que a água subterrânea estava sendo poluída por agroquímicos, e a descontaminação é praticamente impossível de ser realizada.

De acordo com Chambel (2017) o nitrogênio (N), na forma de nitrato (NO_3^-) é o contaminante mais comum na água subterrânea em zonas agrícolas. Segundo Sebilo et al. (2013), em muitas regiões, a quantidade de nitrogênio reativo derivado de ações antrópicas, principalmente através da aplicação de fertilizantes sintéticos e cultivo de leguminosas, excede a quantidade de nitrogênio natural como resultado do crescimento populacional e da necessidade associada de produção de alimentos. O aumento da carga difusa de nitrato nas águas superficiais e subterrâneas emergiu como um grande problema em muitas áreas agrícolas e suínícolas do mundo (Sebilo et al., 2013; Nanni et al., 2005), resultando na contaminação dos aquíferos e na eutrofização de águas doces e ecossistemas marinhos costeiros.

Outro problema recorrente em diversos locais do mundo (a exemplo da Índia, China e EUA) é a superexploração de aquíferos com a finalidade de utilização da água para a irrigação, o que causa rebaixamento do lençol freático, além de impactos diretos nos corpos d'água superficiais que são alimentados por águas subterrâneas (Telles; Domingues, 2006). Segundo Steward et al. (2013), a produção agrícola já começou a diminuir em várias regiões devido à escassez de água. No Brasil, nas regiões em que a utilização de água subterrânea para irrigação é mais intensa já se percebem alguns sinais de superexploração de aquíferos (Telles; Domingues, 2006).

Para solucionar os problemas relacionados com as secas ou mesmo para expandir a produção, é lançada mão de tecnologias de irrigação que utilizam as águas subterrâneas, o que possibilita ganhos na produtividade. Nos últimos 50 anos, o suprimento de água subterrânea contribuiu para a intensificação da produção de alimentos, entretanto, os ganhos de produtividade obtidos com a extração de água subterrânea além da sua capacidade de reabastecimento podem ameaçar as perspectivas do setor no longo prazo (Steward et al., 2013). Isso porque o uso constante e indiscriminado das águas subterrâneas para a produção de alimentos pode levar ao rebaixamento do lençol freático ou mesmo à exaustão do aquífero.

Embora o uso de recurso hídrico subterrâneo seja importante para manter os níveis de produção de alimentos, é necessário que sejam pensadas e implementadas

alternativas ao uso dos mesmos, como a recomposição das florestas, com vistas a promover a evapotranspiração e a manutenção do ciclo hidrológico, evitando assim a “desidratação da paisagem” (REDE GUARANI/SERRA GERAL, 2020); juntamente com o manejo das águas superficiais com vistas à melhoria de sua qualidade, são medidas que devem ser tomadas com o intuito de evitar o esgotamento dos aquíferos e permitir que a água acumulada na bacia hidrográfica tenha tempo para infiltrar e recarregar os aquíferos.

4.4.4 Capacidade adaptativa e sua importância frente aos impactos das mudanças climáticas na disponibilidade de água

A capacidade adaptativa, para o IPCC (2007), corresponde à habilidade de um sistema para se ajustar às mudanças climáticas, incluindo a variabilidade climática e os extremos, para moderar os potenciais danos, aproveitar as oportunidades e lidar com as consequências. A capacidade adaptativa pode ser influenciada por muitos fatores, incluindo os aspectos sociais: pobreza, educação, saúde e capital social; bem como fatores institucionais, políticos e tecnológicos (Myers et al., 2011).

A capacidade adaptativa pode ser definida como o potencial ou a capacidade de um sistema se adaptar aos estímulos climáticos e seus impactos, buscando minimizar os danos causados por essas mudanças através da elaboração de técnicas, planos e medidas econômicas, sociais, ambientais e culturais (Burch, 2010).

Entre os principais problemas enfrentados atualmente para se planejar a infraestrutura hídrica para o futuro, estão as alterações das variáveis hidrológicas com o aumento de sua variância (Gondim et al., 2010). As séries históricas indicam que ao longo do século XXI haverá menor disponibilidade de água, sendo necessário, portanto, enfrentar essa situação através da adaptação às mudanças climáticas, considerando um eventual aumento da frequência de fenômenos extremos (Gondim et al., 2010). Nesse sentido, Ghisi et al. (2006) evidenciaram a menor disponibilidade de água a partir de 2100; e preveem que em Santa Catarina essa disponibilidade será menor que 2000m³ per capita/ano, sendo que no começo do século XXI era de 10.000m³ per capita/ano. O estudo destaca a importância de programas de governo que visem promover a economia de água potável, com vistas à sua preservação.

Observa-se que a variabilidade climática pode levar à necessidade de desenvolvimento de projetos de grande porte e elevados custos. Nesse sentido, Araos

et al. (2016) destacam que as cidades ao redor do mundo, por agregarem a maior parte da população mundial (>50% da população), têm um papel importante diante da elaboração e aplicação de medidas adaptativas aos impactos das mudanças climáticas.

Özerol et al. (2020) afirmam que entre as medidas que podem ser utilizadas para lidar com esses desafios está a implementação de medidas físicas, tais como o aumento da capacidade do sistema de esgoto ou a altura dos diques; entretanto, essas medidas apresentam limitações, já que exigem investimentos elevados que podem ser financeiramente inviáveis. Dessa forma, o autor destaca que as cidades tendem a combinar várias medidas para adaptação às mudanças climáticas, que vão desde incluir espaços verdes urbanos até incentivar os cidadãos a adotarem comportamentos adaptativos.

De acordo com Palutikof et al. (2019), é importante, além de investir na implementação de medidas de adaptação, entender se esta está progredindo e se é eficaz, uma vez que existem muitas barreiras que surgem no decorrer do processo de adaptação, dificultando o progresso.

No Brasil, Gondim et al. (2010) afirmam que há um déficit de adaptação à variabilidade hidrológica, tanto natural como aquela decorrente de interferências nas bacias hidrográficas, que necessita de enfrentamento diante dos impactos que as mudanças climáticas podem causar. Esse cenário ocorre devido ao sistema de gerenciamento das águas não estar adaptado nem mesmo às condições climáticas e hidrológicas atuais, demandando, portanto, investimentos em infraestrutura, monitoramento, modelagem de sistemas de alerta, infraestrutura de defesa e resposta a eventos extremos, bem como o fortalecimento institucional.

Sugio (2006) destaca que os programas de conservação ambiental global devem ir além dos planos nacionais e alcançar nível mundial, de modo que sejam discutidos e implementados planos de execução em reuniões intergovernamentais, como é o caso do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC).

4.4.5 Pressões sobre o SAIG/SG

De acordo com Rede Guarani/Serra Geral (2020), o volume de águas subterrâneas extraído do SAIG/SG tornou-se maior em função da expansão das cidades e do agronegócio, bem como do aumento da contaminação das águas

superficiais. Esse aumento na demanda hídrica em Santa Catarina é notório devido à quantidade de poços tubulares registrados no estado, que em 2006 eram 3.419, em 2011 passaram a 7.165 poços (SIAGAS - Silva; Kirchheim, 2011) e em outubro de 2022 já eram mais de 8.252 poços registrados (SIAGAS, 2022). Importante destacar que essa quantidade é apenas de poços registrados e que seguem as normas de perfuração, mas a quantidade real de poços é muito maior.

De acordo com REDE GUARANI SERRA GERAL (2020) a drenagem de instalações industriais, a agricultura à base de agroquímicos, a infiltração da água de rios com contaminação industrial, a drenagem de granjas (de suínos e de aves) e as lagoas de estabilização de águas residuais são as atividades que mais contribuem para a deterioração das águas subterrâneas.

Silva e Kirchheim (2011) elencam como principais fatores responsáveis pelo aumento do uso da água subterrânea:

- A deterioração progressiva da qualidade das águas superficiais e crescentes custos de captação e tratamento;
- A vulnerabilidade das reservas superficiais aos períodos de estiagem em alguns pontos do país;
- Os avanços tecnológicos das bombas elétricas (submersas ou de eixo prolongado) que possibilitam a extração segura de grandes vazões a grandes profundidades;
- Os avanços na tecnologia de perfuração roto-pneumática e na diminuição dos investimentos necessários para adquirir e operar sondas;
- A expansão da oferta de energia elétrica;
- O progressiva redução dos custos financeiros, redução dos prazos e riscos econômicos da construção dos poços;
- A ausência, em geral, de impactos ambientais associados às extrações de água subterrânea e
- O estímulo à clandestinidade da extração sem o mínimo registro por parte dos órgãos de gestão.

Em auditoria realizada pelas agências reguladoras ARESC, ARIS e AGIR acerca da avaliação de confiança das informações fornecidas pela CASAN ao Sistema Nacional de Informações – SNIS para o ano de 2020, foi constatado que os processos

internos de geração de informações estão bem estabelecidos (Acertar - Relatório de Certificação das Informações do SNIS, 2020). Os dados do SNIS (2020) para o estado de Santa Catarina mostram que dos 7,3 milhões de habitantes no estado, 90,4% ou 6,6 milhões de habitantes são atendidos por rede de abastecimento de água; 26,1% ou 1,9 milhões de pessoas têm acesso a rede de esgoto sanitário, sendo que apenas 31,3% do esgoto gerado foi tratado no ano de 2020. E sobre a coleta domiciliar de resíduos sólidos, 91,1% ou 6,6 milhões de habitantes são atendidos por esse serviço.

4.5 CRESCIMENTO POPULACIONAL E A PRESSÃO SOBRE AS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O crescimento populacional é um fator importante para a gestão da água, uma vez que cria demandas por um maior consumo de água, que leva à produção adicional de águas residuais e poluição. (Hassing et al., 2009). De acordo com o relatório *World Population Prospects* da ONU (2019), é estimado que ocorra um crescimento de aproximadamente 2 bilhões de pessoas até 2050, chegando-se a uma população de 9.7 bilhões de habitantes. Destaca-se que a maior parte desse crescimento ocorrerá nos países menos desenvolvidos, os quais apresentam uma grande demanda por infraestrutura de abastecimento de água e tratamento de esgoto. Os dados da ONU (2019) indicam que os países da África Subsaariana serão os responsáveis por 52% dos índices de crescimento da população mundial até o ano de 2050.

Atrelada ao crescimento populacional está a urbanização, que segundo Özerol et al. (2020) e Tundisi et al. (2015) pressiona cada vez mais as águas, através do aumento do consumo, da produção de resíduos (sólidos e residuais) e da degradação das áreas florestais. Dessa forma, na medida em que se amplia a concentração de pessoas nas áreas urbanas, ocorre o aumento da demanda por água e a deterioração desse recurso, surgindo a pressão pelo uso das águas subterrâneas em função da sua qualidade e facilidade de acesso (Bohn et al., 2014).

Segundo Jorgensen et al. (2009) o crescimento e desenvolvimento econômico devem ser vistos com otimismo, porém, esses processos devem ser acompanhados por um planejamento adequado, considerando que ocorre maior demanda por recursos naturais e a concentração em áreas urbanas. Entretanto, nota-se contraditória a “percepção otimista” do crescimento e desenvolvimento econômico do autor, uma vez que os limites da natureza já estão superados, a degradação ambiental

já atingiu patamares irreversíveis e a capacidade de carga de seres humanos no planeta já foi ultrapassada.

Silva et al. (2017) afirmam que o crescimento populacional e a mudança para as áreas urbanas representam desafios significativos para administrar a infraestrutura hídrica. Nas áreas urbanas a situação é agravada pela migração contínua de pessoas provenientes das áreas rurais, tendo como empecilho a dificuldade em garantir e proteger as águas, especialmente para a população mais pobre.

No Brasil, o processo migratório das áreas rurais para as urbanas foi intensificado a partir dos anos de 1960 e atualmente menos de 20% da população reside no meio rural, seguindo a tendência de outros países (Zago, 2016; Camarano; Abramovay, 1999). Entretanto, cabe destacar que no Brasil a migração de pessoas da região Nordeste para outras regiões do país vem diminuindo desde 2003 em função do 'Programa Cisternas'⁸ financiado pelo Governo Federal, o qual tem como objetivo promover o acesso à água para consumo humano e para a produção de alimentos por meio da agricultura familiar e estímulo a conviver na região semiárida e em tais situações. Tal programa atende famílias rurais de baixa renda e busca a implementação de tecnologias sociais simples e de baixo custo (Brasil, 2020).

Além da migração rural-urbano, é esperada a migração de refugiados ambientais, os quais, muitas vezes, se mudam devido a problemas de escassez de água no seu local de origem, o que pode levar a uma pressão insustentável sobre as mesmas (Hassing et al., 2009). Nessa ótica, tem sido crescente o uso das águas subterrâneas para abastecimento humano, considerando que é uma alternativa mais barata, uma vez que pode ser utilizada, quando captada de forma adequada, sem a necessidade de grandes investimentos em transporte ou tratamento prévio (Feitosa et al., 2008).

O IPCC reconhece que o uso da água subterrânea aumentará, como resultado da menor disponibilidade de água superficial e em função do aumento do consumo global da mesma (Smerdon, 2017). Isso ocorrerá em consequência do crescimento populacional e do desenvolvimento, uma vez que são esperadas

⁸ Desde a implantação, em 2003, o Programa Cisternas, criado no Governo do então presidente Luiz Inácio Lula da Silva (PT) para universalizar o acesso à água na região semiárida, alcançou mais de 5 milhões de brasileiros. Foram mais de 1,3 milhão de cisternas construídas e 1.200 municípios atendidos. (<https://www.brasildefato.com.br/2022/04/27/cisternas-no-brasil-vidas-foram-transformadas-mas-desmonte-retoma-cenario-de-escassez-hidrica>).

mudanças na demanda de diversos setores usuários, que devem aumentar acima do previsto. O resultado disso será a elevação da temperatura e evapotranspiração, demandando mais irrigação, refrigeração e consumo humano em determinados períodos e regiões (Gondim, 2010).

Outro problema relacionado com o crescimento populacional é a necessidade crescente de produção de alimentos que, produzidos de forma convencional, agravam o aumento da utilização de agroquímicos e agrotóxicos que contribuem com o excesso de nitrogênio no ambiente, podendo contaminar as águas subterrâneas (Sebilo et al., 2013). Ademais, o crescimento populacional, atrelado à expansão agrícola e industrial, tem feito com que, em algumas regiões, a demanda por água supere a oferta (Silva et al., 2017).

Feitosa et al. (2008) destacam que o uso descontrolado das águas subterrâneas no Brasil tem causado sérios impactos nos sistemas naturais de fluxos subterrâneos, além de problemas de recalque diferenciado do subsolo.

Nesse sentido, Turrall et al. (2011) ressaltam a importância de uma maior compreensão acerca da influência do uso da terra na recarga a longo prazo de águas subterrâneas, considerando a importância relativa do fluxo de base *versus* eventos de inundação.

5 GOVERNANÇA

O reconhecimento de que a “crise global da água” é em grande extensão uma crise de governança fez com que a governança da água se tornasse tema central no discurso das agências e organizações internacionais, conforme estudos e pesquisas como os de Ribeiro e Johnsson (2018) e Trindade et al. (2018).

Segundo a Comissão de Governança Global (1996), a definição de governança é:

A soma das várias maneiras de indivíduos e instituições, público e privado, administrarem seus assuntos comuns. É um processo contínuo por meio do qual, interesses conflitantes ou diversos podem ser acomodados e ações cooperativas podem ser tomadas. Inclui instituições e regimes com o poder de fiscalizar o cumprimento, bem como os arranjos informais com os quais as pessoas e instituições concordam ou que percebem ser de seu interesse (Comissão de Governança Global, 1996 p.2).

O conceito de governança reporta formas de gestão em que a negociação, a comunicação e a confiança seriam imprescindíveis, e atores públicos, comunitários e

privados cooperariam em prol da coletividade. Assim, o Estado assume o papel de agente ativador, responsável por acionar e coordenar os demais atores a produzir políticas de forma colaborativa (Goetten, 2015). De acordo com Ribeiro e Johnsson (2018) a governança é vista como um processo envolvido na tomada de decisão, a qual se dá por meio das instituições e envolve múltiplos atores; é vista como um processo de interações em que ocorre a valorização das negociações, diálogos e trabalho em rede.

Nesse sentido, o conceito de governança é fundamental para a realização da Gestão Integrada de Recursos Hídricos – GIRH ou Gestão Integrada das Águas. Turton et al. (2007) ressaltam que a aceitação dos princípios da GIRH é impulsionada pelo reconhecimento de duas questões principais, a de que todos os componentes do ciclo da água precisam ser gerenciados como uma única unidade, em vez de componentes separados; e de que todas as partes interessadas devem ser mais intimamente envolvidas nos processos de tomada de decisão, para garantir que os resultados da gestão tenham maior aceitação e legitimidade. Entende-se por governança da água, de acordo com Trindade et al. (2018), o conjunto de aspectos políticos, sociais, econômicos e administrativos para desenvolver e gerenciar as águas; sendo que esta governança não envolve somente a gestão hídrica, mas também tópicos relacionados ao saneamento básico, saúde, ordenamento do solo e preservação de recursos ambientais.

Nota-se, entretanto, que o aspecto ambiental (nas suas várias vertentes) não recebe o destaque necessário dentro dos conceitos de governança. Considerando que são os fatores ambientais que dão as condições para que todas as atividades humanas aconteçam, é fundamental a manutenção dos ecossistemas e a preservação da qualidade ambiental.

No segundo Fórum Mundial da Água, realizado em Haia na Holanda no ano 2000, o consenso de opinião indicou que a atual “crise da água” não é apenas sobre a quantidade necessária para satisfazer as necessidades humanas, mas sim uma crise de gerenciamento, em que é necessária a colaboração e parcerias em todos os níveis de governança, desde o individual até as organizações internacionais (World Water Council - WWC, 2000). Ou seja, uma “crise civilizatória”!

Turton et al. (2007) destacam que a aceitação internacional dos princípios da GIRH permitiu que os gestores de recursos hídricos desenvolvessem e aplicassem um conjunto de abordagens e opções de gerenciamento interligadas que podem ser

configuradas para se adequar a circunstâncias específicas; mas que também é importante reconhecer que a aceitação dos princípios de GIRH exige que os gestores das águas garantam que as estruturas institucionais adequadas e os processos de participação das partes interessadas sejam capazes de acompanhar e complementar os aspectos de engenharia mais tradicionais da gestão das águas. Nesse sentido, é necessário que os gestores compreendam de forma mais completa o funcionamento das interligações entre ecossistemas, opções de gestão das águas e atividades humanas que impactam as mesmas (Turton et al.; 2007).

ANA (2020) ressalta a importância da construção de nexos entre os diferentes setores (meio ambiente, ordenamento territorial urbano, saneamento, agricultura, energia e clima) de modo que seja possível atingir a governabilidade e a governança. E destaca as dificuldades do Poder Público brasileiro em coordenar os múltiplos sistemas institucionais e as políticas públicas que ainda se apresentam bastante setorializadas, com destaque para a política hídrica que ainda não conseguiu integrar de forma plena as águas superficiais, subterrâneas e costeiras. Turton et al. (2007) já abordava essa problemática ao destacar que os benefícios potenciais da GIRH ainda não eram completamente perceptíveis, o que pode ser resultado da falha na atenção dada para garantir que os sistemas de governança apropriados estejam em vigor.

Observa-se que a governança da água ainda é um tema que demanda discussão e engajamento dos diversos atores envolvidos, para que os benefícios desse modelo de gestão da água sejam de fato perceptíveis. Dessa forma, a governança deve ser usada como uma ferramenta não apenas com o intuito de modificar o sistema, mas como um processo contínuo de aprendizagem, que reconhece a participação da comunidade e a aprendizagem conjunta (Ribeiro; Johnsson, 2018). A governança da água é ainda mais relevante enquanto ferramenta de auxílio na resolução de questões como a disponibilidade hídrica, conflitos de uso e na sobreposição de instâncias decisórias na gestão do território de bacias hidrográficas, sendo, portanto, uma alternativa de diálogo que busca o entendimento em torno do acesso à água (Trindade et al., 2018).

5.1 GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS

As abordagens modernas sobre a gestão das águas reconhecem que só é possível uma gestão eficaz e eficiente quando toda a bacia hidrográfica constituir a

unidade básica de gestão; e destacam que as águas superficiais e subterrâneas estão intimamente ligadas, sendo necessária a administração conjunta das mesmas, como um único recurso (Ashton, 2007). Assim, a gestão integrada tem como premissas a bacia hidrográfica como unidade de gestão; a gestão das águas superficiais e subterrâneas como um único recurso e, a partir do olhar da governança, requer o envolvimento de todas as partes interessadas nos processos de tomada de decisão.

Segundo a ANA (2020) a bacia hidrográfica tem o desafio de promover a gestão integrada das águas doces superficiais, subterrâneas e costeiras, já que essas três dimensões da água se inter-relacionam de maneira direta, porém cada uma delas possui bases geográficas que não necessariamente convergem com os limites da bacia.

Silva et al. (2017) apresentam a Gestão Integrada de Recursos Hídricos – GIRH como “um processo que promove um gerenciamento coordenado da água, da terra e dos recursos relacionados, de forma a maximizar a resultante econômica e o bem-estar social de forma equilibrada, sem comprometer o ecossistema”. E destacam que um ponto importante da GIRH é o de não representar uma teoria científica que necessite ser confirmada, mas um conjunto de sugestões de bom senso no que se refere aos aspectos gerenciais das águas.

Assim, a gestão integrada corresponde a um conjunto de sugestões e ações de senso comum sobre os componentes importantes para o gerenciamento, e se mostra uma abordagem flexível à gestão da água, uma vez que pode se adaptar aos diferentes contextos locais e nacionais (Hassing et al., 2009; Silva et al., 2017). Nesse sentido, é importante que a gestão das águas considere aspectos como as intensas demandas agrícolas e industriais, e compartilhe dados acerca da flutuação do abastecimento da água (Silva et al., 2017).

De acordo com OECD (2015), o Brasil, por apresentar uma grande diversidade em termos de características hidrográficas, de níveis de desenvolvimento econômico e de capacidade institucional, não pode definir uma resposta única para todo o território. Assim, destaca-se o papel fundamental dos estados na gestão das águas, já que a governança em uma bacia hidrográfica terá poucas possibilidades de ocorrer sem o fortalecimento dos mesmos. Ou seja, é necessária a descentralização da gestão das águas, conforme prescreve a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Da mesma forma, a gestão federal integrada das águas não poderá ocorrer sem que a gestão estadual integrada das águas ocorra. E para além disso, é

fundamental a inserção da comunidade, que está presente na escala local e que sente fortemente os impactos da “não” gestão das águas.

É importante observar também, que o engajamento das partes interessadas e a mobilização social generalizada não devem excluir os sólidos conhecimentos técnicos e o exercício da autoridade pública. Dessa forma, é fundamental reconhecer que as abordagens de “baixo para cima” necessitam ser complementadas por um processo de “cima para baixo”, de modo a garantir o cumprimento das metas nacionais e dos objetivos em longo prazo (OECD, 2015).

No que se refere às águas subterrâneas, a partir do processo de implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/1997, percebe-se a importância estratégica das mesmas para se atingir o objetivo básico da política, de “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Brasil, 1997; Bohn et al., 2014, p.33). Entretanto, observa-se um cenário que pode limitar o alcance de tal objetivo da PNRH, pois a ameaça de escassez hídrica está inserida no contexto das crises geradas pelos padrões insustentáveis de consumo e produção (Villar, 2012).

Bohn et al. (2014) destacam que inicialmente as águas subterrâneas não tinham o devido reconhecimento acerca da sua importância estratégica, uma vez que a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) evidenciava em seu texto apenas as águas superficiais como de importância estratégica para alcançar os objetivos propostos. Essa visão começa a mudar a partir da aprovação, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, da resolução nº15 de 12 de janeiro de 2001, que estabelece as diretrizes para a gestão integrada das águas, em que as águas subterrâneas passam a ser incluídas nesse processo. Com isso, outras resoluções passam a regulamentar a proteção e a conservação das águas subterrâneas, com destaque para as Resoluções do CNRH nº 22/2001, nº 91/2008, nº 92/2008 e nº 107/2010.

Esse cenário remete a discussões, no âmbito nacional e internacional, acerca das medidas a serem utilizadas para gerir as águas subterrâneas e os aquíferos. E é apontada a governança como a principal estratégia para o enfrentamento dos riscos a que essas águas estão expostas (Villar, 2012). Para Bohn et al. (2014), “(...) como a utilização da água subterrânea em grande escala é recente no país e a produção de conhecimento sobre as mesmas acompanha esta tendência, o que se percebe é uma grande indefinição acerca das regras que guiarão a sua gestão”. Segundo Bohn et al. (2014) as poucas informações sobre as águas subterrâneas e a grande

disponibilidade de água superficial existente no Brasil contribuem para a demora da inserção das mesmas no processo de gestão das águas.

Embora ainda sejam poucos e recentes os trabalhos sobre o assunto, é perceptível o crescimento do interesse pelo tema e o desenvolvimento de projetos que buscam preencher essas lacunas. É o caso do Sistema de Informação de Águas Subterrâneas – SIAGAS do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, que se mostra uma ferramenta importante para a gestão de águas subterrâneas; bem como o Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani – PSAG, que teve como objetivo permitir a gestão e o uso sustentável do Sistema Aquífero Guarani (SAG) e apoiar os quatro países (Argentina, Uruguai, Paraguai e Brasil) na elaboração conjunta e implementação de um marco comum institucional, legal e técnico para diligenciar e preservar o SAG para as gerações atuais e futuras.

Outro projeto importante desenvolvido sobre o tema é o Projeto Rede Guarani Serra Geral - RGSG que tem como objetivo “a produção de conhecimento compartilhado sobre a gestão sustentável das águas superficiais e subterrâneas, e a elaboração de um modelo jurídico legal e de gestão para o uso e conservação do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral (SAIG/SG)” (RGSG, 2020). Cabe destacar também as pesquisas realizadas, muitas no âmbito deste último projeto, sobre o tema da governança de águas subterrâneas (Goetten, 2015; Krepsky; Besen, 2014; Leal, 2015; Ramos, 2017; Facco, 2018; Wolkmer et al. 2012; Melo; Gatto, 2012; Villar, 2016), que poderão auxiliar nas tomadas de decisão acerca da gestão deste recurso.

Segundo Steward et al. (2013), é necessário que ocorra entendimento mais abrangente das relações entre o bombeamento de aquíferos e a capacidade do ambiente de fornecer bens e serviços ecossistêmicos para que seja possível fazer o gerenciamento das águas subterrâneas. Pérez-Sánchez e Senent-Aparício (2015) ressaltam a inter-relação entre as águas superficiais e subterrâneas, e que nestas últimas há interação entre os aquíferos sobrepostos, como é o caso do SAIG/SG (Scheibe; Hirata, 2008), comprovando a necessidade de que a água seja analisada como um recurso único.

5.2 CONFLITOS PELA ÁGUA: CRISE HÍDRICA OU CRISE CIVILIZATÓRIA?

A relação dos seres humanos com a natureza é oriunda da necessidade de sobrevivência desde o homem primitivo que buscou satisfazer as suas necessidades por meio do uso imediato e posterior da transformação da natureza. Com o passar do tempo, a necessidade de sobrevivência deixou de ser o objetivo principal e a evolução das civilizações humanas tornou cada vez mais complexa essa relação (Freitas; Freitas, 2014).

Do ponto de vista ambiental, essa “evolução das civilizações humanas” tem levado a natureza à exaustão e as comunidades a maiores níveis de desigualdade. Nota-se a evolução da capacidade técnica humana para extrair recursos da natureza, assim como a evolução nas discussões acerca de medidas para solucionar problemas relacionados ao uso e ocupação do solo, uso da água, manejo de resíduos, entre outros temas pertinentes à relação com a natureza. Entretanto, esses problemas se arrastam há tempos e são potencializados pela incapacidade humana de respeitar o tempo e os limites da natureza.

Assim, o cenário que se apresenta é de uma crise civilizatória, em que os humanos não tem sido capazes de priorizar a natureza em detrimento ao modo de produção capitalista. No que se refere à temática das águas, percebe-se um cenário preocupante, pois delas depende todo o sistema produtivo, mas delas dependem principalmente os ecossistemas para a manutenção da vida e sobrevivência humana.

Villar (2016) afirma que a “crise hídrica” pode ser vista como um subproduto da crise civilizatória e compreende um conjunto de crises localizadas territorialmente, que se relacionam: ao acesso e uso da água, à disponibilidade de reservas hídricas e à degradação das águas. Para a autora, essas dimensões estão vinculadas e se interconectam com outros problemas ambientais, que podem deflagrar ou influenciar outras crises, tais com: a alimentar, energética, ecológica e produtiva (Villar, 2016). Entretanto, observa-se que as crises destacadas pela autora são na realidade produto de uma lógica centralizadora que não é compatível com as dinâmicas ambientais do planeta. A qual visa o lucro a qualquer custo (principalmente o ambiental e da força de trabalho), e induz a comunidade ao consumo de bens e serviços sem considerar os limites da natureza:

A unidade orgânica existente entre homem e natureza é perdida com o avanço do capital (...) e essa relação representa não só a exploração até o

total esgotamento da força de trabalho, como também o próprio esgotamento da natureza (Freitas; Freitas, 2014).

Considerando a interação da água com fatores como a poluição atmosférica, o desflorestamento e o uso do solo, observa-se que os problemas decorrentes – chuvas ácidas, assoreamento dos corpos hídricos, erosão do solo, diminuição da infiltração, perda de umidade, alteração nos regimes de chuvas, impermeabilização do solo, inundações, perda da infiltração e riscos de contaminação das águas – são responsáveis por agravar a “crise hídrica” (Villar, 2015). Assim, a “crise hídrica” ou crise civilizatória se fortalece a partir do momento em que a água passa a ser vista como um recurso escasso e deixa de atender às várias demandas, gerando conflitos.

Entre os fatores que podem levar a conflitos pelo uso da água estão: a distribuição da água no território, a forma de ocupação do espaço pela população e a apropriação e consumo desigual das águas entre os diferentes grupos sociais. Diante de uma situação de escassez de água em padrões de qualidade adequados, são observados conflitos relacionados à apropriação deste recurso frente a uma demanda dada (Campos; Fracalanza, 2010).

Ribeiro et al. (2019) fazem uma análise da construção da água enquanto objeto de disputa e identificam dois vetores. O primeiro está relacionado com a quantidade de água global, ou seja, o volume de água disponível no ciclo hidrológico, em que é construída a noção de que o planeta tem pouca água doce (já que a maior parte do volume total é de água salgada e a água doce encontra-se em sua maior parte congelada nas geleiras e confinada nos aquíferos). Assim, a “crise hídrica” é compreendida como um problema demográfico (muita gente para pouca água) e geográfico (lugares com pouca água e muita gente). Entretanto, os autores destacam que o volume de água no planeta pode ser entendido como fluxo, uma vez que a água no ciclo hidrológico apresenta grande mobilidade espacial, e sua apropriação depende das capacidades técnicas da sociedade. Dessa forma, a “crise hídrica” é entendida como um fator diretamente relacionado com a capacidade técnica das diferentes sociedades de capturar, gerir e utilizar a água do ciclo hidrológico (Ribeiro et al., 2019).

Cabe destacar que são as pessoas que ocupam os territórios e é fundamental que seja considerada a demanda de água que pode ser gerada frente à oferta hídrica disponível, e não o contrário. Isso porque os conflitos pela água ocorrem devido a sua distribuição política e não à sua distribuição natural (Ribeiro et al., 2019). Nesse sentido, mostra-se fundamental a inclusão da comunidade no processo de gestão das

águas. Ou seja, é necessário que haja incentivo à participação popular por meio de projetos e organizações locais que visem a utilização das águas de forma a priorizar o uso racional da água.

O segundo vetor identificado pelos autores é o da construção social da água, que se refere à forma como a água é compreendida pela sociedade, em que é tida tanto como um recurso raro e como um bem econômico. Essa visão levou as políticas a buscar a maximização de eficiência do uso da água por meio de privatizações das águas (Ribeiro et al., 2019). Essa corrente de pensamento foi promovida pelo Banco Mundial ao argumentar que a oferta abundante e barata de água leva os consumidores e gestores a usar de forma insustentável as águas (BANCO MUNDIAL, 1993). Nesse sentido observa-se o conflito entre a função da água como recurso necessário para garantir o bem-estar da população, associado à manutenção das demais formas de vida, e outra que mostra a água como um bem econômico que tem a função de garantir a produção de bens e *commodities*⁹.

O termo “crise hídrica”, segundo Villar (2015), abarca três dimensões dos problemas hídricos: a crise dos excluídos, a crise da poluição e a crise de escassez que, embora sejam distintas, estão diretamente relacionadas. A primeira é causada pela falta de acesso à água potável, que pode ser caracterizada como um problema infraestrutural, devido aos baixos investimentos em extração e distribuição do recurso hídrico para toda a população. Essa limitação de acesso à água, bem fundamental à vida, leva a população a uma situação de miséria e deixa ainda mais evidente a desigualdade social. A segunda corresponde ao produto negativo do processo produtivo, ou seja, os resíduos sólidos, líquidos e gasosos que são lançados no ambiente e interferem na qualidade das águas e em sua disponibilidade. E a terceira relaciona-se diretamente com a disponibilidade e a utilização da água, ao considerar-se que apenas 0,3% da água doce mundial estariam disponíveis nos rios e lagos (onde é mais acessível) e que a distribuição da mesma ocorre de forma bastante desigual no planeta, evidenciando o quadro de escassez hídrica (Villar, 2015).

Essas três dimensões dos problemas hídricos, entretanto, são decorrentes do modelo civilizatório imposto. A falta de acesso à água, o lançamento de resíduos no

⁹ O dicionário Inglês Oxford define o termo *commodity* como ‘uma coisa produzida para uso ou para venda, um artigo de comércio, um objeto de troca. Mowshowitz (1992) afirma que qualquer coisa que possa ser apropriada e à qual possa ser atribuído um valor de mercado pode ser uma *commodity*. Para Cloke et al. (2013), *commodity* é algo útil que pode ser transformado em vantagem comercial, é um artigo de troca e de comércio.

ambiente e as formas de utilização das águas compreendem nichos da sociedade aparentemente distintos, mas que na realidade representam uma estrutura social desigual, desarticulada e centralizadora; uma população que desconhece o poder que apresenta diante das tomadas de decisão, o que permite a ocorrência da mercantilização das águas.

Diferentemente do senso comum, observa-se que a água subterrânea é a principal fonte de abastecimento para a população, já que 30,1% da água doce mundial estão armazenadas nos aquíferos; porém, sua disponibilidade é limitada e é necessário que haja regulamentação do uso e investimento em infraestrutura de captação e distribuição, de modo socialmente justo e ambientalmente adequado (Ribeiro et al., 2019; Villar, 2015). A visão de que o principal problema, do ponto de vista hídrico, não está nos volumes totais de água, mas sim no fato de que a distribuição da água ocorre de forma desigual e irregular (Villar, 2015) é equivocada. A água ocorre no ambiente conforme a necessidade dos diferentes ecossistemas, afinal, ela não está para “servir” exclusivamente às demandas humanas. Nesse sentido, a distribuição da população no espaço e o modelo de produção, esses sim, são os aspectos que se mostram incompatíveis com as características ambientais nas diferentes regiões no globo.

Segundo a WWAP (2006), entre os principais desafios contemporâneos encontra-se a disponibilização de água suficiente e com qualidade adequada, no local desejado e no momento necessário. Ou seja, há uma inversão de “valores”, em que a água deve se adequar às demandas da sociedade e não o contrário. As águas, na realidade estão para a manutenção da vida, nas suas diferentes formas e ambientes, cabendo aos seres humanos “encontrarem” o seu lugar no espaço, de acordo com as possibilidades oferecidas pelo ambiente, respeitando os limites do mesmo e buscando a resiliência necessária para viver de acordo com as regras da natureza, não o oposto.

De acordo com Villar (2016, p. 85), a “racionalidade econômica e científica apostou em um modelo de produção excludente” que não considera as limitações do meio natural, que busca o crescimento contínuo e que permite a degradação das águas, independentemente das consequências ao ambiente, à sociedade e às futuras gerações. Diante desse processo as populações mais pobres são as mais vulneráveis, uma vez que não detêm capital e capacidade técnica para enfrentar as mudanças ambientais, as quais podem significar a desestruturação das condições materiais para sua existência (Alier, 2007).

Destaca-se que esse cenário de crise civilizatória é produto de um processo intenso de exploração da natureza e dos padrões tecnológicos e de consumo; fatores esses que têm levado ao esgotamento dos recursos naturais, à degradação do meio ambiente e, por conseguinte, à exaustão do mesmo, desencadeando alterações irreversíveis das características ambientais e climáticas.

De acordo com dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios - PNAD (IBGE, 2016), no ano de 2016 houve um crescimento populacional de 0,8% em comparação com o ano anterior, apresentando uma estimativa da população residente no Brasil de 204,9 milhões de pessoas. Além disso, segundo o IBGE (2010), a taxa de urbanização no Brasil passou de 81,25% em 2000 para 84,4% em 2010, crescimento este causado pelo crescimento vegetativo nas áreas urbanas e as migrações com destino urbano. Entretanto, essa migração campo-cidade não é recente, tendo sido acentuada na década de 1960, em que as regiões metropolitanas dos estados e as cidades polos regionais foram os principais receptores desses migrantes. Como consequência dessa mudança da distribuição da população brasileira, geraram-se cidades com uma infraestrutura inadequada para suprir as demandas da população, em especial aquelas relacionadas com as águas: o abastecimento de água para consumo, o transporte e o tratamento de esgotos (Jacobi et al., 2009).

Dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2020) mostram que apenas 60,3% dos municípios brasileiros possuem serviço de esgotamento sanitário por rede coletora; desses, 2.013 (62,8%) apresentam estações de tratamento em operação, ou seja, somente 36,14% dos municípios brasileiros faz tratamento do seu esgoto. Observa-se, portanto, que o esgotamento sanitário no país ainda está muito longe do ideal e com isso o risco de contaminação dos corpos hídricos se torna cada vez mais preocupante. Essa situação contribui para a contaminação das águas e consequente diminuição da oferta em qualidade e quantidade necessárias para atender às demandas da população, o que, de acordo com Jacobi et al. (2009) aumenta os custos de captação de água, pois os mananciais estão cada vez mais distantes dos centros urbanos, havendo a necessidade de exploração de fontes alternativas, como no caso das águas subterrâneas.

Nesse contexto, observa-se que a “crise hídrica” no Brasil não está apenas relacionada com as características geográficas e demográficas do país, mas está

intimamente ligada à falta de investimento em políticas de saneamento e de diminuição das desigualdades socioeconômicas.

De acordo com Campos e Fracalanza (2010), para que uma política pública tenha êxito, é fundamental que o estado tenha capacidade financeira, instrumental e operacional, mas, além disso, deve ser capaz de construir espaços que permitam que tais políticas sejam negociadas e que haja mobilização dos diferentes grupos para que apoiem as mesmas; e ressaltam que sem estes itens, o processo de implantação de tal política será prejudicado. Assim, para que a crise civilizatória no Brasil seja superada, é imperativo que ocorra o fortalecimento das instituições que têm como foco a qualidade ambiental e o atendimento às necessidades humanas básicas, bem como seja priorizado o investimento em infraestrutura de saneamento; e, sobretudo, que haja engajamento dos diferentes atores para que a (boa) governança da água de fato ocorra, considerando as águas de forma integrada, integradora e participativa.

Em um contexto mais abrangente, Silva et al. (2017) afirmam que estes fatores somados às projeções climáticas indicam um futuro problemático de estresse hídrico no planeta, e que são diversas as regiões do mundo que já estão sendo afetadas pelas mudanças climáticas, especialmente no que se refere à disponibilidade de água em quantidade e qualidade necessárias para atender às demandas da população. A crise civilizatória, portanto, seria produto de uma série de fatores que juntos levam ao risco de escassez de água, sendo a poluição, a falta de saneamento, o desflorestamento e o crescimento populacional os principais.

5.2.1 Participação da comunidade pelo direito às águas

No Brasil a escassez de água está relacionada com a baixa disponibilidade hídrica, mais evidente na região Nordeste, e com a elevada densidade demográfica nas regiões Sul e Sudeste. Entretanto, a escassez da água, assim como de outros recursos naturais, não é algo natural, mas sim o produto social de um processo global de privação das comunidades daquilo que lhes pertence (expolição), em que a água perde o seu caráter de *bem comum* e se torna mercadoria (Bonfim, 2023).

Os dados levantados e sistematizados pelo Centro de Documentação Dom Tomás Balduino – Cedoc, da Comissão Pastoral da Terra – CPT (2023), mostram que em 2022, os agentes privados, nos quais estão incluídos: empresários nacionais e internacionais, mineradoras, garimpeiros, madeireiros, hidrelétricas, fazendeiros,

entre outros, foram os responsáveis por 86,6% das ocorrências de conflitos pela água no Brasil.

Jacobi et al. (2009) destacam que esses conflitos estão situados nas áreas com maior densidade demográfica e com intensa concentração industrial (regiões Sul e Sudeste), onde a poluição das águas é mais intensa e tem como resultado custos mais elevados para tratamento. Entretanto, o agronegócio tem levado, cada vez mais, à escassez hídrica e aos conflitos nas áreas rurais banhadas por rios, meio de vida das comunidades tradicionais.

Merece destaque o caso de Correntina-BA, em que os conflitos pelo uso da água tiveram início no final da década de 1970 e se intensificaram nos últimos anos com o crescimento das atividades agrícolas na região (ASA, 2018; Santos, 2020). Segundo Melo (2019), a quantidade de água retirada do rio Corrente por uma única empresa nessa região (106 milhões de litros diários) seria suficiente para abastecer diariamente 6,6 mil cisternas domésticas só na região do semiárido. Em 2017, um grande ato realizado pelos moradores resultou na destruição do sistema de bombeamento e captação de águas da Fazenda Igarashi, a qual estava secando as águas do Rio Arrojado e impedindo a realização das atividades habituais pelas comunidades que dependem dessas águas (Bonfim, 2023).

O rompimento da Barragem de Brumadinho é outro exemplo da interferência do setor privado sobre as comunidades que historicamente construíram sua identidade ambiental, social e econômica e partir da relação com as águas. O caso da comunidade Cachoeira do Choro, no município de Curvelo em Minas Gerais, evidencia como a situação de destruição e contaminação do Rio Paraoapebas, a partir do rompimento da barragem, segue alimentando os conflitos pela água na região (Bonfim, 2023). Após quatro anos do rompimento da Barragem em Brumadinho, as comunidades seguem impactadas pela falta de água apropriada para consumo, com a impossibilidade de desenvolver a pesca, o turismo e o lazer, o que impacta diretamente sobre a soberania alimentar dessas comunidades.

Ainda outro exemplo de participação popular é a do Fórum Popular em Defesa da Água de Erechim, que em 2020, em meio à Pandemia de COVID-19, mobilizou a comunidade para impedir a ocorrência de uma audiência pública virtual para apresentação do edital de concessão dos serviços de água e esgoto. A mobilização da população culminou com a suspensão do edital de privatização da água e

saneamento por parte do Tribunal de Contas do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil de Fato, 2023).

5.3 GOVERNANÇA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM SANTA CATARINA

Goetten (2015) avaliou a governança das águas subterrâneas nos Estado de Santa Catarina, São Paulo, Paraná e Rio Grande do Sul. E a partir da metodologia utilizada observou que o estado de São Paulo apresentava maior capacidade técnica, institucional e operacional para realizar a governança das águas subterrâneas, seguido dos estados do Paraná e Rio Grande do Sul com médio desempenho e de Santa Catarina com baixo desempenho.

Considerando o estado de Santa Catarina, nota-se que o uso das águas subterrâneas para abastecimento vem aumentando desde o ano de 2010. Os municípios localizados na porção Oeste do estado têm como principal fonte de abastecimento de água os mananciais subterrâneos, com predomínio do Sistema Aquífero Serra Geral. Nas demais regiões, o uso exclusivo de mananciais superficiais é predominante, porém vem diminuindo ao longo dos anos. No total, 49% das sedes urbanas são abastecidas somente por mananciais superficiais, 27% exclusivamente por mananciais subterrâneos e 24% são abastecidas de forma mista (mananciais superficiais e subterrâneos) (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2021).

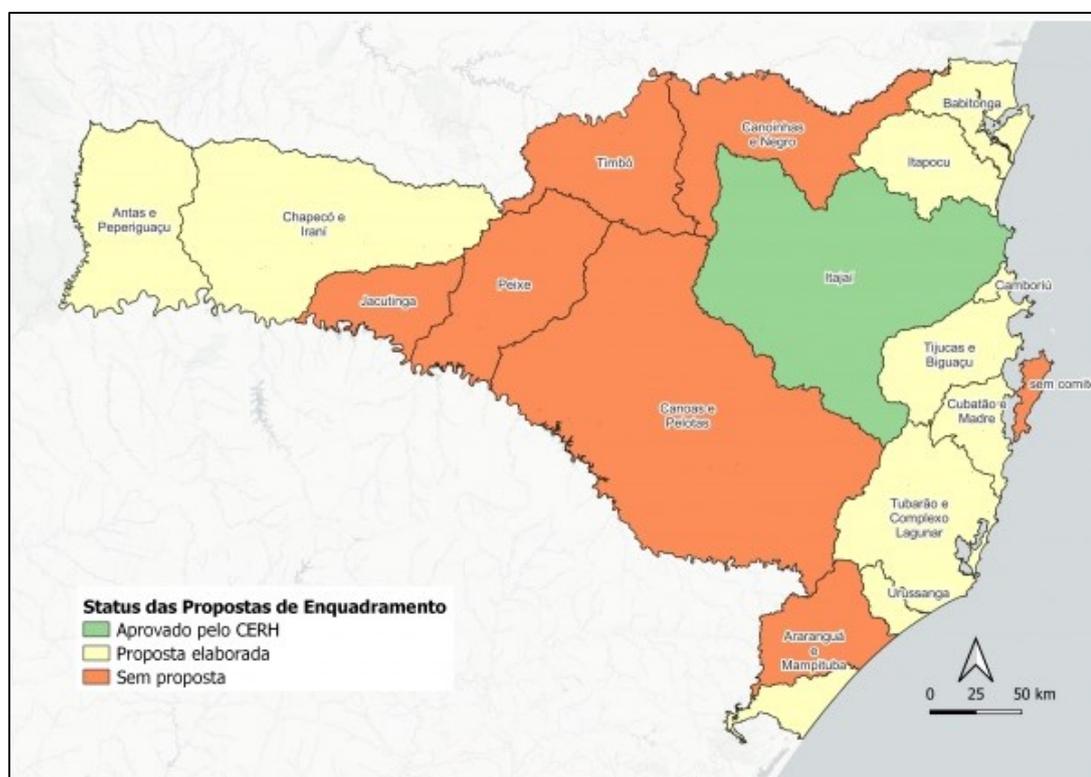
Desde a realização da pesquisa de Goetten (2015) poucas foram as mudanças observadas em relação aos resultados obtidos pelo autor em relação aos critérios de análise. Do ponto de vista técnico o autor identificou um desempenho fraco em Santa Catarina, o que se comprova pelas limitações técnicas de *monitoramento piezométrico* e de *qualidade das águas subterrâneas*, ausência de *base de dados referente à prospecção geofísica*, inexistência de *mapa potenciométrico* e da ausência de *modelos numéricos de gestão de aquíferos*. Os critérios de caráter operacional/legal utilizados por Goetten (2015) tiveram uma sensível melhoria desde a pesquisa realizada em 2015, porém os critérios de caráter institucional/legal permanecem com os mesmos resultados.

Em apenas três critérios de avaliação foi possível observar alguma melhoria, sendo estes: Avaliação de risco de contaminação de águas subterrâneas; Outorga do direito de uso de recursos hídricos subterrâneos; e Plano Estadual de Recursos Hídricos/Plano de ação para a gestão das águas subterrâneas.

A *Avaliação do risco de contaminação de águas subterrâneas* em Santa Catarina foi realizada, recentemente, por meio do estudo desenvolvido pelo projeto interinstitucional e interdisciplinar Rede Guarani/Serra Geral (RGSG, 2020). A realização do diagnóstico de vulnerabilidade do risco de contaminação das águas subterrâneas permite uma melhor compreensão sobre o quão vulnerável é uma determinada unidade ou sistema aquífero - além de possibilitar o estabelecimento de um plano de tomada de decisão com vistas à boa gestão das águas subterrâneas.

Sobre o *enquadramento dos corpos de água subterrânea conforme usos preponderantes*, verificou-se que algumas Unidades de Planejamento e Gestão (UPG) já possuem processos iniciados de enquadramento para seus cursos d'água. E segundo o SIREH (2022), as propostas de enquadramento na UPG 6.1 - Babitonga (para a bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte) e na UPG 7.1 – Itajaí já foram aprovadas pelos seus comitês de bacia. Entretanto a de Babitonga necessita de revisão por ser anterior à Resolução CNRH nº91/2008. A Figura 20 mostra espacialmente a situação do enquadramento nos planos de recursos hídricos dos comitês de bacia catarinenses.

Figura 20. Situação do enquadramento nos planos de recursos hídricos em SC.



Fonte: Sistema de Informações de Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina. Disponível em: Enquadramento de Corpos d'água (aguas.sc.gov.br). Acesso em: 17 de agosto de 2022.

Com relação à *Outorga do direito de uso de recursos hídricos subterrâneos*, houve melhoria em relação à implementação desse instrumento, uma vez que a partir do ano de 2021 foi disponibilizado o Sistema de Outorga de Água de Santa Catarina – SIOUT, onde são encontrados manuais de outorga, documentos necessários para a solicitação ou dispensa da outorga, requisitos básicos e prazos de vigência.

Em relação ao critério *Plano Estadual de Recursos Hídricos/Plano de ação para a gestão das águas subterrâneas*, também se observa um avanço. O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) foi aprovado pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH) em assembleia do dia 23/11/2017 e publicado no Diário Oficial do Estado de Santa Catarina (DOE) nº 2.677, de 15/12/2017.

De modo geral, observam-se ainda muitas limitações técnicas com relação ao desempenho do estado de Santa Catarina quanto à governança da água subterrânea. A implementação de técnicas e realização de monitoramento piezométrico e de qualidade da água são fundamentais para o avanço da governança no estado. Sem a compreensão acerca do comportamento das águas subterrâneas torna-se difícil o planejamento e implementação de medidas de proteção e uso sustentável dessas águas.

Do ponto de vista legal, as águas subterrâneas ainda são negligenciadas. Os decretos, leis, resoluções e normas técnicas ainda se limitam às águas superficiais, e quando citam as águas subterrâneas é de maneira pontual, sem especificar com clareza a abordagem a ser dada para essas águas. No Quadro 6 é possível observar a abordagem legal dada às águas subterrâneas.

Quadro 6. Legislação sobre a Gestão de Águas Subterrâneas

	Legislação e normativas	Disposição e regramentos
Constituição	Constituição Federal de 1988	Art. 26 “Incluem-se entre os bens dos Estados: I - as águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, neste caso, na forma da lei as decorrentes de obras da União”.
Leis e Decretos	Decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934	Decreta o código de águas. Em capítulo único sobre as águas subterrâneas destaca que o dono de qualquer terreno pode se apropriar das águas que existam embaixo da superfície.

	Legislação e normativas	Disposição e regramentos
	Decreto-Lei nº 227, de 28 de Fevereiro de 1967 . Dá nova redação ao Decreto-lei 1985 de 29 de janeiro de 1940 (Código de Minas)	Art. 10 “Reger-se-ão por Leis especiais: V - as jazidas de águas subterrâneas”. “Classificam-se as jazidas para efeito deste Código, em 9 classes: Classes IX – jazidas de águas subterrâneas”.
	Decreto-Lei nº 7841 de 08 de agosto de 1945 (Código de Águas Minerais)	Departamento Nacional de Produção Mineral. Conceitua e classifica as águas minerais, dispõe sobre a autorização para pesquisa e para lavra, dispõe sobre estâncias que exploram águas minerais e das organizações que exploram águas potáveis de mesa, define o órgão fiscalizador das estâncias que exploram água mineral e das organizações que exploram águas potáveis de mesa ou destinadas a fins balneários, bem como do comércio da água mineral, termal, gasosa, de mesa ou destinada a fins balneários, tributação, e determina as disposições gerais e transitórias.
	Lei nº 9.748, de 30 de novembro de 1994.	Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina e dá outras providências.
	Lei 9433 de 08 de janeiro de 1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos)	Art. 12. “Estão sujeitos a outorga pelo Poder Público os direitos dos seguintes usos de recursos hídricos: II - extração de água de aquífero subterrâneo para consumo final ou insumo de processo produtivo” Art. 49. “Constitui infração das normas de utilização de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos” (incisos I a VIII) Art. 50. “Por infração de qualquer disposição legal ou regulamentar referente à execução de obras e serviços hidráulicos, derivação ou utilização de recursos hídricos, ou pelo não atendimento das solicitações feitas, o infrator, a critério da autoridade competente, ficará sujeito às seguintes penalidades, independentemente de sua ordem de enumeração”
	Decreto nº 4778, de 11 de outubro de 2006.	Regulamenta a outorga de direito de uso de recursos hídricos, de domínio do Estado de Santa Catarina, de que trata a Lei Estadual nº9748 e estabelece outras providências.
	Lei nº 14675 de 13 de abril de 2009.	Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.
	Lei Nº 18.174, de 2 de agosto de 2021	Dispõe sobre a transferência de recursos em caráter emergencial aos Municípios atingidos pela estiagem de 2020 no Estado de Santa Catarina .
Resoluções	Resolução nº 09 de 21 de junho de 2000 (CNRH).	Institui a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas, de acordo com os critérios estabelecidos no Regimento Interno do Conselho Nacional de Recursos Hídricos.
	Resolução nº 15 de 11 de janeiro de 2001 (CNRH).	Estabelece diretrizes gerais para a gestão de águas subterrâneas.
	Resolução nº 303 de 20 de março de 2002 (CONAMA).	Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente – Define a nascente ou olho d’água como “local onde aflora naturalmente, mesmo que de forma intermitente, a água subterrânea”.

	Legislação e normativas	Disposição e regramentos
	Resolução nº 22 de 24 de maio de 2002 (CNRH).	Estabelece diretrizes para a inserção das águas subterrâneas nos instrumentos dos Planos de Recursos Hídricos.
	Resolução nº 29 de 11 de dezembro de 2002 (CNRH).	Dispõe sobre a utilização de recursos hídricos na atividade minerária.
	Resolução nº 357 de 2005 (CONAMA).	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
	Resolução nº 48 de 21 de março de 2005 (CNRH).	Estabelece critérios gerais para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos.
	NBR 12212:2006 (ABNT).	Diretrizes para a elaboração de Projeto de poço para captação de água subterrânea.
	NBR 12244:2006 (ABNT).	Diretrizes para a construção de poço para captação de água subterrânea.
	Resolução nº 92 de 05 de novembro de 2008 (CNRH).	Estabelece critérios e procedimentos gerais para proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro
	Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008 (CONAMA).	Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.
	Resolução nº 107 de 13 de abril de 2010 (CNRH).	Estabelece diretrizes e critérios a serem adotados para planejamento, implantação e operação de Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas.
	Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011 (Ministério da Saúde).	Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
	Resolução CONSEMA nº 13, de 14 de dezembro de 2012.	Aprova a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental passíveis de licenciamento ambiental no Estado de Santa Catarina e a indicação do competente estudo ambiental para fins de licenciamento.
	Resolução CONSEMA nº 41, de 05 de setembro de 2014.	Revoga o item 00.40.00 – Captação de água em poços tubulares profundos do ANEXO I da Resolução CONSEMA nº 13, de 21 de dezembro de 2012 e estabelece outras providências.
	RESOLUÇÃO nº 02, de 14 de agosto de 2014 (CERH)	Dispõe sobre o uso das águas subterrâneas no Estado de Santa Catarina .
	Resolução CERH nº 03 de 14 de agosto de 2014.	Dispõe sobre os procedimentos e critérios de natureza técnica a serem observados no exame dos pedidos de outorga de uso de águas subterrâneas no Estado de Santa Catarina .

	Legislação e normativas	Disposição e regramentos
	Resolução CONSEMA nº 98, de 5 de maio de 2017.	Aprova, nos termos do inciso XIII, do art. 12, da Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009, a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, define os estudos ambientais necessários e estabelece outras providências.

Fonte: Elaborado pela autora, 2022.

A análise do quadro acima permite observar que em 1934, por meio do Código de Águas, pela primeira vez na legislação brasileira as águas subterrâneas recebem destaque. Em capítulo único o Código de Águas abordou o aproveitamento das águas subterrâneas, destacando a importância do cuidado em não prejudicar, poluir ou inutilizar a água do poço ou nascente alheia. Importante destacar que no artigo 96 do referido decreto foi dada a liberdade de apropriação das águas subterrâneas para os donos de qualquer terreno.

Em 1945 a legislação brasileira apresentou as águas subterrâneas como parte da definição de 'Água Mineral Natural' e de 'Água Natural'; em 1967 foi mencionado que as jazidas de águas subterrâneas seriam regidas por leis especiais. Vinte e um anos depois, de forma pontual, foi utilizado pela primeira vez em uma Constituição Federal brasileira o termo 'águas subterrâneas'. A partir da Constituição Federal de 1988, diversos estados começaram a discutir e regulamentar os recursos hídricos, mas ainda sem dar destaque às águas subterrâneas.

No ano de 1993, por meio da Lei nº 9.022/93, foi instituída e definida a estruturação e organização do Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos de Santa Catarina, entretanto, as 'águas subterrâneas' não foram mencionadas nesse instrumento legal. Somente no ano seguinte, por meio da Lei nº 9.748, de 30 de novembro de 1994, que instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos – PERH-SC, é que as águas subterrâneas começaram a ganhar destaque nas normativas estaduais. Essa lei apresenta como instrumento único de gestão dos recursos hídricos a outorga do direito de uso; e somente três anos depois foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH que apresentou como instrumentos: os Planos de Recursos Hídricos, o Enquadramento dos corpos de água em classes de usos preponderantes, a Outorga do direito de uso, a Cobrança pelo uso, a Compensação aos municípios e o Sistema de Informações sobre Recursos hídricos.

Entretanto a PNRH foi instituída com limitações e com a necessidade de regulamentações específicas.

Apesar da importância que a PNRH representou naquele momento, somente três anos depois é que foi instituída a Câmara Técnica Permanente de Águas Subterrâneas, responsável por (CNRH, 2000):

I – discutir e propor a inserção da gestão de águas subterrâneas na Política Nacional de Gestão de Recursos Hídricos;

II – compatibilizar as legislações relativas à exploração e à utilização destes recursos;

III – propor mecanismos institucionais de integração da gestão das águas superficiais e subterrâneas;

IV – analisar, estudar e emitir pareceres sobre assuntos afins;

V – propor mecanismos de proteção e gerenciamento das águas subterrâneas;

VI – propor ações mitigadoras e compensatórias;

VII – analisar e propor ações visando minimizar ou solucionar os eventuais conflitos; e

VIII – as competências constantes do Regimento Interno do CNRH e outras que vierem a ser delegadas pelo seu Plenário.

Poucos meses depois da instituição da Câmara Técnica Permanente, foi publicada a resolução nº15/2001 do CNRH, em que foi destacada a necessidade de se especificar a partir das características hidrogeológicas dos aquíferos o enquadramento das águas subterrâneas. Foi destacado também que para as outorgas de direito de uso deverão ser assegurados critérios para a gestão integrada das águas e que a cobrança pelo uso das águas subterrâneas deverá obedecer a critérios estabelecidos em legislação específica.

A partir do ano de 2002 se intensificaram as discussões sobre as águas subterrâneas e o CONAMA e o CNRH aprovaram resoluções que definiram as diretrizes para a inserção das águas subterrâneas nos instrumentos de Planos de Recursos Hídricos, em que os usos múltiplos das águas subterrâneas, a caracterização dos aquíferos e as informações hidrogeológicas das mesmas ganharam destaque nas resoluções. Além disso foram definidos nesse momento os usos de recursos hídricos relacionados à atividade minerária, que estão sujeitos a outorga, tendo como destaque a extração de água subterrânea para consumo final ou

insumo do processo produtivo, e a captação de água subterrânea com a finalidade de rebaixamento de nível de água.

No ano de 2005, a resolução nº 357 do CONAMA apresentou a classificação dos corpos de água e as diretrizes ambientais para o seu enquadramento; embora não fale especificamente sobre as águas subterrâneas, essa resolução demonstra a importância desses instrumentos para a gestão das águas subterrâneas. Nesse mesmo ano o CNRH definiu os critérios para a cobrança pelo uso dos recursos hídricos, já que em 2001 havia sido deliberada a necessidade de obedecer a critérios estabelecidos por legislação específica.

Em 2006, o estado de Santa Catarina, por meio do Decreto nº4778 de 11 de outubro de 2006 regulamentou a outorga de direito de uso dos recursos hídricos de domínio do estado. Nele foram definidos os usos que estão sujeitos e os que independem de outorga, bem como os critérios, a vigência, a renovação e o requerimento da outorga, além das obrigações do outorgado, do monitoramento e fiscalização, da suspensão e revogação da mesma.

Em 2008 o CONAMA, por meio da resolução nº 396, finalmente apresentou o regulamento que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para enquadramento das águas subterrâneas. A partir dessa resolução, de grande importância para a gestão das águas subterrâneas, foram estabelecidas seis Classes para as Águas Subterrâneas; e definidas Condições e Parâmetros de Qualidade das Águas; Diretrizes Ambientais para a Prevenção e Controle da Poluição das Águas Subterrâneas, ressaltando a importância de os Órgãos Ambientais e Órgãos Gestores de Recursos Hídricos promoverem a implementação de áreas de proteção de aquíferos e perímetros de proteção de poços de abastecimento; bem como áreas de restrição e controle do uso da água subterrânea.

Ainda em 2008, o CNRH aprovou a Resolução nº 92 que definiu critérios e procedimentos para a proteção e conservação das águas subterrâneas no território brasileiro. Nessa resolução foi destacada a importância de os órgãos gestores promoverem estudos hidrogeológicos; e a necessidade de planos de recursos hídricos delimitarem as áreas de recarga de aquíferos e definirem as zonas de proteção. Essa resolução destaca ainda a possibilidade de instituir áreas de restrição e controle de águas subterrâneas; aborda sobre a captação de água, sobre os poços abandonados e destaca a necessidade de implementação de programas de monitoramento qualitativo e quantitativo das águas subterrâneas.

No ano de 2009 o governo do estado de Santa Catarina aprovou o Código Estadual do Meio Ambiente, que apresenta seção específica sobre as águas subterrâneas. Nessa lei foi definida a “possível necessidade de estudo de aquífero no licenciamento ambiental de atividades consumidoras de águas subterrâneas que provoquem interferências significativas na sua qualidade e quantidade” (Santa Catarina, 2009). Foi destacada também a competência do poder público estadual enquanto mantenedor de programas permanentes de proteção das águas subterrâneas.

No ano seguinte, em 2010, o CNRH definiu as diretrizes para o planejamento, implantação e operação da Rede Nacional de Monitoramento Integrado Qualitativo e Quantitativo de Águas Subterrâneas. Definiu que a ANA deve planejar e coordenar, e que a CPRM deve implantar e manter. Em 2011, o Ministério da Saúde aprovou a portaria que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, e em seu Art. 30 inciso 1º destaca o padrão de turbidez permitido para as águas subterrâneas.

No ano seguinte, o Conselho Estadual de Meio Ambiente de Santa Catarina – CONSEMA, aprovou a Listagem das Atividades Consideradas Potencialmente Causadoras de Degradação Ambiental, passíveis de licenciamento ambiental. Nessa listagem, embora não utilize termos como ‘águas subterrâneas’ e ‘aquíferos’, constam atividades que têm o potencial de causar impactos sobre essas águas, com destaque para as atividades de Extração de Minerais e Indústria Química, em que os impactos na água e no solo são considerados, pela resolução, como de médio a grande impacto. Dois anos depois a resolução nº 41 do CONSEMA revogou o item 00.40.00 da Resolução CONSEMA nº 13, que determinava a captação de água em poços tubulares profundos como uma atividade passível de licenciamento ambiental. Com a revogação desse item, passa a ser obrigatória a solicitação da outorga de direito de uso dos recursos hídricos pelos usuários de água subterrânea.

Ainda em 2014, o CERH, por meio da Resolução nº 02 de 14 de agosto de 2014 dispôs sobre o uso das águas subterrâneas. Nessa resolução foram apresentadas as definições referentes às águas subterrâneas e foi dado destaque para a necessidade de outorga do direito de uso das águas subterrâneas. Foram apresentadas também as restrições e proibições que o órgão gestor dos recursos hídricos do estado poderá executar em casos de escassez e poluição da água subterrânea.

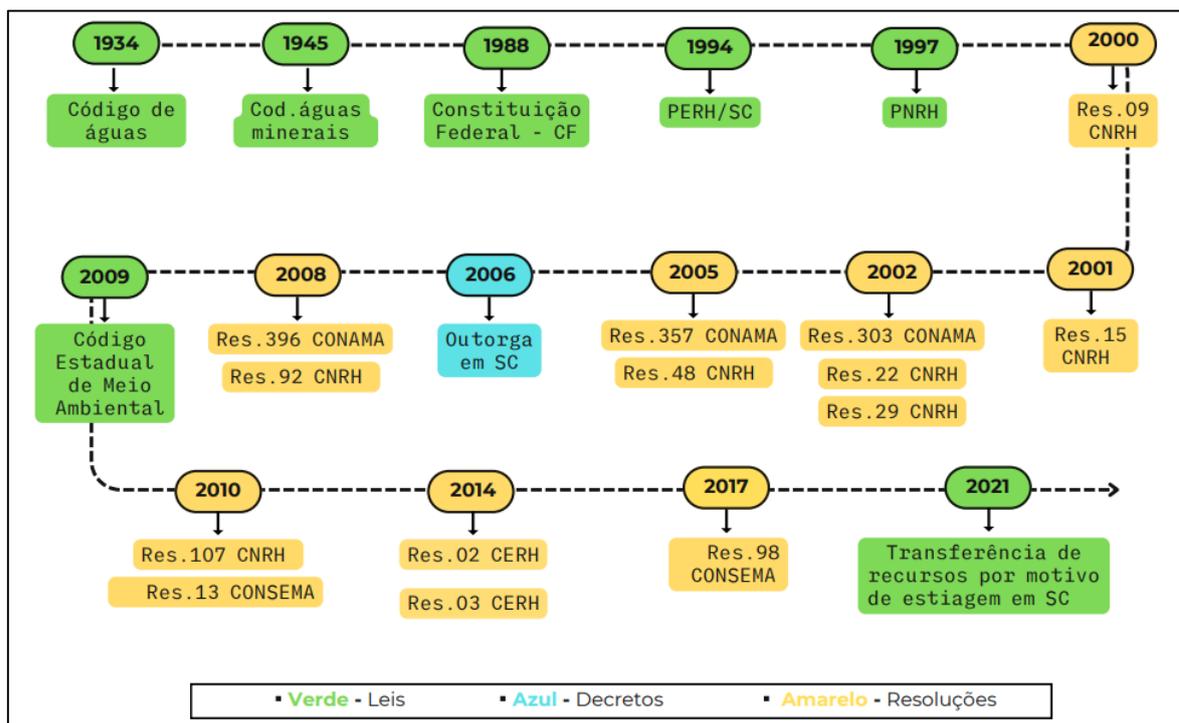
Sobre a outorga do direito de uso das águas subterrâneas, ainda no ano de 2014, o CERH dispõe sobre os procedimentos e critérios técnicos para a solicitação da outorga, indica os parâmetros para a sua caracterização hidroquímica e apresenta a proposta de plano de trabalho para o processo de transição do licenciamento ambiental para a outorga do direito de uso dos recursos hídricos. Dessa forma, a partir da data de publicação da Resolução nº 03 de 14 de agosto de 2014, “a regulamentação do uso das águas subterrâneas se dará somente através do instrumento de gestão de recursos hídricos - outorga” conforme Decreto Estadual nº 4.778/2006.

Em 2017, por meio da Resolução CONSEMA nº 98, de 5 de maio de 2017, foi aprovada a listagem das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, em que definiu os estudos ambientais necessários e estabeleceu outras providências. No anexo 1 da referida resolução ficou definido que “Para cada impacto indicado, descrever as medidas mitigatórias, de controle ou de compensação correspondentes à: (...) 3.2 Impacto na qualidade das águas superficiais ou subterrâneas, identificando os corpos d’água afetados”.

No ano de 2021, a Lei nº 18.174 deu nova redação ao artigo 5º da Lei nº 9.748/94 ao determinar a dispensa da outorga para os usos de recursos hídricos superficiais ou subterrâneos “por captação ou derivação, de caráter individual para satisfação das necessidades básicas da vida e os usos de recursos para satisfação das necessidades que venham a ser utilizados nas pequenas propriedades rurais, independente de vazão ou consumo”.

Observa-se que o arcabouço legal referente às águas subterrâneas ganhou maior robustez a partir da promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei nº 9433, a partir da qual os instrumentos legais (os Planos de Recursos Hídricos, o Enquadramento dos corpos de água em classes de usos preponderantes, a Outorga do direito de uso, a Cobrança pelo uso, a Compensação aos municípios e o Sistema de Informações sobre Recursos hídricos) passaram a ser, aos poucos, incorporados pelo estado de Santa Catarina (Figura 21). É fato que ainda existe a necessidade de regulamentações mais específicas para as águas subterrâneas, mas as limitações técnicas podem ser apontadas como o principal problema a ser enfrentado no estado.

Figura 21. Linha do tempo - Legislação sobre a gestão de águas subterrâneas



Fonte: Autora, 2023.

Portanto, é fundamental para a governança das águas subterrâneas em Santa Catarina que se considere como foco de ação o investimento em produção de conhecimento sobre as suas águas subterrâneas. Não é possível planejar a gestão das águas sem a compreensão das suas características naturais e das implicações que as intervenções antrópicas podem causar sobre essas águas.

Em Santa Catarina, tal como em outras regiões ao redor do mundo, ainda é forte a percepção das águas subterrâneas como um recurso que existe para servir às demandas humanas. Entretanto, é necessário que essa percepção seja substituída pela noção de que o meio ambiente tem seus limites, os quais devem ser respeitados para que de fato as demandas humanas sejam atendidas. As águas, superficiais e subterrâneas, devem ser compreendidas como meio de vida e não como um recurso que está para ser controlado, utilizado e descartado.

Levar a natureza ao seu limite inviabiliza a vida nas suas diferentes formas, e as intensas modificações na paisagem, bem como os usos indiscriminados dos recursos ambientais poderão levar a extinção de espécies, inclusive a humana. Desse modo, pensar a gestão das águas com vistas à manutenção dos ecossistemas e apoiada na participação popular, poderá levar a iniciativas de sucesso, que poderão

de fato, contribuir com a melhoria e proteção da qualidade ambiental. Entretanto, há que se ter consciência de que tais resultados não são imediatos e que somente as futuras gerações poderão se apropriar destes.

Um exemplo disso é a experiência de Sebastião Salgado e Lélia Wanick¹⁰, que juntos fundaram o Instituto Terra, responsável pelo reflorestamento de uma área de 2.100 km². Nessa área, localizada no município de Aimorés-MG, foram plantadas 4 milhões de mudas de espécies nativas da região. A iniciativa fez com que 33 espécies de mamíferos, 293 espécies de plantas, 15 espécies de répteis e 15 espécies de anfíbios retornassem ao seu habitat original; permitiu recuperar nascentes, restaurar relações ecológicas e reiniciar o processo de acumulação de água nos aquíferos da região da Bacia Hidrográfica do Rio Doce.

Observa-se, portanto, que ações precisam ser iniciadas para a recuperação das áreas degradadas, porém sem a expectativa de colher resultados imediatos, tal como o atual processo de desenvolvimento humano impõe.

6 PERSPECTIVAS FUTURAS PARA A GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DIANTE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS

Com o Acordo de Paris, firmado em 2015 na Conferência das Partes (COP-21 na França), os países signatários se comprometeram em investir no desenvolvimento e implementação de medidas para manter o aumento da temperatura da Terra abaixo de 2°C (nas projeções de especialistas). O acordo prevê a necessidade de investimentos em ações de adaptação e mitigação dos impactos das mudanças climáticas e define que as partes devem comunicar, em um intervalo de cinco anos, as ações desenvolvidas. Além disso, o acordo estabelece que os países desenvolvidos devem fornecer recursos financeiros aos países em desenvolvimento para promover medidas mitigadoras e de adaptação às mudanças climáticas. Nesse sentido, 100 bilhões de dólares deveriam ser dedicados anualmente pelos países desenvolvidos para ações de mitigação, tendo como prioridade o auxílio aos países em desenvolvimento (UNFCCC, 2015).

Apesar do comprometimento dos países signatários em investir na mudança de seus meios de produção, de investir em produção de energia limpa a partir de

¹⁰ Fotógrafo brasileiro, vencedor de diversos prêmios internacionais e sua esposa, pianista; ambos ambientalistas.

recursos renováveis e de diminuir as emissões de gases do efeito estufa, melhorias no cenário climático a nível mundial ainda não são observadas.

Em geral, são pontuais as ações desenvolvidas e alguns poucos países de fato investiram e vêm cumprindo a sua parte no desenvolvimento limpo e na busca pela adoção de ações e medidas de combate às mudanças climáticas. Nos últimos anos houve, inclusive, um imenso retrocesso, uma vez que países da Europa, com a justificativa da Pandemia de COVID-19 e da guerra na Ucrânia, voltaram a usar carvão mineral como fonte de energia. Além disso, o fechamento das três últimas usinas nucleares na Alemanha (que deveria ter ocorrido em 31 de dezembro de 2022) foi adiado com a justificativa da crise energética gerada pela guerra (DW, 2022). Este atraso no fechamento dessas usinas termoelétricas e nucleares compromete o cumprimento dos acordos climáticos.

Na COP-27, realizada em 2022 no Egito, havia a expectativa de acordos para a adoção de medidas concretas com planos de ação imediatos para conter as mudanças climáticas. Embora as expectativas não tenham se concretizado, acordos importantes foram feitos, com destaque para: a) financiamento para perdas e danos a países vulneráveis duramente atingidos por enchentes, secas e outros desastres climáticos (embora ainda se desconheçam a origem do recurso e os países beneficiados); b) reafirmação do compromisso de limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais; c) responsabilizar empresas e instituições, garantindo a transparência dos compromissos de empresas e instituições não estatais; d) mobilização de mais apoio financeiro para os países em desenvolvimento; e e) a mobilização em direção à instalação das medidas e planos de redução de emissões de GEE, por meio de um programa de trabalho sobre 'transição justa' (processo baseado no diálogo e uma agenda compartilhada por trabalhadores, indústria e governos que precisam ser negociados e implementados em seus contextos geográfico, político, cultural e contextos sociais) (UNFCCC, 2023a).

Para a COP-28 (a ser realizada em Dubai em 2023) espera-se que sejam apresentadas as conclusões acerca do levantamento do balanço global de emissões, bem como suas implicações e espera-se que isso resulte em planos climáticos mais fortes e ambiciosos (UNFCCC, 2023b). Entretanto, ao considerar que a região dos Emirados Árabes sustenta o seu desenvolvimento no petróleo e que esse elemento é

o principal entrave para a redução das emissões atmosféricas que causam as mudanças climáticas, parecem improváveis ações concretas originadas ali.

Outra importante iniciativa é a carta dos povos indígenas sobre a justiça climática, a qual é enfática ao atribuir aos países do Norte Global a responsabilidade histórica pelas emissões atmosféricas. Nesse documento é destacada a necessidade de os governos recusarem as “falsas soluções e planos que disfarçam as políticas e intenções de continuar contaminando” (Declaração dos Povos pela Justiça Climática na COP-27¹¹). Nesses falsos planos estão incluídas as compensações, mercados de carbono, tecnologias de captura de carbono, soluções baseadas na natureza e geoengenharia. A declaração dos povos indígenas é assertiva ao mostrar que o caminho a ser seguido não deve ser o do mercado, mas o de sistemas justos, equitativos, de energia renovável e comunitária, de eficiência energética, e que sirva às pessoas e não às corporações.

A expectativa de trazer para o Brasil a COP-30 e de que a mesma seja realizada na Amazônia, coloca o Brasil no centro das discussões climáticas e reafirma a importância global da Amazônia. Esta região deve ser considerada não como o ‘pulmão’ do mundo (termo equivocado, mas ainda utilizado por corporações e meios de comunicação), mas sim como uma região fundamental para a manutenção dos ciclos hidrológicos, de imensa biodiversidade e potencial genético para a produção de medicamentos, a qual deve ser preservada e utilizada de forma sustentável, com total respeito aos saberes de suas populações originárias.

Nesse sentido, o Brasil poderá se tornar referência no planejamento de ações que possibilitem alcançar os objetivos acordados desde a COP-21. Entretanto, é fundamental que essas discussões sejam capazes de integrar e/ou coordenar ações que sejam capazes de mitigar os impactos nos níveis local e regional. Portanto, temáticas aparentemente distantes devem ser aproximadas e estudadas, como é o caso da relação entre as mudanças climáticas e as águas subterrâneas. Compreender a inter-relação dos diferentes sistemas ambientais, suas vulnerabilidades às mudanças climáticas e as implicações dessas mudanças para o meio ambiente e a sociedade se mostra uma tarefa primordial.

Para o futuro das negociações climáticas a expectativa da sociedade e de especialistas é por ações concretas. Embora haja conquistas nesse sentido nos

¹¹ Disponível em: <https://correiocidadania.com.br/2-uncategorised/15306-declaracao-dos-povos-pela-justica-climatica-na-cop-27>

últimos anos, cada vez menores são as expectativas de que essas ações sejam capazes de alcançar as metas acordadas para o cenário climático. Ainda há muito o que se discutir com relação aos impactos das mudanças climáticas nos níveis regional e local, onde realmente se observam as implicações do aquecimento global, pois ali se alteram vidas de pessoas. Afinal, a água é o principal meio através do qual as mudanças climáticas farão sentir os seus efeitos sobre as comunidades, os ecossistemas e as economias (Sadoff; Muller, 2010).

A respeito desses impactos regionais e locais destaca-se o objeto desta pesquisa, as águas subterrâneas do SIAIG/SG. Sistemas esses que são cobijados pelas corporações, que sofrem fortes pressões antrópicas e que ainda não são suficientemente estudados ao ponto de se compreender e colocar em prática medidas, planos e ações de controle do uso dessas águas, mas principalmente de governança das mesmas.

6.1 AÇÕES ESTRATÉGICAS PARA A GESTÃO INTEGRADA DAS ÁGUAS NO CONTEXTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A gestão das águas subterrâneas é um desafio. No caso das águas do SAIG/SG esse desafio é ainda maior diante das pressões sobre o sistema, especialmente no que se refere às mudanças climáticas, com a intensificação das secas e estiagens, expansão da fronteira agrícola, desflorestamento e aumento da demanda por água subterrânea.

Com base na proposta metodológica de Fenzl e Nascimento (2020) foi estruturada uma tabela de Ações estratégicas para a Gestão Integrada das águas. Para tal, foram identificados os principais problemas observados na gestão de águas subterrâneas, as suas causas raízes e ações estratégicas que poderiam mitigar os seus efeitos negativos (Quadro 7).

Quadro 7. Principais problemas e propostas de ações estratégicas para a Gestão Integrada das águas

Problema	Causas raízes	Ações Estratégicas
Desflorestamento	Modelo de desenvolvimento econômico extrativista	<ul style="list-style-type: none"> • Valorização do pequeno produtor • Planejamento produtivo das propriedades rurais • Estímulo à produção agroecológica
	Desaparelhamento dos órgãos de fiscalização	<ul style="list-style-type: none"> • Reestruturação das instituições fiscalizadoras • Contratação e capacitação de pessoal para a fiscalização de atividades e ações de desflorestamento
	Conflitos socioambientais	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecimento das instituições de fiscalização e monitoramento • Desenvolvimento de audiências públicas • Incentivo à participação das comunidades nas tomadas de decisão
	Escassez de educação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de programas de educação ambiental com foco na importância da manutenção da floresta • Incentivo às práticas extensionistas de Educação Ambiental
Poluição das águas (superficial e subterrânea)	Déficit de saneamento	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de projetos de sanitização • Construção de estações de tratamento de efluentes • Difusão de sistemas alternativos de saneamento (áreas rurais) • Investimento em planos de gerenciamento e disposição adequada de resíduos sólidos
	Ausência de monitoramento da qualidade da água subterrânea	<ul style="list-style-type: none"> • Implementação de políticas nacionais e estaduais de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas • Estímulo ao desenvolvimento de pesquisas sobre a qualidade das águas subterrâneas (por universidades e órgãos públicos) • Treinamento e contratação da comunidade para atuação como técnicos e agentes de monitoramento
	Conflitos pelo uso da água	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de audiências públicas • Fomentar o uso racional da água, • Investir em desenvolvimento e implantação de tecnologias de economia de água
	Escassez de educação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolvimento de programas de educação ambiental com foco na compreensão da importância das águas subterrâneas • Incentivo às práticas extensionistas de Educação Ambiental
	Perfuração indiscriminada de poços	<ul style="list-style-type: none"> • Controles na Outorga de uso
Pouco conhecimento sobre as águas subterrâneas	Inexistência de mapa potenciométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Fomentar pesquisas que abordem as taxas de recarga e comportamentos de fluxo no sistema como um todo
	Inexistência de base de dados sobre prospecção geofísica	<ul style="list-style-type: none"> • Estímulos a projetos de prospecção geofísica
	Inexistência de rede de monitoramento piezométrico	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação de rede de monitoramento em todo o estado

Problema	Causas raízes	Ações Estratégicas
	Ausência de monitoramento de qualidade da água subterrânea	<ul style="list-style-type: none"> Fortalecer e estruturar órgãos gestores de recursos hídricos e meio ambiente para a realização do monitoramento sistemático da qualidade das águas Investimento em planos e programas de monitoramento em todo o estado
	Lacunas geográficas e temporais no seu monitoramento	<ul style="list-style-type: none"> Capacitação de técnicos e profissionais para atuação em campo e em laboratórios de análise da qualidade da água Descentralização dos laboratórios de qualidade da água
	Falta de informação e dados	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de sistemas integrados de informação Contratação e capacitação de pessoal para a coleta de dados e amostras Divulgação e publicidade das informações geradas sobre a qualidade das águas subterrâneas
Alteração no uso da terra	Crescimento populacional	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento do uso e cobertura da terra Desenvolvimento de programas e ações para a melhoria da qualidade de vida
	Pobreza e desemprego	<ul style="list-style-type: none"> Encorajamento à participação cidadã e inclusiva
	Falta de capacitação e treinamento	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de ações voltadas para o diálogo com as comunidades e compreensão das suas demandas Investimento em capacitação voltado para o uso sustentável dos recursos naturais
Perda na produção agrícola	Intensificação das Secas e estiagens	<ul style="list-style-type: none"> Elaboração de planos de preparação e prevenção às secas Investimento em pesquisa para a melhoria genética e seleção de espécies mais adaptadas.
Intensificação do uso das águas subterrâneas	Eventos hidroclimáticos extremos	<ul style="list-style-type: none"> Monitoramento e planejamento de médio e longo prazo para adaptação às mudanças climáticas
	Atividades antrópicas (indústria, agropecuária)	<ul style="list-style-type: none"> Investimento em tecnologias de uso eficiente de água (ex. aproveitamento e armazenamento de água de chuva)
	Crescimento populacional	<ul style="list-style-type: none"> Desenvolvimento de planos de Gestão Integrada das águas subterrâneas

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Quadro 7 mostra uma síntese das atividades, planos, medidas e ações que devem ser desenvolvidas para que seja possível compreender melhor o comportamento, as características e a qualidade das águas subterrâneas. Observa-se que algumas das medidas, já ocorrem para as águas superficiais, como exemplo o Programa QUALIÁGUA da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que visa à divulgação de dados de qualidade das águas superficiais e estimula o monitoramento por parte dos estados e do Distrito Federal. Em dezembro de 2022,

durante o Simpósio Internacional Rio Uruguai dos Encontros: União pela Conservação, em que foi reafirmado o compromisso de conservação da bacia do rio Uruguai pelos países do Mercosul (Carta de Itá), foi assinada também a Ordem de Serviço para o programa QUALIÁGUAS, com vistas a contratação de laboratório especializado para a prestação de serviços de coleta, armazenamento, transporte e análise laboratorial de 65 pontos de monitoramento das águas de rios do interior de Santa Catarina (Pinto, 2023).

No mesmo evento foi feito o lançamento do Programa Catarinense de Fortalecimento dos Comitês de Bacia SDE/Sema/Fapesc, o qual terá um investimento de 6,7 milhões de reais, apoiará o funcionamento dos comitês de bacia do estado e buscará implementar instrumentos de gestão de recursos hídricos. Embora exista a preocupação do estado catarinense com o incentivo a programas de monitoramento das águas, muitas são as lacunas ainda existentes quanto às águas subterrâneas.

É importante destacar que a busca pelo uso eficiente da água não deve ser apenas com vistas a 'poupar' água para o uso presente, mas com o propósito de uso futuro. Ou seja, as tecnologias voltadas para o uso eficiente da água e aproveitamento de água de chuva, se usadas em escala, podem contribuir para o armazenamento do excedente para uso posterior nos períodos de seca. Assim, a utilização do instrumento de planejamento do uso da água de forma integrada pode diminuir a sobrecarga do uso dos Sistemas Aquíferos nesses períodos.

Outro aspecto fundamental a se considerar como ação estratégica é a inclusão das comunidades nas tomadas de decisão. Por meio do incentivo à produção agroecológica, de práticas e projetos de educação ambiental nas comunidades, bem como da promoção de diálogos e compreensão das demandas específicas de cada população, é possível instigar sua participação, dar condições para o seu desenvolvimento e acima de tudo valorizar o saber tradicional.

A gestão das águas demanda, como dito anteriormente, olhar para as águas de forma integrada e incentivar ações e projetos no âmbito local, na pequena escala. Isso permitirá alcançar as comunidades, valorizar as mesmas e promover as mudanças esperadas.

É fato que as águas subterrâneas, pela sua característica intrínseca, se apresentam com melhor qualidade para suprir as demandas básicas dos seres humanos. Entretanto, é também verdade que as atividades antrópicas, juntamente com as mudanças climáticas, têm interferido nessa qualidade. Desse modo, monitorar

a qualidade das águas subterrâneas, entender sua dinâmica, capacitar técnicos, estimular a pesquisa e investir em políticas de proteção das águas subterrâneas são ações fundamentais para se manter a função original dos sistemas aquíferos. Enquanto recursos estratégicos, essa função original pode ser aproveitada nos momentos de crise, as quais têm o potencial de se intensificar em decorrência das mudanças climáticas globais.

Quanto ao estado de Santa Catarina, este é influenciado por vários sistemas meteorológicos, os quais conferem ao mesmo uma boa distribuição pluviométrica ao longo do ano se comparado aos demais estados brasileiros - além do relevo, cujas diferentes configurações influenciam na distribuição das chuvas. Entretanto, as análises mostram que períodos prolongados de estiagem têm ocorrido com maior frequência e intensidade no meio-oeste catarinense, resultado das já mencionadas mudanças climáticas.

É fato que o desflorestamento causa a desidratação das paisagens, e é necessário destacar que os impactos dessa desidratação não são apenas no local da retirada da cobertura vegetal, mas influenciam inclusive nos sistemas atmosféricos, atingindo outras regiões. É o caso da influência do desmatamento na Amazônia sobre a incidência de chuvas na região sul do Brasil, discutida no capítulo 3 dessa Tese.

As mudanças climáticas, é importante destacar, são resultado de um processo histórico de desrespeito aos limites da natureza, de uma noção corporativista que não impõe limites ao consumo de recursos naturais e que se alimenta da desigualdade social para fomentar os lucros. No estado de Santa Catarina, especificamente na área de ocorrência do SAIG/SG alguns fatores são identificados como responsáveis por modificar o ambiente, contribuir para as mudanças climáticas e causar pressão sobre as águas subterrâneas, sendo estes: a drenagem de instalações industriais, a agricultura à base de agroquímicos, a infiltração da água de rios com contaminação industrial, a drenagem de granjas (de suínos e de aves) e as lagoas de estabilização de águas residuais.

As análises mostram que as águas subterrâneas do SAIG/SG em Santa Catarina já vêm sendo utilizadas de forma insustentável, desarticulada e que as tomadas de decisão não incluem, efetivamente, a comunidade.

Diante do cenário de mudanças climáticas, os impactos sobre as águas subterrâneas desse sistema aquífero, sofrerão severas pressões, tanto pela maior demanda de água e conseqüente exploração da mesma, quanto pela ausência de

políticas e ações de fiscalização que sejam capazes de controlar a degradação das águas do SAIG/SG e o seu uso indiscriminado. Dessa forma é necessário que os gestores das águas, em seus planejamentos, assegurem a estabilidade das trocas hídricas entre os sistemas subterrâneo e superficial; e que reconheçam e façam respeitar as características hidrogeológicas intrínsecas do manancial subterrâneo, incluindo suas potencialidades e limites. Além disso, é necessário que a bacia hidrográfica passe a ser compreendida como “bacia de acumulação” e não mais como uma “bacia de drenagem”.

Nesse sentido, compreende-se a necessidade de se estimular a participação da comunidade a partir de uma perspectiva integradora da gestão das águas, e por meio da gestão integrada promover políticas públicas que busquem relacionar o manejo de aquíferos, rios e da floresta. Isso porque só será possível proteger as águas do SAIG/SG ao se compreender e promover a inter-relação dos diferentes fatores e atores no processo de tomada de decisão.

7 CONCLUSÃO

Os aquíferos constituem reservas hídricas fundamentais para a sociedade humana, especialmente no Brasil. Regionalmente, o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral é responsável por suprir as demandas primárias da população, bem como a produção agropecuária de uma das regiões mais produtivas do país, o oeste de Santa Catarina. Dessa forma, entender as dinâmicas do SAIG/SG e fazer o monitoramento das mesmas, é fundamental para proteger essa reserva hídrica para uso presente e para as gerações futuras, consoante com o que indicam as teorias do desenvolvimento sustentável. Nesse sentido, o objeto de estudo reflete o que pode estar acontecendo com importantes reservas hídricas subterrâneas ao redor do mundo. Esta tese preocupou-se em discutir e aproximar temas aparentemente distantes, utilizando o SAIG/SG como objeto de análise, e compreendeu que as implicações das mudanças climáticas sobre os diferentes sistemas de águas subterrâneas podem ser bastante severas.

A análise dos resultados de pesquisas anteriores sobre as tendências climáticas globais, da vulnerabilidade do SAIG/SG e da governança da água em Santa Catarina, mostram que os efeitos das mudanças climáticas já são sentidos aqui, assim como pelas diferentes comunidades ao redor do mundo. Em Santa Catarina, um dos

principais impactos observados a partir da variabilidade climática são as frequentes estiagens e secas. Os resultados indicam que há uma tendência de prolongamento dos períodos de seca no Meio-Oeste catarinense, bem como um aumento da demanda por água subterrânea por parte das atividades antrópicas por meio de mudanças do uso e cobertura do solo.

Importante ressaltar a dificuldade em afirmar que os sistemas atmosféricos como o El Niño e o La Niña sejam os responsáveis pelos eventos de seca intensa na região sul do Brasil, em especial em Santa Catarina. Da mesma forma, é inconclusivo afirmar que o desflorestamento na Amazônia seja o grande causador. Entretanto, existem indícios de que a combinação da variabilidade climática e do desflorestamento influenciem na intensificação dos períodos de seca em Santa Catarina.

Dessa forma, as medidas a serem tomadas para minimizar os impactos dos eventos de seca extrema sobre os aquíferos, com destaque para o Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral, recaem sobre medidas não apenas locais ou regionais, mas que envolvam um complexo sistema de interações naturais, as quais são impactadas por ações antrópicas. Nesse sentido, trabalhar no combate ao desflorestamento, na recomposição das florestas e para a minimização de emissões de gases poluidores da atmosfera são ações urgentes e fundamentais para a manutenção do ciclo hidrológico e para a proteção dos aquíferos. Além disso, utilizar mecanismos de combate à poluição das águas superficiais é fator fundamental para a minimização das pressões que os processos de produção causam sobre as águas subterrâneas.

É fundamental considerar também as pressões que a migração das áreas rurais para as urbanas, bem como a migração de refugiados (inclusive os refugiados do clima) e o crescimento populacional desprovidos de planejamento para o uso das águas podem causar sobre as águas subterrâneas. Maior demanda por alimentos, por serviços, por recursos e bens são alguns dos fatores que implicarão na maior demanda por águas subterrâneas caso não seja feita a gestão integrada e integradora das águas. Nesse contexto, observa-se a necessidade de ações coordenadas para o 'desenvolvimento humano', ou seja, é fundamental que esse desenvolvimento ocorra em todas as áreas (saneamento, saúde, educação, reflorestamento, etc.), pois ações pontuais não serão capazes, isoladamente, de conter as pressões que as atividades

humanas somadas às mudanças climáticas poderão exercer sobre as águas subterrâneas.

A Tese apresenta evidências e tendências da variabilidade climática do estado de Santa Catarina, bem como descreve as implicações das mudanças climáticas globais na intensificação do uso de água subterrânea e na recarga do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral. E embora seja perceptível a necessidade de ações, programas e planos mais direcionados para a gestão das águas subterrâneas, foram elencadas as limitações ainda existentes com relação à governança dessas águas. Entre os principais fatores responsáveis por essas limitações, estão as lacunas existentes acerca do conhecimento das suas características, do ainda pouco monitoramento da qualidade das águas subterrâneas e da falta de quadros técnicos governamentais, capazes de avaliar de forma integrada as problemáticas relacionadas com as pressões que as ações antrópicas e as mudanças climáticas impõem aos sistemas aquíferos.

Correlacionar temáticas aparentemente tão distantes como é o caso das mudanças climáticas e das águas subterrâneas ou do desflorestamento na Amazônia e as secas em Santa Catarina são tarefas difíceis, mas fundamentais para a tomada de decisão em um país continental como o Brasil. Ainda existem diversas lacunas do conhecimento no que se refere às dinâmicas climáticas e suas interações com os diferentes biomas e sistemas aquíferos.

Esta pesquisa buscou aproximar essas temáticas e com isso ratificou as hipóteses de que as mudanças climáticas poderão levar a situações de seca mais intensas e prolongadas, especialmente no Meio-Oeste catarinense, impactando na disponibilidade de água superficial e conseqüente aumento da demanda por água subterrânea e na diminuição da capacidade de recarga do SAIG/SG. Ficou evidente também que as políticas ambientais no Brasil, com destaque para Santa Catarina, não são capazes de lidar com os efeitos negativos das mudanças climáticas no longo prazo, especialmente no que se refere à gestão das águas subterrâneas e sua importância enquanto recursos estratégicos.

Na expectativa de incluir o tema das mudanças climáticas globais nas discussões acerca da gestão do SAIG/SG, recomenda-se que os gestores invistam em pesquisas sobre esse Sistema Aquífero, não apenas do ponto de vista das suas características intrínsecas, mas que também busquem compreender as influências

dos sistemas atmosféricos sobre a recarga dos aquíferos e sobre o uso e ocupação do solo.

Portanto, é fundamental para a governança das águas em Santa Catarina que se considere como foco de ação o investimento em produção de conhecimento sobre as suas águas subterrâneas. Não é possível planejar a gestão das águas sem a compreensão das suas características naturais e das implicações que as intervenções antrópicas podem causar sobre essas águas. Espera-se que, após longo período de incerteza política, econômica e social, seja possível retomar os investimentos em planos de monitoramento, fiscalização, controle, pesquisa, treinamento, infraestrutura e publicidade das informações.

Nota-se a necessidade de constante atenção e combate aos boicotes que os órgãos relacionados ao meio ambiente ainda enfrentarão. As modificações introduzidas pelo Congresso na proposta de reestruturação da Esplanada dos Ministérios por meio da Medida Provisória - MP nº1154 de 2023 são um exemplo das lutas que ainda serão travadas no âmbito das políticas ambientais.

Na Lei Ordinária 14600/2023, que resultou dessas modificações, merece destaque a alteração do nome da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Lei 14.026/2020) para Agência Nacional de Águas; a vinculação da mesma ao ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima; e a retirada da competência da Agência Nacional de Águas para editar normas de referência para a regulação dos serviços públicos de saneamento básico. Além disso, a referida Lei passou a vincular o Cadastro Ambiental Rural – CAR ao Ministério da Gestão e Inovação, que antes era vinculado ao Ministério do Meio Ambiente. A recente criação da diretoria do CAR por meio do Decreto 11.731 de 10 de outubro de 2023, pelo Ministério de Gestão e Inovação, terá o desafio de articular as ações e informações junto com o Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, bem como de integrar os dados e informações acerca das propriedades rurais de modo a contribuir com o planejamento ambiental, territorial e econômico dos imóveis rurais.

Por fim, observa-se que o fortalecimento das organizações comunitárias e o incentivo à participação popular nas tomadas de decisão devem ser compreendidos como “ponto chave” para se alcançar os objetivos da governança das águas. Por meio de uma gestão integrada, integradora e participativa das águas, é possível intervir diretamente a favor daqueles que sentem, efetivamente, os impactos das mudanças climáticas sobre as águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2018/2019**. ABRELPE, 64 p., 2019.
- ADAM, Katiucia Nascimento. **Incertezas e impactos de mudanças climáticas sobre o regime de vazões na bacia hidrográfica do rio Uruguai**. 2016. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em recursos hídricos e saneamento ambiental. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, março, p.237, 2016.
- Agência Nacional de Águas – ANA (Brasil). **Plano Nacional de Segurança Hídrica / Agência Nacional de Águas**. – Brasília: ANA, 112p., 2019.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil) - ANA. **Direito de águas à luz da governança** / Pilar Carolina Villar; Maria Luiza Machado Granziera. Brasília: ANA, 182 p., 2020.
- ALGHAMDI, A.; HU, G.; HAIDER, H.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. *Benchmarking of water, energy, and carbon flows in academic buildings: a fuzzy clustering approach*. **Sustainability**, v. 12, n. 11, p. 4422, 2020.
- ALIER, Joan Martinez. O ecologismo dos pobres: conflitos ambientais e linguagens de valoração. São Paulo: **Contexto**, 379 p., 2007.
- ALTHOFF, Daniel; BAZAME, Helizani Couto; FILGUEIRAS, Roberto; RODRIGUES, Lineu Neiva. Assessing rainfall spatial variability in the Brazilian savanna region with TMPA rainfall dataset. **Elsevier: Journal of South American Earth Sciences**, p. 1-8, 2021.
- ALVES, M.P.A.; MINUZZI, R.B. Climatologia das ondas de frio inverniais em Santa Catarina – Brasil. **Revista de Geografia (Recife)** – ISSN: 0104-5490, v. 35, n. 3, p. 308 – 323, 2018.
- ALVES, Maikon Passos A.; SILVEIRA, Brito Rafael; MINUZZI, Boligon Rosandro; FRANKE, Elvino Alberto. The Influence of the Antarctic Oscillation (AAO) on Cold Waves and Occurrence of Frosts in the State of Santa Catarina, Brazil. **Climate**, 5, 17, 13 p., 2017.
- AMARAL, L. C. Blocos hidrogeológicos do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina. Florianópolis, SC: Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, 99 p., 2018.
- ANDRADE, M. M. N.; SZLAFSZTEIN, C. F. Vulnerability assessment including tangible and intangible components in the index composition: An Amazon case study of flooding and flash flooding. **Elsevier: Science of the Total Environment**, 903–912 p., 2018.

ARAOS, Malcolm; BERRANG-FORD, Lea; FORD, James D.; AUSTIN, Stephanie E.; BIESBROEK, Robbert; LESNIKOWSKI, Alexandra. Climate change adaptation planning in large cities: A systematic global assessment. **Elsevier: Environmental Science and Policy**, 66, p. 375-382, 2016.

ARRAUT, Josefina Moraes; NOBRE, Carlos; BARBOSA, Henrique M. J.; OBREGON, Guillermo; MARENGO, José. Aerial rivers and lakes: looking at large-scale moisture transport and its relation to Amazonia and to subtropical rainfall in South America. **Journal of Climate**, v. 25, n. 2, p. 543-556, 2012.

ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO - ASA. **Correntina: as Guerras da Água chegam ao Brasil**. OUTRASMÍDIAS, 13 de Abr. de 2018. Disponível em <<https://outraspalavras.net/outrasmidias/correntina-as-guerras-da-agua-chegam-ao-brasil/>> Acesso em: 09 de Out. de 2021.

ASHTON, Peter J. The Role of Good Governance in Sustainable Development: Implications for Integrated Water Resource Management in Southern Africa. In: (Org.) TURTON, et al. *Governance as a dialogue: Government –Society-Science in transition*. 1ed. Berlin: **Springer**, p.78-96, 2007.

ASLAM, Rana Ammar; SHRESTHA, Sangam; PANDEY, Vishnu Prasad. Groundwater vulnerability to climate change: A review of the assessment methodology. **Elsevier: Science of the Total Environment**, p. 853–875, 2018.

BANCO MUNDIAL. *Water Resources Management – Developing countries*. Washington: DC, 142 p., 1993.

BAPTISTA, Gabrielly Cristhine Zwang; SEVERO, Dirceu Luis. Variabilidade espacial e temporal da precipitação de Santa Catarina. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 68, p.184-200, Set./Dez., 2018.

BATISTA, Carla Sales Polon; GESUALDO, Gabriela Chiquito; LEITE, Pamela Cristine Colla; LASTORIA, Giancarlo; GABAS, Sandra Garcia; CAVAZZANA, Guilherme Henrique; CASADEI, Juliana de Mendonça; AZOIA, Tamiris de Souza. Aplicação do método GOD para avaliação de vulnerabilidade de aquífero livre em bacia hidrográfica. In: *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas; XX Encontro Nacional de Perfuradores de Poços – FENÁGUA 2016*. Setembro de 2016: Campinas – SP. Disponível em: <https://www.abas.org/xixcabas/anais/102292_113_Artigo_CABAS_Carla_Gabriela.pdf> Acesso em 12 de Dez., 2019.

BATISTA, Ludmila Viana; GASTMANS, Didier; SÁNCHEZ-MURILO, Ricardo; FARINHA, Bárbara Saeta; SANTOS, Sarah Maria Rodrigues dos; KIANG, Chang Hung. Groundwater and surface water connectivity within the recharge area of guarani aquifer system during El Niño 2014-2016. **Wiley: Hydrological processes**, 13 p., 2018.

BHERING, Apolo P.; ANTUNES, I. M. H. R.; MARQUES, Eduardo A. G; PAULA, Rodrigo S. de. Geological and hydrogeological review of a semi-arid region with conflicts to water availability (southeastern Brazil). **Elsevier: Environmental Research**, 202, 10 p., 2021.

BOHN, Noemia; GOETTEN, Willian Jucelio; PRIMO, Alberto Pessati. Governança da água subterrânea no Estado do Rio Grande do Sul. **REGA**, vol. 11, no. 1, p. 33-43, Jan./Jun., 2014.

BOLSON, Simone Hegele; HAONAT, Ângela Issa. A governança da água, a vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do direito**: Belo Horizonte, V 13, n 25, p. 223-248, Jan.-Abr., 2016.

BONFIM, Joice Silva. Privatização das águas, produção da escassez e violência: intensificação e agravamento dos conflitos por água. In: Centro de documentação Dom Tomás Balduino. Conflitos no Campo: Brasil 2022. Goiânia: **CPT Nacional**, 254 p., 2023.

BOSCARDIN BORGHETTI, Nadia Rita; BORGHETTI, José Roberto; ROSA FILHO, Ernani Francisco da. Aquífero Guarani: a verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba: **GIA**, 138 p., 2004.

BRAGA, Tania Moreira; OLIVEIRA, Elzira Lúcia de; GIVISIEZ, Gustavo Henrique Naves. Avaliação de metodologias de mensuração de risco e vulnerabilidade social a desastres naturais associados à mudança climática. XV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP, realizado em Caxambú- MG – Brasil, de 18 a 22 de Set., 2006.

BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. Diretor-Presidente da Agência Nacional de Águas – ANA, aprova através da Portaria nº 149, de 26 de Março de 2015, a Lista de Termos para o *Thesaurus* de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas - ANA. Brasília, 2014.

Brasil de Fato. Fórum popular contesta audiência virtual para privatização da água em Erechim. Porto Alegre, 04 de agosto de 2020. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2020/08/04/forum-popular-contesta-audiencia-virtual-para-privatizacao-da-agua-em-erechim>. Acesso em outubro de 2023.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília, 8 de janeiro de 1997.

BRASIL. Lei nº. 11.445 de 05 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o Saneamento Básico e cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico. Brasília, 05 de janeiro de 2007a.

BRASIL. Ministério da Cidadania. Secretaria Especial do Desenvolvimento Social – MDS. Programa Cisternas. Disponível em: <<http://mds.gov.br/assuntos/seguranca-alimentar/acesso-a-agua-1/programa-cisternas>>> Acesso em: 25 de agosto de 2020.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento:

Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 247p., 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 180p., 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 3º Diagnóstico de Drenagem e Manejo das Águas Pluviais Urbanas – 2018. Brasília: SNS/MDR, 195 p., 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas. Petrobras. Águas Subterrâneas um recurso a ser conhecido e protegido. Brasília, 40 p., 2007b. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/167/_publicacao/167_publicacao28012009044356.pdf> Acesso em 12 de setembro de 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA. National adaptation plan: 1st monitoring and evaluation report 2016 – 2017. Minister of Environment, Secretary for Climate Change and Forests. Brasília, DF: MMA, 2017.

BURCH, S. Transforming barriers into enablers of action on climate change: insights from three municipal case studies in British Columbia, Canada. **Global Environmental Change**, n.20, p.287-297, 2010.

CAMARANO, Ana Amélia; ABRAMOVAY, Ricardo. Êxodo rural, envelhecimento e masculinização no Brasil: panorama dos últimos 50 anos. Rio de Janeiro: **IPEA** – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, p. 23, 1999.

CAMARGO, Claudia; MACHADO, Ludmila; PANDOLFO, Cristina; BRAGA, Hugo. Estudo de tendências climáticas da temperatura do ar no estado de Santa Catarina. Florianópolis, SC: Eng. Agr., Centro de Ciências Agrárias, Estudante, UFSC, In: XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia 22 a 25 de Setembro de 2009 - GranDarrell Minas Hotel, Belo Horizonte, MG, 2009.

CAMPOS, Valéria Nagy de Oliveira; FRACALANZA, Ana Paula. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. Campinas: **Ambiente e Sociedade**, v. 13, n.2, p. 365-382, 2010.

CARDOSO, Josiane Teresinha. A Mata Atlântica e sua conservação. Encontros Teológicos: Florianópolis, V.31, N.3, Set.-Dez., p. 441-458, 2016.

CARDOSO, C.S.; DE QUADRO, M.F.L. Análise comparativa de dados de precipitação gerados pelo “Climate Prediction Center–CPC” versus dados observados para o Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 04, 19 p., 2017.

CASTRO, Antônio Luiz Coimbra de; CALHEIROS, Elio Bringel; CUNHA, Maria Inêz Resende; BRINGEL, Maria Luiza Nova da Costa. Manual de desastres-desastres naturais, v. 1. Ministério da Integração Nacional-Secretaria Nacional de Defesa Civil, Brasília, DF, v. 174, 2003.

CEPED-UFSC. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. Atlas brasileiro de desastres naturais: 1991 a 2012 / Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres. 2. ed. rev. ampl. – Florianópolis: CEPED UFSC, 2013. 168 p. Disponível em <<https://www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-1991-a-2012/>> Acesso em 19 de outubro de 2022.

CPT. Centro de documentação Dom Tomás Balduino. Conflitos no Campo: Brasil 2022. Goiânia: **CPT Nacional**, 254 p., 2023.

CHAMBEL, António. Águas subterrâneas e agricultura. *In*: GUIMARÃES, R. C., SHAHIDIAN, S. e RODRIGUES, C. M. (Eds.). Hidrologia Agrícola. ECT e ICAAM. 2ª ed., 308 p., p.133-153, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10174/22180>> Acesso em: 12 de Fev., 2020.

CLOKE, Paul; CRANG, Philip; GOODWIN, Mark. Introducing Human Geographies. **Routledge**: Londres, 3 ed. 1088 p., 2013.

COMASSETTO, Vilmar; MATTHIENSEN, Alexandre; ALVES, Jonatas; FAVASSA, Celí Teresinha Araldi; WASKIEWIC, Maikon Eduardo; BÓLICO, Jackson. Diagnóstico dos poços tubulares profundos e da qualidade das águas subterrâneas no município de Jaborá (SC). Brasília: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22 a 27 Nov., 8 p., 2015.

COMINOLA, A.; GIULIANI, M.; PIGA, D.; CASTELLETTI, A.; RIZZOLI, A. E. Benefits and challenges of using smart meter for advancing residential water demand modeling and management: A review. **Environmental Modelling & Software**, v.72, p. 198-214, 2015.

COMISSÃO SOBRE GOVERNANÇA GLOBAL. Nossa Comunidade Global Relatório da Comissão sobre Governança Global Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1996.

CORDEIRO, Victor Vartuli; REZENDE, Elcio Nacur. Os rios voadores e as mudanças climáticas ocasionadas pelo desmatamento da floresta amazônica: uma perspectiva a partir do constitucionalismo latino-americano. **Revista Brasileira de Direito Animal**, v. 16, n. 3, p. 100-115, 2021.

COSTA, Luan Calderaro. Quadrilátero afortunado, desmatamentos na Amazônia entre 1992 e 2019, e impactos climatológicos no oeste paulista. **Ciência Geográfica**: Bauru - XXV - Vol. XXV - (3): Janeiro/Dezembro – 2021.

COSTA, Marcelo Pires da; ZOBY, José Luiz Gomes. (Coords.) Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil [e] Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. Brasília: **ANA**, 2007. 123 p., il., col., mapas, 30 cm.

(Cadernos de recursos hídricos, 5). Inclui referências bibliográficas. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/63812?guid=1690372434428&returnUrl=%2fsophia_web%2fresultado%2flistar%3fguid%3d1690372434428%26quantidadePaginas%3d1%26codigoRegistro%3d63812%2363812&i=7> Acesso em: 18 Set. 2019.

CPRM, 2019. CPRM, SGB: **Serviço Geológico do Brasil** – Dados, Informações e Produtos. Disponível em: <https://geosgb.cprm.gov.br/> Acesso em: março de 2020. CPTEC-INPE. Condições atuais do enos: La Niña. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>> Acesso em: 29 de outubro de 2022.

CRED - Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2020). “Natural Disasters 2019: Now is the Time to not give up”. 8 p., Disponível em: www.emdat.be/natural-disasters-2019-now-time-not-give. Acesso em: março de 2022.

DENICOLA, Erica; ABURIZAIZA, Omar S.; SIDDIQUE, Azhar; KHWAJA, Haider; CARPENTER, David O. Climate Change and Water Scarcity: The Case of Saudi Arabia. **Annals of Global Health**, vol. 81, nº 3, 2015.

DESCOVI FILHO, Leônidas Luiz Volcato; SCHEIBE, Luiz Fernando; NANNI, Arthur Schmidt. Espessuras do Grupo Serra Geral em Santa Catarina como resultado de um processo de estruturação em blocos. In: **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**; XX Encontro Nacional de Perfuradores de Poços – FENÁGUA, Campinas-SP, Set., 2016.

Deutsche Welle - DW Brasil. Por que a Alemanha ainda não abandonou a energia nuclear? 21.11.2022 - Kristie Pladson Disponível em: <<https://www.dw.com/pt-br/por-que-a-alemanha-ainda-n%C3%A3o-abandonou-a-energia-nuclear/a-63834258>> Acesso em 15 de dezembro de 2022.

DÖLL, Petra. Vulnerability to the impact of climate change on renewable groundwater resources: a global-scale assessment. **Environmental Research Letters**, 4, 12 p., 2009.

EPAGRI/CEPA. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina de 2018 - 2019. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepapublicacoes/Sintese_2018_19.pdf> Acesso em: 23 Maio, 2021.

EPAGRI/CEPA. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina de 2008 - 2009. Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. Florianópolis, 2009. Disponível em <https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepapublicacoes/sintese_2009.pdf> Acesso em: 23 Maio, 2021.

FACCO, Janete. Os Usos e a Qualidade das Águas do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral – SAIG/SG no município de Chapecó-SC. **Tese** (Doutorado) –

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 314 p., 2018.

FEARNSIDE, P.M. Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências. p. 7-19. In: Fearnside, P.M. (ed.) *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Editora do **INPA**, Manaus, Amazonas. 368 p. (no prelo), 2021.

FEITOSA, Fernando A. C.; FILHO, João Manoel; FEITOSA, Edilton Carneiro; DEMETRIO, J. Geilson A. Hidrogeologia: conceitos e aplicações. **CPRM: Serviço geológico do Brasil**, 3ª Ed., 812p., 2008.

FERNANDES, Luís Filipe Sanches; CARDOSO, Leila Vanessa Rodrigues Queirós; PACHECO, Fernando António Leal; LEITÃO, Sérgio; MOURA, Joao Paulo. DRASTIC and GOD vulnerability maps of the Cabril River Basin, Portugal. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 67, p. 133-142, 2014.

FERNANDES, Valesca Rodriguez; CUNHA, Ana Paula Martins do Amaral; PINEDA, Luz Adriana Cuartas; LEAL, Karine R. Deusdará; COSTA, Lidiane C. O.; BROEDEL, Elizângela; FRANÇA, Daniela de Azeredo; ALVALÁ, Regina Célia dos Santos; SELUCHI, Marcelo E.; MARENGO, José. Secas e os impactos na região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 28, jan/jun, 24 p., 2021.

FLORES, Rafael Almeida et al. Método de avaliação da eficiência no uso de água em edificações educacionais: um sistema de benchmarking por análise de agrupamentos e lógica *fuzzy*. **Tese** (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 215, 2022.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; VIDAL, A.; SCHMIDT, G.; GARDUÑO, H. Implicações hidrogeológicas na gestão do Sistema Aquífero Guarani. In: HIRATA, R.; ROCHA, G.; SINDICO, F. (Orgs.) *A gestão do Sistema Aquífero Guarani: um exemplo de cooperação*. São Paulo, IGc/USP, 43p., 2011.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; GOMES, Daniel; D'ELIA, Mônica; PARIS, Marta. Proteção da qualidade da água subterrânea: um guia para empresas de abastecimento de água, órgãos municipais e agências ambientais. São Paulo: Edição brasileira: **Servmar – Serviços Técnicos Ambientais Ltda. Banco Mundial**, 114 p., 2006.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; ROCHA, Gerôncio Albuquerque. Riscos de Poluição de Águas Subterrâneas: uma proposta metodológica de avaliação regional. *Águas Subterrâneas*, 1988. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22664>> Acesso em 10 de Set., 2020.

FOSTER, Stephen; GARDUÑO, Héctor; TUINHOF, Albert; TOVEY, Catherine. Groundwater governance: conceptual framework for assessment of provisions and needs. *GW-Mate strategic overview series*. n. 1. Washington: **World Bank**, 16 p., 2009.

FOSTER, Stephen; HIRATA, Ricardo; GOMES, Daniel; D'ELIA, Mônica; PARIS, Marta. Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities and environment agencies. **The World Bank**: Washington, D.C., 114 p., 2002.

FOSTER, Stephen; PERRY, Chris; HIRATA, Ricardo e GARDUÑO, Héctor. Groundwater Resource Accounting critical for effective management in a 'changing world'. Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools: Sustainable Groundwater Management Concepts & Tools. The World Bank: Global Water Partnership Associate Program, 12 p., 2009.

FRANKE, A.E.; ZAVATTINI, J.A.; ALVES, M.P.A.; SILVEIRA, R.B. (Orgs.). Investigações climáticas em eventos extremos: análises socionaturais – “Homenagem à Prof.^a Dr.^a Magaly Mendonça”. Cadernos Geográficos, Departamento de Geociências – UFSC, Florianópolis, n. 36, 1^a ed., 128 p., 2017.

FREITAS, Marcos Alexandre; CAYE, Bráulio Robério; MACHADO, José Luiz Flores. Diagnóstico dos recursos hídricos subterrâneos do oeste do Estado de Santa Catarina - Projeto Oeste de Santa Catarina. PROESC, CPRM, 110 p., 2003.

GALLOPÍN, Gilberto C. Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. **Global environmental change**, v. 16, n. 3, p. 293-303, 2006.

GETIRANA, Augusto; LIBONATI, Renata; CATALDI, Marcio. Brazil is in water crisis: it needs a drought plan. **Nature**, v. 600.7888, p. 218-220, 2021.

GHISI, E., MONTIBELLER, A., SCHMIDT, R. W. Potential for potable water savings by using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Elsevier: Building and Environment**, 41, p. 204–210, 2006.

GIDDENS, A. A Política da mudança climática. Rio de Janeiro: Zahar, 314p., 2010.

GOETTEN, Willian J.; Avaliação da Governança da Água Subterrânea nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental na Fundação Universidade Regional de Blumenau (FURB). Blumenau, 312p., 2015.

GOMES, Marco Antonio Ferreira. O Aquífero Guarani no contexto das mudanças climáticas globais. In: CONGRESSO AQUÍERO GUARANI, 2, 2008, Ribeirão Preto. Anais... Ribeirão Preto, 2008. 1p. Poster, 2008.

GOMEZ-GOMEZ, Juan-de-Dios; PULIDO-VELAZQUEZ, David; COLLADOS-LARA, Antonio-Juan; FERNANDEZ-CHACON, Francisca. The impact of climate change scenarios on droughts and their propagation in an arid Mediterranean basin. A useful approach for planning adaptation strategies. **Elsevier, Science of the total environment**, 18 p., 2022.

GONDIM, Joaquim; MARANHÃO, Ney; COIMBRA, Márcia Regina Silva Cerqueira; TRÖGER, Flávio Hadler; FIOREZE, Ana Paula; AMORIM, Brandina de. Os Efeitos Das Mudanças Climáticas Sobre Os Recursos Hídricos: Desafios Para A Gestão.

Grupo de Trabalho sobre Mudanças Climáticas (Portaria ANA nº 36, 26/01/2010). Agência Nacional de Águas (ANA), 20 p., 2010.

GÖSSLING, S. New performance indicators for water management in tourism. **Tourism Management**. 2015, 46, 233–244.

GOTARDO, Rafael; PIAZZA, Gustavo Antonio; TORRES, Edson; SEVERO, Dirceu Luis; KAUFMANN, Vander. Distribuição espacial e temporal das chuvas no estado de Santa Catarina. Florianópolis: **Geosul**, v. 33, n. 67, p. 253-276, Maio/Ago. 2018.

GRIMM, A. M. Clima da região sul do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Org.), Tempo e clima no Brasil, São Paulo: **Oficina de Textos**, p. 259-275, 2009.

GRIMM, Alice Marlene. Meteorologia Básica - notas de aula. Departamento de Física da Universidade Federal do Paraná, 1999. Disponível em: <https://fisica.ufpr.br/grimm/aposmeteo/> Acesso em 23 set. 2022.

GROISMAN, P. Y.; KNIGHT, R. W.; EASTERLING, D. R.; KARL, T. R.; HEGERL, G. C.; RAZUVAEV, V. N. Trends in intense precipitation in the climate record. **Journal of Climate**, v. 18, n. 9, p. 1326-1350, 2005.

GROUNDWATER GOVERNANCE. Synthesis of thematic papers/case studies, groundwater governance: A Global Framework for Country Action, 48 p., 2012. HASSING, Jan; IPSEN, Niels; CLAUSEN, Torkil Jønch; LARSEN, Henrik; LINDGAARD-JØRGENSEN, Palle. Integrated Water Resources Management in Action. Turquia: **UNESCO**, World Water Assessment Programme, Side publications series, 22 p., 2009.

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

HIRATA, Ricardo; SUHOGUSOFF, Alexandra Vieira; MARCELLINI, Silvana Susko; VILAR, Pilar Carolina; MARCELINI, Laura. A revolução silenciosa das águas subterrâneas no Brasil: uma análise da importância do recurso e os riscos pela falta de saneamento. Instituto Trata Brasil. 19 p. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/estudos/estudos-itb/itb/aguas-subterraneas-e-saneamento-basico>> Acesso em: 20 de Dez., 2020.

HIRATA, Ricardo; SUHOGUSOFF, Alexandra; MARCELLINI, Silvana Susko; VILALAR, Pilar Carolina; MARCELINI, Laura. As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências, 66 p., 2019.

HOUÉMÉNOU, Honoré; TWEED, Sarah; DOBIGNY, Gauthier; MAMA, Daouda; ALASSANE, Abdoukarim; SILMER, Roland; BABIC, Milanka; RUY, Stéphane; CHAIGNEAU, Alexis; GAUTHIER, Philippe; SOCOHOU, Akilou; DOSSOU, Henri-Joël; BADOU, Sylvestre; LEBLANC, Marc. Degradation of groundwater quality in

expanding cities in West Africa. A case study of the unregulated shallow aquifer in Cotonou. **Journal of Hydrology**, v. 582, p. 124438, 2020.

HUANG, Lu; ZENG, Guangming; LIANG, Jie; HUA, Shanshan; YUAN, Yujie; LI, Xiaodong; DONG, Haoran; LIU, Jiayu; NIE, Shuang; LIU, Junfeng. Combined impacts of land use and climate change in the modeling of future groundwater vulnerability. **Journal of Hydrogeological Engineering**, 22(7), 11 p., 2017.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico: 2010**. Características da população e dos domicílios - resultados do universo. Censo demográfico, Rio de Janeiro: p.1-175, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017: abastecimento de água e esgotamento sanitário**. Coordenação de População e Indicadores Sociais, Rio de Janeiro: IBGE, 124 p., 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: 2015. Síntese de indicadores. Coordenação de Trabalho e Rendimento - Rio de Janeiro: **IBGE** 108 p., 2016.

IBGE, 2017. IBGE. Mapas: Portal de mapas. Disponível em: <https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>. Acesso em: março de 2020.

IBGE. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais - COPIS. Tabelas de estimativas para 1º de Jul., 2019. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>> Acesso em: 30 de Jan., 2020.

ILHA, Marina S. O.; OLIVEIRA, Lúcia Helena; GONÇALVES, Orestes M. Environmental assessment of residential buildings with an emphasis on water conservation. **Building Services Engineering Research and Technology**, v. 30, n. 1, p. 15–26, 2009.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Estimativa de desmatamento na Amazônia Legal para 2022 é de 11.568 km². Publicado em 30/11/2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/sei_01340-009084_2022_72_notatecnica_estimativa_prodes_2022_revisada_lu_lm_27_10_rev_la-002.pdf>> Acesso em: 10 de janeiro de 2023.

INSTITUTO HUMANITAS UNISSINOS - IHU. A privatização da água nega o direito humano de ter acesso a ela. Entrevista especial com Riccardo Petrella. 22 de Mar., 2010. Disponível em <<http://www.ihu.unisinos.br/entrevistas/30810-a-privatizacao-da-agua-nega-o-direito-humano-de-ter-acesso-a-ela-entrevista-especial-com-riccardo-petrella>> Acesso em: 09 de Out. de 2021.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for policymakers. IPCC WGII Sixth Assessment Report, p. 37, 2022.

IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p., 2014.

IPCC. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p., 2007.

ISLAM, M. Sirajul; MAHMUD, Zahid Hayat; ISLAM, M. Shafiqul; SAHA, Ganesh Chandra; ZAHID, Anwar; ALI, AHM Zulfiquar; HASSAN, M. Qumrul; ISLAM, Khairul; JAHAN, Hasin; HOSSAIN, Yakub; HASAN, M. Masud; CAIRNCROSS, Sandy; CARTER, Richard; LUBY, Stephen P.; CRAVIOTO, Alejandro; ENDTZ, Hubert Ph.; FARUQUE, Shah M.; CLEMENS, John D. Safe distances between groundwater-based water wells and pit latrines at different hydrogeological conditions in the Ganges Atrai floodplains of Bangladesh. **Journal of Health, Population and Nutrition**, 35:26, 10 p., 2016.

JACOBI, Pedro Roberto; SINIGALLI, Paulo Antonio de Almeida; MEDEIROS, Yvonilde; ROMEIRO, Ademar Ribeiro. **Governança da água no Brasil: dinâmica da política nacional e desafios para o futuro**. In: JACOBI, Pedro Roberto; SINIGALLI, Paulo Antonio de Almeida (Orgs.). *Governança da água e políticas públicas na América Latina e Europa*. v 1, 228p., p. 49-82, 2009.

JOHANNSEN, Irene M.; HENGST, Jennifer C.; GOLL, Alexander; HÖLLERMANN, Britta; DIEKKRÜGER, Bernd. Future of Water Supply and Demand in the Middle Drâa Valley, Morocco, under Climate and Land Use Change. **Water**, v. 8, nº 313, 18 p., 2016.

JORGENSEN, B.; GRAYMORE, M.; O'TOOLE, K. Household water behavior: An integrated model. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 227-236, 2009.

JOSÉ, Murilo Fretta; MINUZZI, Rosandro Boligon. Desempenho na estimativa de precipitação pelo radar meteorológico do oeste de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.12, n.06, 2019.

KAMALANANDHINI. M; KALAIVIZHI. R; GOLDA PERCY. VP; SRIVIDHYA. S; DHEEPAK, S; e K. THIYANESHWARAN. K. Effect of flood event on water quality. **Rasayan Journal of Chemistry**. Vol. 12, nº. 2, 849-854, Abr./Jun., 2019.

KOBIYAMA, Masato; MOTA, Aline de Almeida; CORSEUIL, Cláudia Weber. Recursos hídricos e saneamento. Curitiba: Ed. **Organic Trading**, 1ª ed., 160 p., 2008.

KOBIYAMA, Masato; MENDONÇA, Magaly; MORENO, Davis Anderson; MARCELINO, Isabela P.V. Oliveira; MARCELINO, Emerson V.; GONÇALVES, Edson F.; BRAZETTI, Leticia Luiza Penteado; GOERL, Roberto Fabris; MOLLERI,

Gustavo Souto Fontes; RUDORFF, Frederico de Moraes. Prevenção de desastres naturais: conceitos básicos. Curitiba: **Organic Trading**, 109 p., 2006.

KREPSKY, G. M.; BESEN, M. H. Competências constitucionais sobre as águas. Blumenau: FURB, **Revista Jurídica – CCJ**. ISSN (1982-4858), Jan./Abr., v. 18, nº35, p. 145-170, 2014.

KUNDZEWICZ, Zbigniew W. e DÖLL, Petra. Will groundwater ease freshwater stress under climate change? **Hydrological Sciences Journal**, 54:4, p. 665-675, 2009.

LANDER, Brian. Birds and Beasts Were Many: The Ecology and Climate of the Guanzhong Basin in the Pre-Imperial Period. **Early China**, v. 43, p. 207-245, 2020.

LAUKKONEN, J.; BLANCO, P.; LENHART, J.; KEINER, M.; CAVRIC, B. e KINUTHIA-NJENGA, C. Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. **Habitat International**, n. 33: p. 287-292, 2009.

LEAL, Rodrigo J. Água, direito humano fundamental e sua proteção penal no ordenamento jurídico brasileiro: das ordenações medievais do reino às normas de controle dos crimes ambientais. **Revista jurídica – CCJ**. ISSN (1982-4858) Blumenau-FURB, Jan./Abr., v. 19, nº. 38, p. 161-194, 2015.

LI, Roupu; MERCHANT, James W. Modeling vulnerability of groundwater to pollution under future scenarios of climate change and biofuels-related land use change: a case study in North Dakota, USA. **Elsevier: Science of the total environment**, p. 32-45, 2013.

LIU, Hui-Hai. Impact of climate change on groundwater recharge in dry areas: An ecohydrology approach. **Elsevier: Journal of Hydrology**, p. 175-183, 2011.

LOPES, A. R. B. C.; SCHEIBE, L. F.. Formação histórica e recursos hídricos no município de Videira/SC. Simpósio Internacional de História Ambiental e Migrações, Florianópolis, na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, de 13 a 15 de Set., 2010.

LOPES, A. R. DE B. C.; SCHEIBE, L. F. Vulnerabilidade e risco de contaminação das águas do Sistema Aquífero Serra Geral na Bacia do Rio do Peixe/SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 30, n. 3, p. 560-570, 2015.

LOPES, Andréa Regina de Britto Costa. Recursos hídricos e uso da terra na bacia do Rio do Peixe/SC, mapeamento das áreas de vulnerabilidade e risco de contaminação do Sistema Aquífero Serra Geral. 317 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2012.

LOPES, Fábio Z.; RODRIGUES, Maria Laura G. As estiagens no Oeste de Santa Catarina entre 2002-2006. **Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia**, Rio de Janeiro: SBMet, 5p., 2008.

MAKARIEVA, Anastassia M.; GORSHKOV, Victor G. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. **Hydrology and earth system sciences**, v. 11, n. 2, p. 1013-1033, 2007.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of climate in South America in the late twenty-first century: intercomparison of scenarios from three regional climate models. **Climate Dynamics**, v. 35, p.1073-1097 2009.

MARENGO, Jose A. Drought, floods, climate change, and forest loss in the amazon region: a present and future danger? Front. **Young Minds**, v. 7, 2020

MAS-PLA, Josep; MENCÍÓ, Anna. Groundwater nitrate pollution and climate change: learnings from a water balance-based analysis of several aquifers in a western Mediterranean region (Catalonia). **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 2184–2202, 2019.

MATTIUZI, Camila Dalla Porta. Avaliação das anomalias de precipitação na Bacia do Rio Uruguai entre 2019 e 2021. XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, **ABPhidro**, 10 p., 2021.

MATUS, Nancy; FERNÁNDEZ, Bernardita; AEDO, M. Paz; LARRAÍN, Sara. **Recursos Hídricos en Chile: desafios para la sustentabilidad**. Programa Chile Sustentable, 1 ed., 172 p., 2004.

MELO, Liana. Água, um bem de poucos: Duelo pelo controle da água. COLABORA, 28 de Abr., 2019. Disponível em < <https://projecolabora.com.br/ods6/duelo-pelo-controle-da-agua-no-oeste-da-bahia/> Acesso em: 09 de Out. de 2021.

MELO, Milena Petters e GATTO, Andrea. Água como bem comum no quadro da governança democrática. Algumas reflexões críticas a partir das bases da economia ecológica e sobre a necessidade de um novo direito público. Anais da VII Conferência de Crítica Jurídica, UFSC, Florianópolis, 17-19 de Out., 2012.

MINUZZI, Rosandro Boligon e FREDERICO, Carolina do Amaral. Variabilidade de ondas de calor e a relação com o ENOS Modoki e Canônico em Santa Catarina. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 02 N. 04, 421-429, 2017.

MINUZZI, Rosandro Boligon e LOPEZ, Fábio Ziemann. Variabilidade de índices de chuva nos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 3, p. 697-706, Maio/Jun., 2014.

MINUZZI, Rosandro Boligon. Chuvas em Santa Catarina durante eventos do El Niño oscilação sul. Florianópolis: **Geosul**, v.25, n.50, p. 107-127, Jul./Dez. 2010.

MINUZZI, Rosandro Boligon. Modelagem estatística para a estimativa mensal de horas e unidades de frio em regiões de planalto do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 65, n.6, p. 474-480, Nov./Dez., 2018.

MINUZZI, Rosandro Boligon. Tendências na variabilidade climática de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1288–1293, 2010.

MINUZZI, Rosandro Boligon. Variabilidade no regime de chuva em Santa Catarina durante diferentes tipos de ENOS. Passo Fundo: **Agrometeoros**, v.26, n.1, p.113, Jul., 2018.

MIRANDA JUNIOR, Guilherme Xavier; RODRIGUES, Maria Laura Guimarães; CRUZ, Gilsânia. A estiagem do outono 2020 em Santa Catarina: a atuação da Epagri, da medição do dado à análise da informação. *Agropecuária Catarinense*, Florianópolis, v. 33, n.2, p. 11-14, maio/ago, 2020.

MONTEIRO, Maurici Amantino. Caracterização climática do estado de Santa Catarina: uma abordagem dos principais sistemas atmosféricos que atuam durante o ano. **Geosul**, v. 16, n. 31, p. 69-78, 2001.

MOWSHOWITZ, Abbe. On the Market Value of Information Commodities. I. The Nature of Information and Information Commodities. **Journal of the American Society for Information Science**, p. 225-232, 1992.

MYERS, B., FISHER, R., PAUL, T., WURM. P., CAMPBELL, A. The vulnerability of groundwater resources to climate change in Timor-Lest. Prepared by Research Institute for the Environment and Livelihoods. Charles Darwin University for the Australian Government, Department of Climate Change and Energy Efficiency, Canberra. 74 p., 2011.

NADERI, Mostafa. Assessment of water security under climate change for the large watershed of Dorudzan Dam in southern Iran. **Hydrogeology Journal**, v. 28, n. 5, p. 1553-1574, 2020.

NANNI, A. S.; FREITAS, M. A.; TEDESCO, M. A.; BINOTTO, R. B.. Vulnerabilidade natural e risco de contaminação do aquífero Serra Geral pela suinocultura na região das missões - RS. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, João Pessoa, 19 p., 2005.

NISTOR, Margarit-Mircea. Groundwater vulnerability in Europe under climate change. **Elsevier: Quaternary International**, p. 12, Abr., 2019.

NISTOR, Margarit-Mircea; DEZSI, Stefan; CHEVAL, Sorin; BACIU, Madalina. Climate change effects on groundwater resources: a new assessment method through climate indices and effective precipitation in Belis district, Western Carpathins. **Meteorological Applications**, 23:554-561, 2016.

NOBRE, Antonio Donato. O futuro climático da Amazônia. **Relatório de Avaliação Científica. São José dos Campos, São Paulo**, 2014.

NODARI, Eunice Sueli; ESPÍNDOLA, Marcos Aurélio. Relações complexas: as estiagens no Oeste de Santa Catarina. **Migrações e Natureza**, Oikos, São Leopoldo, p. 165-166, 2013.

OEA - Organização dos Estados Americanos. Aquífero Guarani: Programa Estratégico de Ação (PEA/SAG). Edição bilíngue: Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai: Jan., 426 p., 2009.

OECD (2015), Governança dos Recursos Hídricos no Brasil, OECD Publishing, Paris. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1787/9789264238169-pt>> Acesso em: 10 de março de 2020, 304 p., 2015.

OLIVEIRA, E. N.; FERREIRA, M. F.; OLIVEIRA, W. F.; OLIVEIRA, R. R. Estudo bibliográfico das tecnologias utilizadas no tratamento do esgoto e a legislação em vigor no Brasil. **Natural Resources**, v.9, n.1, p.20-27, 2019.

ONU. Organização das Nações Unidas. Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Population Prospects 2019: Highlights. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp2019/Publications/>>, Acesso em: 25 de Ago., 46 p., 2020.

ÖZEROL, Gül; DOLMAN, Nanco; BORMANN, Helge; BRESSERS, Hans; LULOFS, Kris; BÖGE, Mike. Urban water management and climate change adaptation: A self-assessment study by seven midsize cities in the North Sea Region. **Elsevier: Sustainable cities and society**, 55, p. 1-10, 2020.

PALUTIKOF, Jean P.; BOULTER, Sarah L.; STADLER, Frank; VIDAURRE, Ana C. Perez. Tracking the progress of climate change adaptation: An Australian case study. **Elsevier: Environmental Science and Policy**, 101, p.126-135, 2019.

PBMC, 2014: Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas [Assad, E.D., Magalhães, A. R. (eds.)]. COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 414 p., 2014.

PBMC, 2016: Mudanças Climáticas e Cidades. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116p., 2016.

PEIXOTO, Filipe da Silva; CAVALCANTE, Itabaraci Nazareno. Vulnerabilidade aquífera e risco de contaminação da água subterrânea em meio urbano. *Geologia USP, Série Científica*, São Paulo, v. 19, n. 2, p. 29-40, Jun. 2019.

PERERA, A. T. D.; NIK, Vahid M.; CHEN, Deliang; SCARTEZZINI, Jean Louis; HONG, Tianzhen. Quantifying the impacts of climate change and extreme climate events on energy systems. **Nature Energy**, v. 5, n. 2, p. 150–159, 2020.

PÉREZ-SÁNCHEZ, Julio; SENENT-APARICIO, Javier. Integrated water resources management on a local scale: a challenge for the user community a case study in Southern Spain. **Springer-Verlag Berlin Heidelberg** 2015.

PETTENGELL, Catherine. Climate Change Adaptation: Enabling people living in poverty to adapt. **Oxfam Research Report**, p. 48, 2010.

PINTO, Fábio Costa. Países do Mercosul, entidades, gestores e secretários assinam carta de itá e reafirmam compromisso com o Rio Uruguai. Santa Catarina: Inteligência Brasil Imprensa – IBI. Publicado em: 02 de dezembro de 2022. Disponível em: <https://ibi.org.br/noticia/50042/paises-do-mercosul-entidades-gestores-e-secretarios-assinam-carta-de-ita-e-reafirmam-compromisso-com-o-rio-uruguai> Acesso em: 10 de abril de 2023.

QGIS. The Leading Open Source Desktop GIS. Disponível em: <https://www.qgis.org/en/site/about/index.html>. Acesso em: 06 de Mar. de 2020.

RAMOS, Camila A. **Avaliação da governança da água subterrânea nos estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado) – FURB, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Blumenau, 193 p., 2017.

RAMOS, Nuria Ferrer; FOLCHA, Albert; FERNÁNDEZ-GARCIA, Daniel; LANE, Mike; THOMAS, Mike; GATHENYA, Jhon Mwangi; WARA, Calvince; THOMSONE, Patrick; CUSTODIO, Emilio; HOPE, Rob. Evidence of groundwater vulnerability to climate variability and economic growth in coastal Kenya. **Journal of Hydrology**, v. 586, p. 124920, 2020.

REBOUÇAS, Aldo da Cunha. Águas subterrâneas. *In*: GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia e GONÇALES, Valter Galdiano (Orgs.). Águas subterrâneas e poços tubulares profundos. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2 ed., 496 p., 2013.

REDE GUARANI/SERRA GERAL (RGSG). Blocos hidrogeológicos, vulnerabilidade natural e risco à contaminação do Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral em Santa Catarina. Laboratório de Análise Ambiental e Laboratório de Hidrogeologia da UFSC. Nota Técnica. 2020. 155p. il. mapas. Disponível em: <https://hidrogeologia.ufsc.br/saigsg/>. Acesso em: 26 de Maio de 2021.

REINECKE, Robert; MÜLLER Schmied, H., TRAUTMANN, T., ANDERSEN, L. S., BUREK, P., FLÖRKE, M. e DÖLL, P. Uncertainty of simulated groundwater recharge at different global warming levels: a global-scale multi-model ensemble study. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 25, n. 2, p. 787-810, 2021.

RIBEIRO, Daniela Menezes; ROCHA, Washington Franca, GARCIA, Antonio Jorge Vasconcellos. Vulnerabilidade natural à contaminação dos aquíferos da subbacia do rio Siriri, Sergipe. *Águas Subterrâneas*, v.25, n.1, p.91-102, 2011.

RIBEIRO, Natalia Barbosa; JOHNSON, Rosa Maria Formiga. Discussões sobre governança da água: tendências e caminhos comuns. São Paulo: **Ambiente e Sociedade**, vol. 21, 22 p., 2018.

RIBEIRO, W. C.; SANTOS, C. L. S. dos; SILVA, L. P. B da. Conflito pela água, entre a escassez e a abundância: marcos teóricos. **AMBIENTES**. v. 1, n. 2, p.11-37, 2019.

SADOFF, Claudia; MULLER, Mike. La gestión del agua, la seguridad hídrica y la adaptación al cambio climático: efectos anticipados y respuestas esenciales. Estocolmo: **Global Water Partnership**, 2010.

Santa Catarina. Secretaria de Estado do Planejamento. Diretoria de Estatística e Cartografia. Atlas Geográfico de Santa Catarina: diversidade da natureza – fascículo 2. [recurso eletrônico]. Isa de Oliveira Rocha (Org.), 2ª ed., Florianópolis: Editora da UDESC, 97 p., 2016.

SANTOS, Álvaro Rodrigues dos. Enchentes urbanas: causas e soluções. São Paulo: ARS Geologia, s/d. Disponível em: <http://www.arsgeologia.com.br/artigo_enchentes_urbanas.html> Acesso em: 10 de Out., 2021.

SANTOS, Bianca Borges Medeiros. Segurança Hídrica da Região Metropolitana do Rio de Janeiro: Contribuições para o debate. **Ambiente e Sociedade**, n. 19 (1) • Mar., 2016.

SANTOS, Bianca S. dos Reis. O conflito pela água em Correntina (BA): Narrativas e disputas no Vale do Arrojado. Niterói: Dissertação (Mestrado), Instituto de Ciências Humanas e Filosofia, Programa de Pós-graduação em Sociologia, Universidade Federal Fluminense, p. 121, 2020.

SANTOS, Celso Augusto Guimarães; FREIRE, Paula Karenina de Macêdo Machado; TORRENCE, Christopher. A Transformada de Wavelet e sua Aplicação na Análise de Séries Históricas. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos** v. 18, n. 3, p. 271-280, Jul/Set 2013.

SCHEIBE, Luiz Fernando; NANNI, Arthur Schmidt; HENNING, Luciano Augusto. Sistema Aquífero Integrado Guarani/Serra Geral e a ameaça do Gás de Xisto na Bacia do Paraná. *In*: Anais do 18º Congresso Brasileiro de Direito Ambiental / Licenciamento, Ética e Sustentabilidade / coords. Antonio Herman Benjamin, Eladio Lecey, Sílvia Cappelli, Carlos Teodoro José Hugueney Irigaray, José Eduardo Ismael Lutti. São Paulo: 2v.; p.203-218, 2013.

SCHEIBE, Luiz Fernando e HIRATA, Ricardo César Aoki. O contexto tectônico dos sistemas Aquíferos Guarani e Serra Geral em Santa Catarina: uma revisão. *In*: XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008, Natal, RN. Anais do XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Curitiba: **Associação Brasileira de Águas Subterrâneas - ABAS**, v. único. p. 01-14, 2008.

SCHEIBE, Luiz Fernando. O Novo Marco do Saneamento. Chapecó. 28 Ago. Apresentação de Power Point. 33 slides. color. 2020.

SCHMITZ, Arno; BITTENCOURT, Mauricio V. L. Crescimento econômico e pressão sobre recursos hídricos. São Paulo: **Estudos Econômicos**, v. 47, n. 2, 2017.

SEBILO, Mathieu; MAYER, Bernhard; NICOLARDOT, Bernard; PINAY, Gilles; MARIOTTI, André. Long-term fate of nitrate fertilizer in agricultural soils. **PNAS**, vol. 110, n. 45, p. 18185–18189, Nov., 2013.

SENER, E.; DAVRAZ, A. Hydrogeol J. Assessment of groundwater vulnerability based on a modified DRASTIC model, GIS and an analytic hierarchy process (AHP) method: the case of Egirdir Lake basin (Isparta, Turkey). (2013) 21: 701. <https://doi.org/10.1007/s10040-012-0947-y>.

SIAGAS – Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. Disponível em <http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/pesquisa_complexa.php> Acesso em: 06 de outubro de 2022.

SIAGAS. Sistema de Informação de Águas Subterrâneas. CPRM, Serviço Geológico do Brasil. Disponível em <<http://www.cprm.gov.br/publique/Noticias/Projeto-de-Protecao-Ambiental-e-Desenvolvimento-Sustentavel-do-Sistema-Aquifero-Guarani---PSAG-938.html?from%5Finfo%5Findex=3461>> Acesso em 16 de Fev., 2021.

SIEBERT, Stefan; HENRICH, Verena; FRENKEN, Karen; BURKE, Jacob. Update of the Digital Global Map of Irrigation Areas (GMIA) to Version 5. Institute of Crop Science and Resource Conservation Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn: Germany, outubro, 171 p., 2013.

SILVA, Mayane Bento; HERREROS, Mário Miguel Amin Garcia; BORGES, Fabrício Quadros. Gestão integrada dos recursos hídricos como política de gerenciamento das águas no Brasil. **Rev. Adm.** UFSM, Santa Maria, v. 10, número 1, p. 101-115, Jan. - Mar. 2017.

SMERDON, Briab D. A synopsis of climate change effects of groundwater recharge. **Elsevier**: journal of hydrology, p. 125-128, 2017.

SOARES, M.O.; CAMPOS, C.C.; CARNEIRO, P.B.M.; BARBOSA, H.S.; MARINS, R.V.; TEIXEIRA, C.E.P.; MENEZES, M.O.B.; PINHEIRO, L.S.; VIANA, M.B.; FEITOSA, C.V.; SÁNCHEZ-BOTEROC, J.I.; BEZERRA, L.E.A.; ROCHA-BARREIRA, C.A.; MATTHEWS-CASCON, H.; MATOS, F.O.; GORAYEB, A.; CAVALCANTE, M.S.; MOROA, M.F.; ROSSI, S.; BELMONTE, G.; Melo, V.M.M.; ROSADO, A.S. ROSADO; RAMIRES, G.; TAVARES, T.C.L.; GARCIA, T.M. Challenges and perspectives for the Brazilian semi-arid coast under global environmental changes. Associação Brasileira de Ciência Ecológica e Conservação. **Perspectives in Ecology and Conservation** 19 (2021) 267–278.

SPINELLI, K., MENDONÇA, M. BONETTI, C. V. D. H. C. Eventos extremos mensais e a ocorrência de inundações e estiagens na bacia do Rio do Peixe – Santa Catarina. **Revista Geonorte**, v.1, p.1011 – 1023, 2012.

STALLBAUM, Imara; MAFALDA, Antônio Carlos; SCHEIBE, Luiz Fernando; HENNING, Luciano Augusto. **Águas subterrâneas: um Patrimônio Catarinense**. Florianópolis – SC: Expressão, 160 p., 2018.

STEDUTO, Pasquale; Harwood, Mary; PEÑA, Humberto; XURONG, Mei; HONG, Gan; LAMADDALENA, Nicola; BASTIAANSEN, Wim; KFIR, Rivka; FERERES-CASTIEL, Elias; VARELA-ORTEGA, Consuelo; BATCHELOR, Charles; MECHLIA, Netij Bem; SVENDSEN, Mark. Coping with water scarcity: an action framework for

agriculture and food security. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, 2012.

STEWART, David R.; BRUSS, Paul J.; YANG, Xiaoying; STAGGENBORG, Scott A.; WELCH, Stephen M.; APLEY, Michael D. Tapping unsustainable groundwater stores for agricultural production in the High Plains Aquifer of Kansas, projections to 2110. *PNAS*, Out., nº 26, p. E3477–E3486, 2013.

SUGUIO, Kenitiro. Água. Ribeirão Preto: **Holos Editora**, p. 242, 2006.
TELLES, Dirceu D'Alkmin; DOMINGUES, Antônio Félix. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, Aldo da Cunha; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galizia (Orgs.) *Águas Doces no Brasil: Capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo: **Escrituras**, 3ª Ed., p. 748, 2006.

THIRUMALAIVASAN, D.; KARMEGAM, M.; VENUGOPAL, K. AHP-DRASTIC: software for specific aquifer vulnerability assessment using DRASTIC model and GIS. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, n. 7, p. 645-656, 2003.

TORCELLINI, Paul; LONG, Nicholas; JUDKOFF, Ron. Consumptive water use for US power production. National Renewable Energy Lab., Golden, CO (US), 2003. Disponível em <<https://www.osti.gov/servlets/purl/15005918>> Acesso em: 04 Out. 2018.

TORTELLA, B.D.; TIRADO, D. Hotel water consumption at a seasonal mass tourist destination. The case of the island of Mallorca. **Journal of Environmental Management**. 2011, 92, 2568–2579.

TRINDADE, Larissa de Lima; SCHEIBE, Luiz Fernando; RIBEIRO, Wagner Costa. A Governança da Água: O caso dos comitês dos rios Chapecó e Irani –SC. Florianópolis: **Geosul**, v. 33, n. 68, p. 36-57, Set/Dez, 2018.

TUCCI, Carlos E. M. (Org.) *Hidrologia: ciência e aplicação*. Porto Alegre: **UFRGS**: ABRH, 944 p., 2009.

TUCCI, Carlos E. M.; HESPANHOL, Ivanildo; NETTO, Oscar de M. Cordeiro. *Gestão da Água no Brasil*. Brasília: **UNESCO**, 2ª Ed., 156 p., 2003.

TUNDISI, José Galizia; TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; SPILKI, Fernando Rosado; HESPANHOL, Ivanildo; CIRILO, José Almir; SCHEUENSTUHL, Marcos Cortesão Barnsley; PERIOTTO, Natalia Andricioli. El agua urbana em Brasil. In: UNESCO. *Desafíos del agua urbana em lãs Américas: perspectivas de las Academias de Ciencias*. IANAS e UNESCO: México, disponível em <<http://www.ianas.org/index.php/books>>; 640 p., 2015.

TURRAL, Hugh; BURKE, Jacob; FAURÈS, Jean-Marc. *Climate Change, Water and Food Security*. Rome: **Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO**, 200 p., 2011.

TURTON, A. R.; HATTINGH, J.; CLASSENS, M.; ROUX, D. J.; ASHTON, P. J. Towards a model for ecosystem governance: An integrated water resource

management example. In: TURTON, Anthony R.; HATTINGH, Hanlie J.; MAREE, Gillian A.; ROUX, Dirk J.; CLAASSEN, Marius; STRYDOM, Wilma F. (Orgs.). *Governance as a triologue: Government-Society-Science in transition*. Berlin: **Springer**, p. 395, p. 1-28, 2007.

UNFCCC (a). Five key takeaways from COP 27. Acesso em 25 de janeiro de 2023. Disponível em: https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/sharm-el-sheikh-climate-change-conference-november-2022/five-key-takeaways-from-cop27?gclid=EAlalQobChMI4aHguK_0_AIVEDWRCh19gwBCEAAAYAiAAEgJjifD_BwE

UNFCCC (b). COP27 Reaches Breakthrough Agreement on New “Loss and Damage” Fund for Vulnerable Countries. 20 de novembro de 2022. Acesso em 01 de fevereiro de 2023. Disponível em: <<https://unfccc.int/news/cop27-reaches-breakthrough-agreement-on-new-loss-and-damage-fund-for-vulnerable-countries>>

UNFCCC. *Climate change: impacts, vulnerabilities, and adaptation in developing countries*. United Nations Framework Convention on Climate Change. Bonn: UNFCCC, p. 68. 2007.

UNFCCC. Conference of the Parties (COP). **Paris Agreement**. Paris Climate Change Conference, 27 p., novembro, 2015.

VIEIRA, Valter Afonso. *Meta-Análise: metodologia, pesquisa e análise de dados*. Florianópolis: **Ed. da UFSC**, 111p., 2017.

VILLAR, Pilar Carolina. *Aquíferos transfronteiriços: governança das águas e o aquífero guarani*. Curitiba: **Juruá**, p. 288, 2015.

VILLAR, Pilar Carolina. *As águas subterrâneas e o direito à água em um contexto de crise*. *Ambiente e Sociedade*, XIX(1), p. 83-100, 2016.

VILLAR, Pilar Carolina. *Governança dos riscos e os aquíferos transfronteiriços*. São Paulo: **GEOUSP - Espaço e Tempo**, Nº 31 especial, pp. 93 - 107, 2012.

VRBA, J.; Zaporozec, A. *Guidebook on mapping groundwater vulnerability*. IAH. Heise. Hannover. **International Contrib. to Hydrogeology**. v.16, 1994. 131 p. ISBN 3-922705-97-9.

WANG, Wenke; ZHANG, Zaiyong; DUAN, Lei; WANG, Zhoufeng; ZHAO, Yaqian; ZHANG, Qian; DAI, Meiling; LIU, Huizhong; ZHENG, Xiaoyan e SUN, Yibo. *Response of the groundwater system in the Guanzhong Basin (central China) to climate change and human activities*. **Hydrogeology journal**, v.26, n.5, p. 1429-1441, 2018.

WOLKMER, Maria de Fátima; MELO, Milena Petters (orgs.). *Crise ambiental, direitos à água e sustentabilidade: visões multidisciplinares*. Caxias do Sul, RS: **Educs**, 189 p., 2012.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME (UNITED NATIONS). Water: A shared responsibility. UN-HABITAT, 2006.

World Water Council. WWC. 2nd World Water Forum, The Hague, March 2000: "*From Vision to Action*". Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century. Holanda, 2000. Disponível em <<
<https://www.worldwatercouncil.org/en/hague-2000> >> Acesso em: 06 de Set. de 2021.

WRATHALL, David J.; HOEK, Jamon Van Den; WALTERS, Alex; DEVENISH, Alan. Water stress and human migration: a global, georeferenced review of empirical research. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **Global water paternship**, 27 p., 2018.

WWAP. Water: A shared responsibility. The United Nations World Water Development Report 2. **World Water Assessment Programme**. p. 52, 2006.

YANG, Jin; CHEN, Bin. Energy–water nexus of wind power generation systems. **Applied Energy**, v. 169, p. 1-13, 2016.

YIHDEGO, Yohannes; WEBB, John A.; VAHEDDOOST, Babak. Highlighting the role of groundwater in lake–aquifer interaction to reduce vulnerability and enhance resilience to climate change. **Hydrology**, v. 4, n. 1, p. 10, 2017.

ZAGO, Nadir. Migração rural-urbana, juventude e ensino superior. **Revista Brasileira de Educação** v. 21 n. 64 Jan.-Mar., p. 61-78, 2016.

ZOBY, José L. G. Panorama da qualidade das águas subterrâneas no Brasil. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 11 a 14 de Nov. de 2008: Natal - RN 2008. Disponível em <
<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/2380/2/15867>>
Acesso em: 10 de Jan. de 2018.