



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



DANIEL BEN-HUR SILVA DE OLIVEIRA

**APRIMORAMENTO DA MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE
SEGURANÇA HÍDRICA NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO
REGIONAL SUSTENTÁVEL**

VITÓRIA

2024



DANIEL BEN-HUR SILVA DE OLIVEIRA

**APRIMORAMENTO DA MODELAGEM PARA AVALIAÇÃO DE
SEGURANÇA HÍDRICA NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO
REGIONAL SUSTENTÁVEL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental, na área de concentração de Recursos Hídricos.
Orientador: Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira.
Coorientador: Engº. Dr. Bruno Peterle Vaneli.

VITÓRIA

2024

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

O48a Oliveira, Daniel Ben-Hur Silva de, 1997-
Aprimoramento da modelagem para avaliação de segurança
hídrica no contexto do desenvolvimento regional sustentável /
Daniel Ben-Hur Silva de Oliveira. - 2024.
132 f. : il.

Orientador: Edmilson Costa Teixeira.
Coorientador: Bruno Peterle Vaneli.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) -
Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Inundações. 3.
Água. 4. Desenvolvimento sustentável. 5. Modelos
matemáticos. I. Teixeira, Edmilson Costa. II. Vaneli, Bruno
Peterle. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



Documento assinado digitalmente

EDMILSON COSTA TEIXEIRA

Data: 08/03/2024 16:04:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Documento assinado digitalmente

BRUNO PETERLE VANELI

Data: 08/03/2024 16:10:29-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira
Orientador - PPGEA/CT/UFES

Documento assinado digitalmente



DIOGO COSTA BUARQUE

Data: 08/03/2024 16:32:08-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Diogo Costa Buarque
Examinador Interno – PPGEA/CT/UFES

Documento assinado digitalmente



MOEMA VERSIANI ACSELRAD

Data: 08/03/2024 19:18:22-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Eng^a. Dr^a. Moema Versiani Acselrad
Examinadora Externa – Inea/SEAS-RJ

Engº. Dr. Bruno Peterle Vaneli
Coorientador – LABGEST/DEA/UFES

Documento assinado digitalmente



YVONILDE DANTAS PINTO MEDEIROS

Data: 08/03/2024 18:18:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros
Examinadora Interna – UFBA

Documento assinado digitalmente



DANIEL BEN HUR SILVA DE OLIVEIRA

Data: 05/04/2024 10:32:59-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Daniel Ben-Hur Silva de Oliveira
Mestrando

Vitória/ES, 08 de março de 2024



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Pai, Deus Filho e Deus Espírito Santo por ser meu mantenedor, minha salvação e minha inspiração. Sem Ele não haveria criação, nem ciência, nem propósitos, quanto menos alguém poderia criar um bom propósito em se fazer ciência.

Agradeço a minha esposa, Karen, pela ajuda em todos as áreas de minha vida.

Agradeço aos meus pais, por todo ensinamento dado.

Agradeço aos meu orientador e coorientador, pelo esforço e pela dedicação de ambos.

Agradeço a FAPES, pela bolsa que me permitiu desenvolver o trabalho de pesquisa no Neades/CPID.

Agradeço ao Labgest/UFES e ao Neades/CPID, pelas discussões desenvolvidas com os outros pesquisadores na área de gestão de recursos hídricos e segurança hídrica.

Agradeço ao PPGEA, pela oportunidade concedida para realizar esse mestrado.



UFES

RESUMO

A segurança hídrica é um conceito ainda em construção, porém amplo, multidimensional e influenciado por diversos fatores relacionados ao desenvolvimento sustentável, à gestão de recursos hídricos, à gestão de riscos e desastres e à securitização, temas que foram base para sua concepção. Mesmo assim, muitos modelos para avaliação da segurança hídrica têm se limitado a considerar apenas fatores relacionados à escassez hídrica em sua estrutura conceitual/analítica. A exemplo da referida limitação, no Brasil, o Índice de Segurança Hídrica (ISH) proposto pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) no Plano Nacional de Segurança Hídrica utiliza uma definição abrangente de segurança hídrica, mas foca em garantia de abastecimento e infraestruturas hídricas de reservação em sua metodologia. Para garantir a segurança hídrica e o desenvolvimento regional sustentável, é crucial que os tomadores de decisões compreendam os fatores envolvidos e utilizem modelos de avaliação. A implementação da segurança hídrica é um desafio significativo, mas aprimorar as abordagens de avaliação existentes é fundamental para torná-la uma realidade. Nesse contexto, este trabalho teve por objetivo aprimorar a modelagem para avaliação da segurança hídrica, no contexto do desenvolvimento regional sustentável, dando ênfase para o cenário brasileiro. Para isso, realizou-se uma revisão bibliográfica para identificar fatores com potencial para afetar a segurança hídrica e sua avaliação e compreender como ela é tratada no Brasil. Em seguida, utilizou-se o modelo ISH da ANA como base para propor um modelo ajustado, denominado $\text{ISH}_{\text{ajustado}}$, que modifica a dimensão resiliência do ISH, adicionando o Índice de Vulnerabilidade às Inundações (IVI) em sua composição. Além disso, utilizaram-se alguns dos fatores identificados nessa pesquisa, mas que não estavam presentes no $\text{ISH}_{\text{ajustado}}$, como indicadores qualitativos para complementar e entender as limitações do modelo. O $\text{ISH}_{\text{ajustado}}$ foi aplicado na Região Hidrográfica do Rio Jucu (RHJ), no estado do Espírito Santo, considerando um cenário tendencial para o ano de 2035. Com esse estudo, encontraram-se 129 fatores influentes sobre a segurança hídrica, os quais foram agrupados de três a três em 43 elementos e categorizados em cinco (05) dimensões da segurança hídrica. Na sequência, a análise do $\text{ISH}_{\text{ajustado}}$ mostrou que a inclusão do IVI, representando o fator “risco de inundações”, alterou os graus de segurança hídrica da RHJ, evidenciando áreas que passaram a apresentar menor segurança hídrica do que no ISH original, devido a sua maior vulnerabilidade a inundações. Esse resultado se mostra sensível ao contexto da segurança hídrica na RHJ e coerente com percepções locais. Com a análise dos demais fatores que não foram incorporados no $\text{ISH}_{\text{ajustado}}$, abordaram-se temas pertinentes à RHJ que qualificaram a análise da segurança hídrica na região, sendo que os mesmos temas são pontos de aprimoramento possíveis do modelo. Por fim, foram elencadas limitações e potencialidades do campo da modelagem de segurança hídrica, bem como as limitações e as potencialidades do modelo $\text{ISH}_{\text{ajustado}}$. Conclui-se que o aprimoramento realizado aponta



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



para a necessidade de modelos que abordem mais representativamente a segurança hídrica da forma como ela é conceituada, considerando seus diversos fatores intervenientes.

Palavras-Chave: Recursos Hídricos. Inundação. Índices. Rio Jucu. Desenvolvimento regional.



UFES

ABSTRACT

Water security is a concept that is still under construction, but it is broad, multidimensional and influenced by various factors related to sustainable development, water resource management, risk and disaster management and securitization, themes that were the basis for its conception. Even so, many models for assessing water security have been limited to considering only factors related to water scarcity in their conceptual/analytical framework. As an example of this limitation, in Brazil, the Water Security Index (ISH) proposed by the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA) in the National Water Security Plan uses a comprehensive definition of water security, but focuses on guaranteeing supply and reservoir water infrastructures in its methodology. To ensure water security and sustainable regional development, it is crucial that decision-makers understand the factors involved and use evaluation models. Implementing water security is a significant challenge, but improving existing evaluation approaches is key to making it a reality. In this context, the aim of this study was to improve modeling for assessing water security in the context of sustainable regional development, with an emphasis on the Brazilian scenario. To this end, a literature review was carried out to identify factors with the potential to affect water security and its assessment, and to understand how it is dealt with in Brazil. The ANA's ISH model was then used as a basis for proposing an adjusted model, called ISH_{adjusted}, which modifies the resilience dimension of the ISH, adding the Flood Vulnerability Index (IVI) to its composition. In addition, some of the factors identified in this research, but which were not present in the ISH_{adjusted}, were used as qualitative indicators to complement and understand the limitations of the model. ISH_{adjusted} was applied to the Jucu River Hydrographic Region (RHJ), in the state of Espírito Santo, considering a trend scenario for the year 2035. This study found 129 factors influencing water security, which were grouped three by three into 43 elements and categorized into five (05) dimensions of water security. Subsequently, the analysis of the ISH_{adjusted} showed that the inclusion of the IVI, representing the "risk of flooding" factor, altered the degrees of water security in the RHJ, highlighting areas that now have lower water security than in the original ISH, due to their greater vulnerability to flooding. This result is sensitive to the context of water security in the RHJ and consistent with local perceptions. With the analysis of the other factors that were not incorporated into the ISH_{adjusted}, issues pertinent to the RHJ were addressed that qualified the analysis of water security in the region, and the same issues are possible points for improvement in the model. Finally, the limitations and potential of the field of water security modeling were listed, as well as the limitations and potential of the ISH_{adjusted} model. The conclusion is that the improvements made point to the need for models that more representatively address water security as it is conceptualized, considering its various intervening factors.

Keywords: Water resources. Flooding. Indices. Jucu River. Regional development.



UFES

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 — Linha do tempo de alguns dos principais assuntos que levaram a formação do tema “segurança hídrica”, no Brasil e no mundo.	25
Figura 3.2 — Mapa da segurança hídrica do Brasil projetada para 2035 conforme o ISH	32
Figura 3.3 — Processo de construção do PNSH.....	34
Figura 4.1 — Região Hidrográfica do Rio Jucu (RHJ) e suas Unidades de Planejamento (UPs).....	49
Figura 5.1 — Número encontrado de publicações indexadas nas bases de dados SCOPUS e WEB OF SCIENCE, por ano, abordando o tema segurança hídrica.....	59
Figura 5.2 — Quantidade acumulada de publicações, por ano, com desenvolvimento de modelos de segurança hídrica aplicados no Brasil	63
Figura 5.3 — Elementos identificados para cada dimensão, onde foram segregados os fatores	66
Figura 5.4 — Graus de segurança hídrica na Região Hidrográfica do Rio Jucu	69
Figura 5.5 — Quantidade de desastres hidrológicos e meteorológicos (restringindo-se aos relacionados à tempestade) entre 2013 e 2023 registrados no S2ID pelos municípios onde a RHJ está inserida	73
Figura 5.6 — Relação para 2035 entre população em risco (em número total de habitantes e em percentual da população urbana) e percentual de cobertura de rede, por município..	75
Figura 5.7 — Valor total da produção em risco associado aos setores econômicos para 2035 (em milhões de R\$).....	80
Figura 5.8 — Porcentagem da produção total em risco associado aos setores econômicos para 2035	80



UFES

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 — Definições basilares para segurança hídrica.	23
Quadro 3.2 — Características dos tipos de modelos de sustentabilidade conforme classificação de Kammerbauer (2001)	28
Quadro 3.3 — Características dos tipos de modelos de segurança hídrica conforme classificação de Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021)	29
Quadro 3.4 — Função no PNSH das dimensões do modelo ISH original da ANA	33
Quadro 4.1 — Chave de busca, ou “strings”, utilizada para revisão sistemática a nível internacional, a partir dos bancos de dados Web of Science e Scopus	36
Quadro 4.2 — Chave de busca, ou “strings”, utilizada para revisão sistemática a nível de Brasil, a partir dos bancos de dados Web of Science e Scopus.....	37
Quadro 5.1 — Potencialidades e Limitações do ISHajustado	87
Quadro 5.2 — Potencialidades e Limitações para a modelagem de segurança hídrica.....	87



UFES

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 — Classes do ISH	33
Tabela 4.1 — Dimensões e indicadores do ISH _{ajustado}	46
Tabela 4.2 — Reclassificação do IVI para graus de segurança hídrica do ISH _{ajustado}	47
Tabela 5.1 — Palavras-chave mais utilizadas pelos autores e Keyword-Plus identificadas pela base Web of Science na revisão do contexto brasileiro.....	58
Tabela 5.2 — Quantidade de publicações e dimensões abordadas por tipo de modelo aplicado no Brasil.....	62
Tabela 5.3 — Percentual de área das UPs da RHJ por grau de segurança hídrica, considerando a aplicação do ISH (anos 2017 e 2035) e do ISH _{ajustado} (ano 2035).....	70
Tabela 5.4 — Porcentagem da área da RHJ por grau do ISH _{ajustado} (ano 2035) na subdimensão Resiliência às Inundações	72
Tabela 5.5 — Classe (1-5) do Índice de Segurança Hídrica dos municípios que contém a RHJ para projeção de 2035 associado à sua população urbana.....	75
Tabela 5.6 — Classes (1-5) do Índice de Segurança Hídrica do município associado aos setores econômicos	81
Tabela 5.7 — Sumário de vazão remanescente nos trechos de curso d'água e sua correspondente classe (1-5) para o indicador no Índice de Segurança Hídrica	83
Tabela 5.8 — Sumário de concentrações de DBO5,20 nos trechos de curso d'água por classe (1-5) correspondente desse indicador no Índice de Segurança Hídrica.....	84



UFES

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGERH	Agência Estadual de Recursos Hídricos
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
BHO	Base Hidrográfica Ottocodificada
CESAN	Companhia Espírito-santense de Saneamento
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
COBRADE	Codificação e Classificação Brasileira de Desastres
CPID	Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento do ES
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DRSAI	Doença Relacionada ao Saneamento Ambiental Inadequado
ES	Espírito Santo
FOFA (ou SWOT)	Forças-Fraquezas-Oportunidades-Ameaças, em inglês Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats
GIRH (ou IWRM)	Gestão Integrada de Recursos Hídricos, em inglês Integrated Water Resources Management
ISH	Índice de Segurança Hídrica
ISH-U	Índice de Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano
ISHajustado	Índice de Segurança Hídrica Ajustado
IVI	Índice de Vulnerabilidade à Inundação
Labgest/UFES	Laboratório de Gestão de Recursos Hídricos e Desenvolvimento Regional
MG	Minas Gerais
NEADES	Núcleo Estratégico em Água e Desenvolvimento



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



ODM	Objetivos de Desenvolvimento do Milênio
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PNSH	Plano Nacional de Segurança Hídrica
PSM	Método para estruturação de problema, em inglês Problem Structuring Method
RHJ	Região Hidrográfica do Rio Jucu
RHSMV	Região Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória
RMGV	Região Metropolitana da Grande Vitória
S2ID	Sistema Integrado de Informações sobre Desastres
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIN Jucu	Sistema Integrado do Jucu
SINGREH	Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos
UP	Unidade de Planejamento



UFES

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	20
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
3.1. OS CONCEITOS DE “SEGURANÇA HÍDRICA” E “DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL”	21
3.2. AVALIAÇÕES E MODELAGENS PARA A SEGURANÇA HÍDRICA	25
3.3. DEFINIÇÕES DE SEGURANÇA HÍDRICA NO CONTEXTO BRASILEIRO	30
3.4. O ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA DA ANA	31
4. METODOLOGIA.....	35
4.1. IDENTIFICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES RELEVANTES PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA	35
4.1.1. <i>Revisão de palavras-chave ligadas à "segurança hídrica" em artigos e revisões conceituais internacionalmente</i>	35
4.1.2. <i>Revisão sistemática sobre o conceito de "segurança hídrica" no Brasil</i>	36
4.1.3. <i>Sistematização de modelos para avaliação da segurança hídrica no contexto brasileiro</i>	38
4.1.4. <i>Sistematização de fatores relacionados à segurança hídrica.....</i>	40
4.2. ESTABELECIMENTO DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA COM POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	42
4.2.1. <i>Seleção do modelo base para avaliação de segurança hídrica.....</i>	43
4.2.2. <i>Aprimoramento do modelo de segurança hídrica selecionado.</i>	44
4.2.2.1. Desenvolvimento do novo modelo	44
4.2.2.2. Seleção e caracterização da área de estudo	47
4.2.2.3. Aplicação do modelo aprimorado na área de estudo	52
4.2.2.4. Comparação do modelo aprimorado com modelo original e com outros estudos locais	53



UFES

4.3. APONTAMENTO DE LIMITAÇÕES E POTENCIALIDADES PARA A OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO ESTABELECIDO E PARA O APRIMORAMENTO DA MODELAGEM DE SEGURANÇA HÍDRICA	54
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
5.1. IDENTIFICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES RELEVANTES PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA.....	56
5.1.1. <i>Revisão sistemática sobre "segurança hídrica" em artigos e revisões conceituais no mundo</i>	56
5.1.2. <i>Revisão sistemática sobre o conceito de "segurança hídrica" no Brasil</i>	58
5.1.3. <i>Sistematização de modelos para avaliação da segurança hídrica no contexto brasileiro</i>	61
5.1.4. <i>Sistematização e seleção de fatores relacionados à segurança hídrica.....</i>	64
5.2. ESTABELECIMENTO DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA COM POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	67
5.2.1. <i>Análise das dimensões do ISH_{ajustado}.....</i>	67
5.2.1.1. Dimensão resiliência.....	71
5.2.1.2. Dimensão humana	74
5.2.1.3. Dimensão econômica.....	77
5.2.1.4. Dimensão ecossistêmica	81
5.2.2. <i>Avaliação comparativa entre o ISH_{ajustado} e o ISH original.....</i>	84
5.3. APONTAMENTO DE LIMITAÇÕES E POTENCIALIDADES PARA A OPERACIONALIZAÇÃO DO ISH _{AJUSTADO} E PARA O APRIMORAMENTO DA MODELAGEM DE SEGURANÇA HÍDRICA	86
5.3.1. <i>Apontamento de limitações e potencialidades relacionadas ao modelo aprimorado</i>	88
5.3.2. <i>Apontamento de limitações e potencialidades para aprimoramento da modelagem de segurança hídrica</i>	89
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	92
6.1. CONCLUSÕES.....	92
6.2. RECOMENDAÇÕES	94



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



REFERÊNCIAS.....95

APÊNDICE A- MODELOS APLICADOS OU DESENVOLVIDOS NO BRASIL.....112

APÊNDICE B- TERMOS RELACIONADOS À SEGURANÇA HÍDRICA.....115

APÊNDICE C – FATORES INTERVENIENTES NA SEGURANÇA HÍDRICA123



UFES

1. INTRODUÇÃO

Em meio às discussões iniciadas nas décadas de 60 a 90 a respeito dos recursos hídricos, desenvolvimento sustentável, gestão de riscos de desastres, segurança energética e segurança alimentar, surge o termo segurança hídrica, ganhando destaque a partir dos anos 2000, com a declaração de Haia (WWC, 2000). Uma das definições para segurança hídrica mais utilizadas é a elaborada pela Organização das Nações Unidas (ONU):

A capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade aceitável para sustentar a subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, para garantir proteção contra a poluição causada à água e desastres relacionados à água e para preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política (UN-WATER, 2013, p. 1, tradução nossa).

No entanto, muitas outras definições têm surgido para esse conceito, mas sem acordo entre elas. Allan, Kenway e Head (2018), por exemplo, encontraram 25 definições originais de segurança hídrica na literatura científica entre 1980 e 2016, e analisando-as perceberam que ainda não havia uma convergência entre os temas abordados nelas. De certa forma, o termo “segurança hídrica” tem sido utilizado como um guarda-chuva para cobrir vários dos problemas relacionados à água que não tiveram solução até então, como: escassez hídrica; gestão de inundações; acesso ao abastecimento de água; poluição hídrica; uso sustentável dos recursos hídricos; governança da água; entre outros (GERLAK et al., 2018; ALLAN; KENWAY; HEAD, 2018; HOEKSTRA; BUURMAN; VAN GINKEL, 2018).

Inicialmente, a segurança hídrica despontou entre os governos como um tema de segurança nacional (OCTAVIANTI, 2020). Com o passar do tempo, organizações mundiais — como a Organização das Nações Unidas (UN-WATER, 2013), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2013), a Associação Mundial para a Água (GWP, 2000) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) — vieram incentivando as nações a tratarem-na como uma rota necessária para chegar-se à segurança do globo, em termos de alinhamento aos princípios do desenvolvimento sustentável. De fato, a segurança hídrica é abordada na literatura científica como um fator limitante para o desenvolvimento regional sustentável e para o cumprimento da Agenda 2030, especialmente dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (WANG et al., 2022; MARCAL;



UFES

ANTIZAR-LADISLAO; HOFMAN, 2021; LI; SU; WEY, 2019; HARMANCIOLU, 2017).

Esses são alguns dos motivos pelos quais alcançar a segurança hídrica é a meta de muitas políticas em diversos países (GERLAK *et al.*, 2018; TAYLOR, 2021; ANA, 2019c).

Contudo, a urgênciaposta sobre os governos em relação ao tema faz com que alguns deles arranquem em direção às aplicações práticas e políticas antes de um devido embasamento científico do próprio conceito e dos modelos desenvolvidos para seus contextos regionais¹. No Brasil, por exemplo, até 2014 com poucos debates científicos sobre segurança hídrica originados no país, o assunto tomou a frente em discussões no campo político-institucional especialmente devido à crise hídrica ocorrida no sudeste brasileiro a partir do referido ano (EMPINOTTI *et al.*, 2019). Isso culminou na construção do Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNSH) pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), e no estabelecimento de um modelo base para avaliação da segurança hídrica denominado Índice de Segurança Hídrica (ISH) (ANA, 2019c; DE MELO; JOHNSSON, 2017). Todavia, tal índice foi elaborado no ambiente técnico, e não foi derivado de discussão científica pública. Outro caso conhecido é o da Austrália, onde a recorrente escassez hídrica gerou políticas em muitas instâncias de governo, porém cada uma tratando o conceito diferentemente, apontando mais uma vez a falta de consenso entre gestores e a importância de se considerar o contexto regional (TAYLOR, 2021; GERLAK *et al.*, 2018). Assim, pela necessidade dos governos em lidar tanto com os problemas de quantidade e qualidade dos recursos hídricos frente às demandas sociais, econômicas e ambientais, quanto com os desastres relacionados à água, torna-se fundamental o estabelecimento de modelos analíticos embasados científicamente que permitam a avaliação da segurança hídrica para cada contexto regional.

Logo, percebe-se que, para os tomadores de decisões em cada instância governamental atuarem com maior embasamento técnico-científico quanto à busca pela segurança hídrica e pelo desenvolvimento regional sustentável, é necessário existirem modelos analíticos para avaliação desses temas. Bastante esforço tem sido realizado para desenvolver a modelagem da segurança hídrica. Por exemplo, Octavianti e Staddon (2021) encontraram 80 instrumentos de avaliação

¹ O termo “regional” possui grande abrangência, podendo se referir à um país ou conjunto deles (quando visto na escala global), quanto à uma bacia hidrográfica ou um conjunto de municípios. Assim, com esse termo pode-se apontar que, com escala mais detalhada, a segurança hídrica e o desenvolvimento sustentável terão seus próprios desafios.



UFES

de segurança hídrica distintos entre si (o que será denominado na presente pesquisa como “modelos únicos”), todavia observa-se que muitos dos modelos (e das definições) existentes focam apenas em alguns fatores² específicos como intervenientes na segurança hídrica, em sua maior parte em fatores relacionados à escassez de água (OCTAVIANTI; STADDON, 2021; MARCAL; ANTIZAR-LADISLAO; HOFMAN, 2021; GERLAK *et al.*, 2018; ALLAN; KENWAY; HEAD, 2018). Enquanto fatores relacionados à ocorrência de inundação, por exemplo, são pouco incorporados nos modelos existentes (OCTAVIANTI, 2020), mesmo sendo ela o desastre natural mais frequente no mundo (CRED, 2023).

Além disso, os fatores considerados por esses modelos para avaliação da segurança hídrica variam bastante conforme a escala espacial e ao contexto de aplicação (GERLAK *et al.*, 2018). A necessidade de ser flexível quanto ao conceito de segurança hídrica e de construir suas avaliações, considerando seu caráter dinâmico e multifacetado, já tem sido consenso no meio científico (MARCAL; ANTIZAR-LADISLAO; HOFMAN, 2021; TAYLOR, 2021; GERLAK *et al.*, 2018; ALLAN; KENWAY; HEAD, 2018). Portanto, uma compreensão abrangente desses fatores intervenientes na segurança hídrica é algo cientificamente útil, e torna-se um auxílio para na aplicação prática poder-se trabalhar com os fatores mais importantes para cada situação.

Por si mesma, a implementação da segurança hídrica é um grande desafio — talvez o principal —, mas para que ela seja uma possibilidade real, é necessário haver o aprimoramento das abordagens até agora utilizadas para sua avaliação. No contexto desse aprimoramento, algumas questões importantes se levantam: como incorporar fatores relevantes para a avaliação da segurança hídrica em uma dada região e contexto de análise? Como a segurança hídrica pode ser avaliada e discutida no contexto do desenvolvimento regional sustentável? Visto que muitos locais do mundo possuem poucos dados monitorados que poderiam compor a análise de segurança hídrica, e que muitos fatores importantes nas avaliações ainda podem estar passando despercebidos, logo, tais desafios requerem um detalhamento, quanto a limitações e

² Fatores são os elementos que podem condicionar uma situação, tornando-se a causa da evolução ou transformação dos fatos. São as partes que compõem um todo.



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



potencialidades na análise de segurança hídrica. Esse detalhamento pode auxiliar no aprimoramento da modelagem da segurança hídrica.

Em suma, constata-se que os campos teórico e prático da modelagem de segurança hídrica carecem de aperfeiçoamento. Isso envolve a necessidade de pesquisas e aplicações que lidam com as diferentes definições e escalas de análise, compreendam as limitações das aplicações regionais e discutam fatores a serem considerados em cada contexto. Neste contexto, foram definidos os objetivos do presente trabalho.



UFES

2. OBJETIVOS

O trabalho desenvolvido teve como objetivo geral:

- Aprimorar a modelagem para avaliação de segurança hídrica, no contexto do desenvolvimento regional sustentável.

Os objetivos específicos que o acompanham foram:

- 1) Identificar e sistematizar fatores relevantes para avaliação da segurança hídrica.
- 2) Estabelecer modelo para avaliação de segurança hídrica com potencial de aplicação no contexto do desenvolvimento sustentável.
- 3) Apontar limitações e potencialidades para a operacionalização do modelo estabelecido e para o aprimoramento da modelagem de segurança hídrica.



UFES

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. OS CONCEITOS DE “SEGURANÇA HÍDRICA” E “DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL”

As discussões no tema “desenvolvimento sustentável” iniciaram-se devido a uma busca por equilibrar as demandas surgidas nas décadas de 1960 e 1970 de promoção da segurança alimentar e segurança energética, com as demandas no campo da sustentabilidade ambiental e econômica. Seu marco histórico foi o Relatório Nossa Futura Comum, também conhecido como Relatório de Brundtland, elaborado pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento em 1987. Esse estabeleceu sua definição mais amplamente aceita, sendo ela “[...] o desenvolvimento que visa satisfazer as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfaçarem as suas próprias necessidades” (WCED, 1987).

Desde então, muitas agendas têm sido firmadas globalmente no tema. Alguns dos maiores destaques estão para os dois acordos para o desenvolvimento firmados na Organização das Nações Unidas (ONU). O primeiro foi a criação de oito Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) a serem alcançados pelos 189 Estados Membros da ONU de 2000 a 2015³. Com a realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável — ou Rio + 20 — no Brasil, em 2012, os Estados Membros iniciaram a formulação de um conjunto de Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)⁴. Os 17 ODS firmados possuem metas que se estendem de 2015 a 2030⁵.

Durante esse processo, na virada para os anos 2000, surgiu o termo “segurança hídrica” como uma sintetização das discussões a respeito de recursos hídricos no século XX, especialmente das décadas de 1980 e 1990, respectivamente, a Década Internacional da Água Potável e Saneamento e a Década Internacional para Redução de Desastres Naturais (HARMANCIOGLU, 2017). Em uma análise das primeiras definições de segurança hídrica, Octavianti (2020) destaca o medo do futuro incerto causado por desastres relacionados à água (como escassez ou inundações) como um dos motivos geradores do tema. O marco histórico de utilização do termo foi na Declaração Ministerial sobre Segurança da Água no Século XXI,

³ <https://www.un.org/millenniumgoals/>

⁴ <https://sustainabledevelopment.un.org/rio20.html>

⁵ <https://sdgs.un.org/goals>



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



do World Water Council (WWC), em 2000, também conhecida como Declaração de Haia (WWC, 2000; HOEKSTRA; BUURMAN; VAN GINKEL, 2018). Desde então, organizações mundiais como a Organização das Nações Unidas (UN-WATER, 2013), a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE, 2013), a Global Water Partnership (GWP, 2000) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022) incentivam os países a tratarem a segurança hídrica como prioridade em seus planejamentos, a fim de que se alcancem um desenvolvimento sustentável.

Allan, Kenway e Head (2018) apontam três definições basilares para segurança hídrica: a da Global Water Partnership (GWP, 2000), a de Grey e Sadoff (2007) e a da UN-Water (2013) (Quadro 3.1). A GWP (2000) focou em garantir água potável para todas as pessoas viverem saudável e produtivamente, além de garantir proteção e melhora para o ambiente natural. Grey e Sadoff (2007), além de trazerem os fatores de quantidade e qualidade — para a subsistência, produção e ecossistema — foram alguns dos primeiros a acrescentar um fator relacionado aos riscos de desastres na definição de segurança hídrica. Assim, Grey e Sadoff (2007) já indicavam em sua definição de segurança hídrica que ela poderia ser dividida em duas partes: uma voltada à capacidade da água de produção e crescimento (ou desenvolvimento sustentável); outra voltada à sua capacidade de destruição (de onde vem a necessidade de cuidado com desastres). Já em 2013, incentivada pela década de combate às mudanças climáticas, pela Rio+20 e pela iminente elaboração dos ODS, a UN-Water⁶ elaborou sua definição. Nela incorporaram-se fatores de bem-estar humano, desenvolvimento econômico, preservação ecossistêmica, e explicitamente a proteção contra poluição e desastres, além de alguns fatores ainda pouco estudados como clima de paz e estabilidade política.

⁶ A UN-Water coordena os esforços de entidades da ONU e organizações internacionais trabalhando em questões de água e saneamento.



UFES

Quadro 3.1 — Definições basilares para segurança hídrica.

GWP (2000, p. 1)	Grey e Sadoff (2007, p. 545)	ONU-WATER (2013, p. 1)
<p>Segurança hídrica, em qualquer nível, desde o doméstico até o global, significa que todas as pessoas têm acesso garantido à água potável suficiente a um custo acessível para levar uma vida limpa, saudável e produtiva, ao mesmo tempo que o ambiente natural é protegido e melhorado.</p>	<p>A segurança hídrica é a disponibilidade de uma quantidade e qualidade aceitáveis de água para a saúde, meios de subsistência, ecossistemas e produção, com um nível aceitável de riscos relacionados à água para as pessoas, ambientes e economias.</p>	<p>A capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade aceitável para sustentar a subsistência, o bem-estar humano e o desenvolvimento socioeconômico, para garantir proteção contra a poluição causada à água e desastres relacionados à água e para preservar os ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política.</p>

Fonte: Adaptado de Allan, Kenway e Head (2018, tradução nossa).

Harmancioglu (2017) apontou que a água é um dos assuntos mais abordados ao se tratar de desenvolvimento sustentável em âmbito global. Para ele, desde os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), a relação com a água já estava presente, em particular nos objetivos 7º e 8º, relacionados à gestão ambiental sustentável. O autor também destacou que a própria agenda de sustentabilidade pós 2015 — que marcava o fim da década “água para a vida” e o fim dos ODM — foi uma das responsáveis por demandar definições para segurança hídrica, e que daí surgiu a definição dada pela UN-Water (2013). Percebe-se que em cenários de insegurança hídrica, objetivos inteiros do desenvolvimento sustentável, como o ODS 6 (água potável e saneamento) e 12 (vida na água) estariam comprometidos. Olhando para as escalas regionais, as restrições de capital natural e humano são centrais para garantir o desenvolvimento regional sustentável (WANG *et al.*, 2022; LI; SU; WEY, 2019; GENNAIOLI *et al.*, 2012). Assim, pode-se afirmar que a falta de recursos hídricos e de conhecimento para lidar com a segurança hídrica são fatores limitantes significativos para o desenvolvimento regional (e global) sustentável (LI; SU; WEY, 2019).

Para diversos autores, a solução para a insegurança hídrica não é puramente tecnológica, mas questão de gestão, e assim tomam a Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH, em inglês *Integrated Water Resources Management*, IWRM) como a solução para garantir a segurança hídrica (HARMANCIOLU, 2017; GWP, 2000), mesmo parecer da Declaração de Haia (WWC, 2000). A descoberta de outros autores também pode apoiar essa opinião, como o

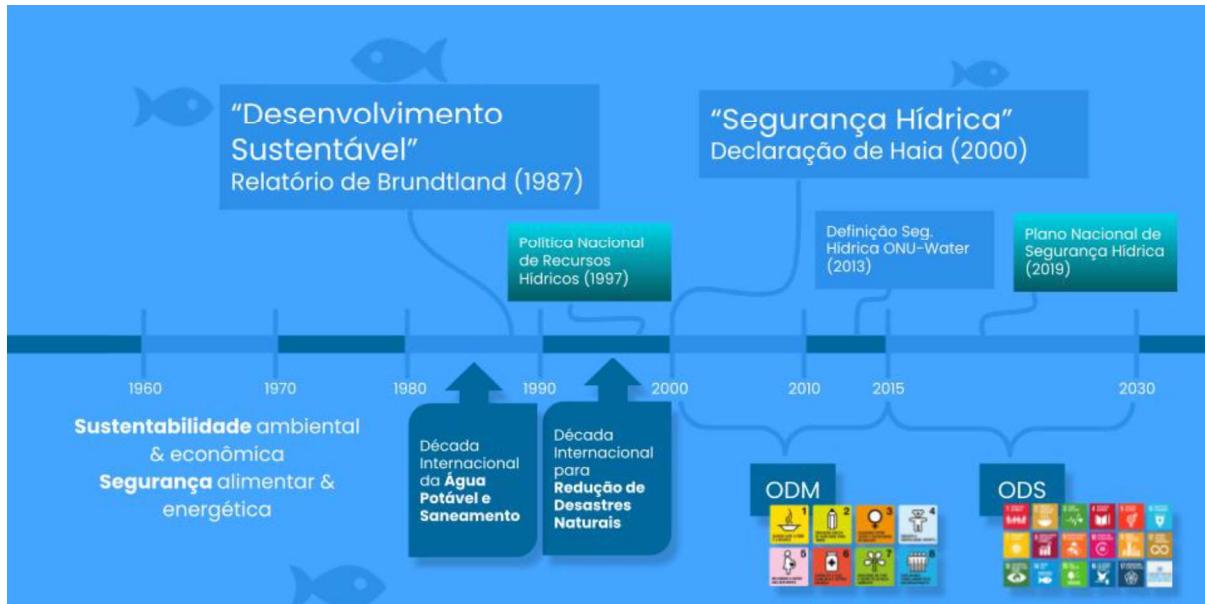


UFES

trabalho de Olawumi e Chan (2018), que encontraram “gerenciamento de água” como um dos campos de pesquisa globalmente emergentes nos temas “sustentabilidade” e “desenvolvimento sustentável”. Nota-se que a gestão integrada da água, bem como outras abordagens de gestão integrada como a do solo e a de resíduos fomentadas na década de 1990, criaram um ambiente de aceitação para a integração entre sistemas ambientais (ROIDT; AVELLÁN, 2019). Assim, da perspectiva de que a sustentabilidade não pode ser alcançada através dos esforços de um único setor, surgem as abordagens *nexus* de segurança hídrica-energética-alimentar, ou Nexo água-energia-alimento, como uma ferramenta promissora para chegar-se ao desenvolvimento sustentável (WANG *et al.*, 2022; PAHL-WOSTL, 2019; ROIDT; AVELLÁN, 2019; ABOELNGA *et al.*, 2018; WEF, 2011). Como afirmam Roidt e Avellán (2019), as abordagens Nexo são semelhantes às de Gestão Integrada, com a adição de claramente querer abordar aspectos de governança e política. Além disso, entre os seus principais objetivos estão: alcançar segurança hídrica, energética e alimentar; e apoiar o Desenvolvimento Sustentável e seus objetivos (os ODS) (ROIDT; AVELLÁN, 2019). Sendo a GIRH e o *nexus* duas das abordagens mais destacadas quando se trata de promover a segurança hídrica no contexto do desenvolvimento sustentável, podem ambas serem consideradas em estudos que visem uma avaliação ou aplicação da segurança hídrica.

A Figura 3.1 apresenta um resumo da discussão realizada nessa seção, por meio de um diagrama de linha do tempo que representa alguns dos acontecimentos marcantes para o tema da segurança hídrica. A Figura 3.1 também inclui alguns acontecimentos importantes para o campo da segurança hídrica no Brasil (especialmente, o estabelecimento da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Plano Nacional de Segurança Hídrica).

Figura 3.1 — Linha do tempo de alguns dos principais assuntos que levaram à formação do tema “segurança hídrica”, no Brasil e no mundo.



Fonte: o autor.

3.2. AVALIAÇÕES E MODELAGENS PARA A SEGURANÇA HÍDRICA

Uma percepção comum entre pesquisadores é que o termo segurança hídrica e outros correlacionados — como desenvolvimento sustentável e sustentabilidade; segurança alimentar e segurança energética; e nexo — ainda não possuem definições completamente consolidadas (PAHL-WOSTL, 2019; ALLAN; KENWAY; HEAD, 2018; FEIL; SCHREIBER, 2017; SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014). Aplicando-se o que disse Cherp e Jewell (2014) sobre a segurança energética aos demais termos, eles “significam coisas diferentes em situações diferentes e para pessoas diferentes”. Isso pode estar mostrando tanto uma ampla assimilação a respeito desses diferentes termos, quanto uma possível controvérsia na utilização e definição desses conceitos (PAHL-WOSTL, 2019). Allan, Kenway e Head (2018) e Gerlak e outros (2018) trazem que a variedade de definições aponta para a necessidade de tratar de segurança hídrica conforme o contexto local, em uma adoção ou elaboração tanto de definições quanto de modelos participativamente com as partes interessadas (*stakeholders*). Todavia, uma consequência dessa ambiguidade entre definições é a falta de consenso nos passos para criação de indicadores (TANGUAY; RAJAONSON; LANOIE, 2010; SARTORI; LATRÔNICO; CAMPOS, 2014; PAHL-WOSTL, 2019) ou outras formas de avaliação. Assim, ao se tratar da modelagem de segurança hídrica, a falta de convergência entre definições e a diversidade delas prejudica sua análise quali-quantitativa e sua aplicação prática.



UFES

A partir de estudos como os de Octavianti e Staddon (2021) e Gerlak e outros (2018) — que analisaram modelos e definições de segurança hídrica — percebe-se que apesar da amplitude de dimensões abordadas nas definições de segurança hídrica, a maioria dos modelos concentra-se em incorporar fatores específicos em sua estrutura. Temas relacionados ao suprimento e à qualidade de água são os mais comuns de serem incorporados nos modelos, enquanto fatores como inundação, paz, estabilidade política e mudanças climáticas são pouco incorporados (OCTAVIANTI, 2020; OCTAVIANTI; STADDON, 2021; GERLAK *et al.*, 2018; GRAFTON, 2017).

Um dos impasses com o qual o desenvolvimento socioeconômico — e consequentemente o desenvolvimento sustentável — se depara é que sua estabilidade requerida é contrária à “[...] inerente dinâmica dos recursos hídricos [...]” (SPALIVIERO *et al.*, 2001, p. 738, *tradução nossa*). A situação ainda se agrava com a ocorrência de desastres relacionados à água —um dos aspectos presentes na definição de segurança hídrica da UN-Water (2013) —, pois estes têm potencial de mudar padrões e localizações afetando assim o desenvolvimento sustentável de regiões (VANELI *et al.*, 2022; DE OLIVEIRA, 2021; LONDE *et al.*, 2014; SPALIVIERO *et al.*, 2011). Portanto, em termos econômicos, desastres quebram as noções de estabilidade; já em termos socioambientais, podem gerar impactos crônicos sentidos durante anos (VANELI *et al.*, 2022, DE OLIVEIRA, 2021; KOSSOFF *et al.*, 2014), afetando “presentes e futuras gerações” — aspecto comum nas definições de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade (FEIL, SCHREIBER, 2017).

Particularmente, as inundações são os desastres naturais mais frequentes do mundo (CRED, 2023), com tendência de crescimento devido às mudanças climáticas (IPCC, 2023). Alguns de seus impactos estão em prejudicar a subsistência (MUCHERERA; SPIEGEL, 2022) e o bem-estar humano (MURATA *et al.*, 2023), a qualidade das águas (MISHRA; ALNAHIT; CAMPBELL, 2021; OCTAVIANTI, 2020) e o desenvolvimento socioeconômico (KRICHENE *et al.*, 2021; ZENG *et al.*, 2019); todos esses sendo assuntos presentes na supracitada definição da UN-Water (2013), assim como nela está presente a necessidade de proteção contra desastres relacionados à água. Entretanto, a pesquisa feita por Octavianti (2020) demonstra que as inundações são pouco incorporadas nas modelagens de segurança hídrica. Um dos motivos apontados por essa pesquisadora é que os especialistas no campo da modelagem de inundações trabalham em um nicho de pesquisa bem mais consolidado e



UFES

desenvolvido do que o da segurança hídrica. Deste modo, esses especialistas tendem a não considerar interessante a junção dos dois temas e adição do termo segurança hídrica nas palavras-chave de suas publicações. Dessa forma, crises de escassez hídrica acabam sendo um dos principais catalisadores da construção de modelos e inserção da segurança hídrica na pauta governamental (OCTAVIANTI, 2020).

Autores como van Ginkel e outros (2018), Babel e outros (2020) e Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021) elencaram listas de fatores que influenciam a segurança hídrica, podendo ter seus indicadores adaptados conforme o contexto. Todavia, Gerlak e outros (2018) lembram que o contexto pode muitas vezes ser sacrificado em modelos de segurança hídrica que pretendam ser de abordagem universal. Em consequência, a escala de análise da segurança hídrica também se torna um aspecto a ser estudado. Essa importância é abordada por pesquisadores como Doeffinger e Hall (2021) e Mohammadpour e outros (2019), que trataram dos desafios de se utilizar modelos de segurança hídrica e das abordagens Nexo para diferentes escalas espaciais nos Estados Unidos da América e em países da América Latina, respectivamente. Gerlak e outros (2018) perceberam que os fatores mais incorporados na modelagem de segurança hídrica alteram-se a depender da escala utilizada. Portanto, não necessariamente um modelo exaustivo na abordagem de fatores relacionados à segurança hídrica seja o melhor para todos os casos. Mesmo assim, para o campo científico, faz-se necessário compreender quais são todos esses fatores mais relevantes, para na aplicação prática poder-se trabalhar com os mais importantes do contexto.

Quanto aos tipos de modelos para avaliação de segurança hídrica, percebe-se que eles descendem das técnicas utilizadas para medição de sustentabilidade. Portanto, assim como nos modelos de sustentabilidade presentes na literatura, eles variam em forma e conteúdo, sendo influenciados pela escola de sustentabilidade e pelas características de seu marco metodológico. Kammerbauer (2001) dividiu os marcos metodológicos da sustentabilidade em geral entre três abordagens paradigmáticas da sustentabilidade, indicadores e implicações, sendo eles os modelos: analíticos; sistêmicos; e normativos. No Quadro 3.2 são apresentados com mais detalhes a classificação de Kammerbauer (2001). Mais recentemente, Li, Su e Wey (2019) classificaram os modelos de segurança hídrica existentes entre os métodos de: gerenciamento/tomada de decisão com base em risco; dinâmica do sistema; pegada de água azul e verde; pressão-estado-resposta (PSR); indicador; avaliação integrada; capacidade de

carga; vulnerabilidade. Octavianti e Staddon (2021), de forma mais sucinta e utilizando-se de técnicas de análise de clusters, consideraram que os modelos de segurança hídrica podem ser segregados entre os modelos baseados em escala experimental e modelos baseados em recursos. Posteriormente, baseando-se nesses dois últimos estudos, Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021) classificaram os modelos entre: baseado em pesquisas/experiências; baseado em risco; dinâmica de sistemas; pegada hídrica azul e verde; Pressão-Estado-Resposta (PSR) / Indutor-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (DPSIR); sistema de indicadores/índice; método de avaliação integrado. No Quadro 3.3 são apresentados os tipos de modelos conforme Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021), bem como os processos de pesquisa e limitações para cada tipo das classes correspondentes seguindo descrição de Li, Su e Wey (2019). Comparando-se os exemplos de modelos de sustentabilidade no Quadro 3.2 com os tipos de modelo de segurança hídrica no Quadro 3.3, percebe-se a influência do primeiro no segundo, inclusive na sua nomenclatura, apontando a relação intrínseca entre os dois temas.

Quadro 3.2 — Características dos tipos de modelos de sustentabilidade conforme classificação de Kammerbauer (2001)

Categoria	Modelos Analíticos	Modelos sistêmicos	Modelos normativos
Paradigma	Tradição científica das ciências naturais, do positivismo e da economia neoclássica.	Visão holística de uma ecologia fundamental, da política e da economia ecológica.	Visão multidimensional considerando os aspectos ecológicos, econômicos e sociais.
Pressupostos	Suposição da capacidade racional humana de entender os fenômenos naturais em sua totalidade.	Aceitação de limites neurofisiológicos da percepção humana sobre a totalidade.	Interpretação heurística das dimensões e definições de objetivos.
Situação de utilização	Situação de risco.	Situação de incerteza.	Situações de complexidade.
Exemplos de modelos	Indicadores de causa-estado-efeito-resposta. Exemplos: Taxa de desmatamento por ano; Quantidade e qualidade de água em uma bacia; Número de espécies em extinção.	Indicadores sistêmicos de aspectos fundamentais. Exemplo: Pegada ecológica; Intensidade de uso de materiais por serviço; Índices globais de impactos ambientais.	Indicadores de causa-estado-efeito-resposta e sistêmicos. Exemplos: Como nos modelos analíticos e sistêmicos; Índices com ponderação; Gráficos de teia.
Praticidade	Prático, apropriado para sistema de monitoramento local, regional e global.	Pouco prático, apropriado para o estudo científico.	Prático, apropriado para os afetados e interessados ("stakeholders").
Princípios fundamentais	Princípio de manejo racional dos recursos naturais e ambientais.	Princípio de precaução no manejo dos recursos naturais e ambientais.	Princípio de consenso para uma maior sustentabilidade em suas dimensões.

Fonte: Adaptado de Kammerbauer (2001).



UFES

Quadro 3.3 — Características dos tipos de modelos de segurança hídrica conforme classificação de Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021)

Tipos de modelos ¹	Processo de pesquisa ²	Limitações de pesquisa ²
BASEADO EM PESQUISAS/EXPERIÊNCIAS Análise quantitativa e/ou qualitativa de entrevistas, levantamentos e estudos de caso	Investigação formativa; Selecionar indicadores; Desenvolver inquérito; Implementar inquérito; Obter resultados; Validar escala ³	O desenho da pesquisa (por exemplo, número e métodos de amostragem e o momento da pesquisa) e as perguntas (por exemplo, período de recordação) são fundamentais para o sucesso dessas métricas. ³
BASEADO EM RISCO Identificação de perigos e vulnerabilidades potenciais e foco em riscos críticos	Definir metas de avaliação; Selecionar indicadores; Estabelecer cenários e critérios de referência; Determinar método baseado em risco; Obter resultados e tomar decisões.	Os resultados são limitados pelas metas de risco e pela quantidade de informações dominadas. Os resultados da decisão são suscetíveis à política.
DINÂMICA DE SISTEMAS Componentes do sistema são identificados, e relações e mecanismos de retorno (feedbacks) são determinados	Definir metas de avaliação; Selecionar indicadores ou componentes; Construir sistema de indicadores; Estabelecer cenários e otimizar equações de governo; Selecionar os cenários ideais.	Os resultados são suscetíveis a fatores ou componentes de impacto. O cenário de referência pode ter um impacto no resultado preferido. O mecanismo de feedback entre o processo de simulação e o sistema é complexo.
PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE Consumo de água azul e verde, disponibilidade e relação com fatores	Selecionar indicadores; Determinar modelos e critérios de avaliação; Obter resultados da avaliação.	A divisão de quantidade de água azul/verde e o cálculo da pegada hídrica têm grande incerteza na avaliação da produtividade dos recursos hídricos. Os resultados são suscetíveis à escala, precisão e estrutura do modelo.
PSR/DPSIR Modelos conceituais para identificar relações causa efeito. Normalmente associados a indicadores	Definir metas de avaliação; Selecionar indicadores; Construir sistema de indicadores; Impulsionar o modelo PSR/DPSIR com o sistema de indicadores; Avaliar a segurança e obter resultados.	Grandes fatores são necessários para impulsionar o modelo PSR. O modelo é altamente incerto e não se aplica a áreas com escassez de dados.
SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE Seleção de indicadores baseados em metas de avaliação e ponderados e agregados em um índice	Definir metas de avaliação; Selecionar indicadores; Construir sistema de indicadores; Dar peso aos indicadores; Obter resultados da avaliação.	Os resultados da avaliação são facilmente afetados pelos valores de índice selecionados e seus pesos. A objetividade dos resultados é baixa.

Fonte: Adaptado de Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021) e Li, Su e Wey (2019). ¹ Tipos de modelos e conforme Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021). ² Processo de pesquisa e limitações de pesquisa conforme modelos correspondentes na classificação de Li, Su e Wey (2019). ³ Processo de pesquisa e limitações de pesquisa preenchidos baseando-se na discussão de Octavianti e Staddon (2021) sobre modelos baseados em escala experimental.



UFES

3.3. DEFINIÇÕES DE SEGURANÇA HÍDRICA NO CONTEXTO BRASILEIRO

No contexto brasileiro, pode-se dizer que a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei Federal 9.433/1997, recebeu influência das discussões da década de 1990 que formariam os conceitos de segurança hídrica (DE MELO; JOHNSSON, 2017). Ela tem funcionado como a base da GIRH no país e, além disso, foi construída visando ser integradora entre outras políticas, o que tem incentivado propostas de articulação dela com políticas energética, alimentar, de saneamento e de riscos de desastres, por exemplo. Com o crescimento do tema ao nível mundial, alguns estudiosos buscaram utilizar modelos de segurança hídrica diversos, em contextos específicos do país (TOMAZ *et al.*, 2020; GESUALDO *et al.*, 2019; RODRIGUES; GUPTA; MEDIONDO, 2014). Mas, foi a partir de 2014, com a instalação da crise hídrica na região sudeste, que o tema ganhou destaque político-institucional (EMPINOTTI *et al.*, 2019), culminando na construção do PNSH pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019c; DE MELO; JOHNSSON, 2017).

Em 2013 o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) definiu segurança hídrica como a “garantia de disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade para suprir as demandas de usos múltiplos, dentro de uma visão de desenvolvimento sustentável” (CNRH, 2013, p. 2). Essa definição abrange aspectos presentes nos fundamentos (ex.: usos múltiplos), objetivos (ex.: desenvolvimento sustentável) e diretrizes (ex.: indissociação de quantidade e qualidade) da PNRH. Buscando mais precisão, a ANA aproximou-se da definição dada por Grey e Sadoff (2007), conceituando a segurança hídrica como a

[...] condição que visa garantir quantidade e qualidade aceitável de água para abastecimento, alimentação, preservação de ecossistemas e demais usos, associados a um nível aceitável de riscos relacionados com a água para as pessoas, economias e meio ambiente. (ANA, 2015, p. 34).

Anos depois, em 2019, em esforço para modelar a segurança hídrica, no PNSH a definiu como a

[...] disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias [...] (ANA, 2019c, p. 13).



UFES

Apesar das dimensões de segurança consideradas no PNSH serem próximas das abordadas na definição da UN-Water (2013), e dela até ser referenciada como base para o conceito da ANA, ainda se percebe maior influência de Grey e Sadoff (2007).

Possivelmente, em uma análise de como o termo é abordado em outras instâncias de governo, sejam encontradas diferenças conceituais, como ocorre em outros países. Por exemplo, Taylor (2021) estudou documentos elaborados em vários níveis administrativos do governo australiano e evidenciou a falta de uma definição comum para o conceito no país. Devido a essa e outras nuances, muito do que se discute é que a segurança hídrica deve ser definida a partir do contexto regional e de aplicação (TAYLOR, 2021; GERLAK *et al.*, 2018; ALLAN *et al.*, 2018). Assim, visto que pesquisas sobre o assunto em suas relações com o desenvolvimento regional sustentável ainda são incipientes no país, e dado a escassa literatura nacional no tema (DE MELO; JOHNSSON, 2017), deve-se considerar o que significaria segurança hídrica nos contextos regionais e nacional do Brasil.

3.4. O ÍNDICE DE SEGURANÇA HÍDRICA DA ANA

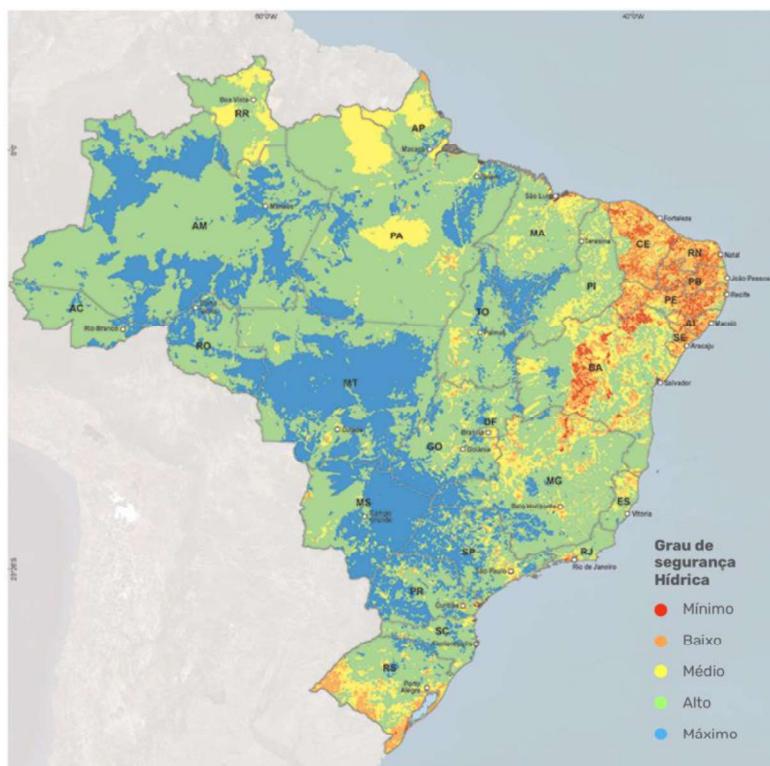
No Brasil, um dos índices para avaliação da segurança hídrica de destaque pela sua divulgação ao nível federal é o ISH, um modelo baseado em indicadores, criado para dar suporte ao PNSH. O ISH foi construído tendo por base as dimensões humana, econômica, ecossistêmica e de resiliência — novamente tentando aproximar-se do modo como a ONU trata o tema. Porém, tanto na definição da UN-Water (2013) quanto na da ANA (2019c), a dimensão de resiliência é mais abrangente do que o abordado no ISH. Essa abrangência existe porque essas definições tratam tanto do risco de secas quanto de cheias — e nesse pensamento ainda se poderia incluir outros riscos de desastres relacionados à água, como os desastres tecnológicos envolvendo poluição hídrica. Os formuladores do PNSH, na verdade, parecem ter notado a importância dessa dimensão e buscaram incorporá-las no Plano, mas elas não estão incluídas no ISH.

O ISH foi calculado e disponibilizado seus dados no portal de metadados da ANA (2019b) por ottobacias⁷ com codificação BHO 2013 no nível 6 de detalhamento. O cálculo foi realizado para dois cenários: diagnóstico (ano de 2017) e prognóstico (ano de 2035) (Figura 3.2). No

⁷ “Ottobacias são subdivisões das bacias hidrográficas em áreas menores de elevado detalhe, realizadas de acordo com metodologia desenvolvida pela ANA, que tem por base teórica o método de codificação de cursos de água desenvolvido por Otto Pfastetter” (ANA, 2019c, p. 19).

prognóstico alterou-se a quantidade da população, e consequentemente, a demanda hídrica. O Índice é dividido em quatro dimensões: a humana e a econômica (que quantificam os déficits de atendimento às demandas efetivas do abastecimento humano e do setor produtivo, respectivamente) e a ecossistêmica e de resiliência (que identificam as áreas mais críticas quanto à poluição e disponibilidade hídrica, respectivamente). Como a dimensão resiliência não dependeu desses dados (população e demanda hídrica), ela não sofreu modificação de valores entre 2017 e 2035. As dimensões humana e ecossistêmica tiveram seu grau de segurança hídrica definido a partir do risco inerente (no limiar do déficit entre demanda/disponibilidade) e pós-déficit (demanda > disponibilidade). Para a dimensão humana esse risco foi quantificado em termos de número de habitantes, enquanto na dimensão econômica, ele foi representado em termos de Valor Adicionado Bruto (VAB). Cada uma das dimensões do ISH foi concebida a fim de subsidiar uma análise de segurança hídrica pautada na possibilidade de escassez hídrica (especialmente para o abastecimento de água) e necessidade de infraestrutura hídrica. O Quadro 3.4 apresenta as funções de cada dimensão do ISH para o PNSH. No Índice, essas dimensões são classificadas em cinco graus, indo de um (mínimo) a cinco (máximo) (Tabela 3.1).

Figura 3.2 — Mapa da segurança hídrica do Brasil projetada para 2035 conforme o ISH



Fonte: ANA (2019c).



UFES

Quadro 3.4 — Função no PNSH das dimensões do modelo ISH original da ANA

Dimensões do ISH original	Função no PNSH
Humana	Identificar as áreas onde são requeridos sistemas adutores e o aproveitamento de outras fontes hídricas (existentes ou que demandam nova infraestrutura).
Econômica	Identificar as áreas onde é requerida infraestrutura hídrica para usos múltiplos (barragens, canais e eixos de integração).
Ecossistêmica	Identificar áreas críticas que possuem limitação na oferta hídrica e no suprimento de demandas em função da baixa qualidade da água e de questões ambientais.
Resiliência	Identificar as áreas com menor grau de resiliência, em que um balanço hídrico deficitário é mais crítico devido à alta variabilidade pluviométrica somada à ausência de reservatórios ou de águas subterrâneas. Essas áreas requerem infraestrutura hídrica mais complexa e em geral de caráter integrado e abrangência regional.

Fonte: adaptado de ANA (2019c).

Tabela 3.1 — Classes do ISH

GRAU DE SEGURANÇA HÍDRICA		LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
	MÁXIMO	4,51	5,00
	ALTO	3,51	4,50
	MÉDIO	2,51	3,50
	BAIXO	1,51	2,50
	MÍNIMO	1,00	1,51

Fonte: adaptado de ANA (2019a).

Quanto à construção do PNSH, este partiu dos graus de segurança hídrica de cada ottobacia do território nacional, com a análise integrada e a apresentação dos resultados realizada pelas Unidades Territoriais de Análise (UTAs). O estudo baseou-se em um inventário de Estudos, Planos, Projetos e Obras (EPPOs) da área de recursos hídricos e infraestrutura hídrica, nos dados do Atlas de Vulnerabilidade a Inundações e no ISH (ANA, 2019c). O processo de construção do PNSH é ilustrado na Figura 3.2. Decerto, todo o plano e inclusive o ISH tem foco em infraestrutura.

Figura 3.3 — Processo de construção do PNSH



Fonte: ANA (2019c).

Com o lançamento do PNSH, uma série de estudos foram desenvolvidos no Brasil, alguns em busca de aplicar o ISH a regiões específicas (ALMEIDA *et al.*, 2022, MARINS *et al.*, 2021; INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES, 2021), outros para adaptar ou criar novas dimensões (BARBOSA, 2022; BRITO, DE BRITO, RUFINO, 2022; POZZEBON *et al.*, 2022; ANA, 2021). A necessidade de atualização do ISH tem sido percebida inclusive pela ANA. Assim, durante a elaboração do mais recente Atlas Águas (ANA, 2021) foi criado o Índice de Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano (ISH-U), como uma atualização da dimensão Humana do ISH. Ela não substituiu oficialmente a dimensão humana do ISH — possivelmente porque isso, entre outros motivos, demandaria o processo de transferência das informações para o nível de ottobacias. Outra alteração prevista no PNSH (ANA, 2019c) e já iniciada pela ANA (2024) é a da incorporação de cenários mais robustos que considerem mudanças climáticas.



UFES

4. METODOLOGIA

Neste item é apresentada a metodologia utilizada para atingir os objetivos propostos. Ela está organizada por objetivo específico.

4.1. IDENTIFICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES RELEVANTES PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA

Nesta etapa, buscou-se compreender o conceito de segurança hídrica no contexto do desenvolvimento regional sustentável, para embasar sua avaliação e modelagem, pelo termo “segurança hídrica” ainda não possuir uma definição e métodos de avaliação consolidados na literatura. Além disso, pela sua característica de alta dependência do contexto regional onde está sendo trabalhada, deu-se foco especial ao contexto brasileiro, país no qual o tema tem ganhado atenção nos últimos anos (ANA, 2019c, 2021, 2024). Para auxiliar nessa compreensão, foram seguidas quatro sub-etapas: (i) revisão sistemática sobre "segurança hídrica" em artigos e revisões conceituais internacionalmente; (ii) revisão sistemática sobre o conceito de "segurança hídrica" no Brasil; (iii) sistematização de modelos para avaliação da segurança hídrica desenvolvidos e/ou aplicados considerando o contexto brasileiro; (iv) sistematização de fatores com potencial para afetar a segurança hídrica. Para as sub-etapas (i) e (ii), utilizaram-se de técnicas de análise bibliométrica, discutindo basicamente as palavras-chave mais utilizadas nas publicações, enquanto para (iii) e (iv) a análise consistiu em sintetização de informações obtidas nos artigos lidos seguida de sistematização em quadros e figuras. Mais detalhes metodológicos são apresentados a seguir.

4.1.1. Revisão de palavras-chave ligadas à "segurança hídrica" em artigos e revisões conceituais internacionalmente

Com finalidade de aprofundar-se na compreensão do conceito de segurança hídrica internacionalmente e auxiliar na fase de identificação de fatores intervenientes na segurança hídrica, foi realizada revisão de palavras-chave mais utilizadas em publicações internacionais que abordassem o conceito de segurança hídrica ou outros ligados a ele. Para tal, baseou-se no protocolo de Kitchenham (2007) e no protocolo PRISMA (PAGE *et al.*, 2021). Nesta etapa, para auxiliar na análise dos dados obtidos, deu-se foco especial na consulta de revisões da literatura (denominadas revisões secundárias), que se apoiaram em leitura e sistematização de artigos científicos como suas fontes primárias de informação.



UFES

A questão utilizada para nortear a pesquisa foi: “quais os principais conceitos de segurança hídrica existentes e quais fatores são relevantes para sua avaliação?”. Como critério de inclusão primária, consideraram-se apenas artigos ou revisões em inglês, publicados de 2012 a 2022, com os termos de busca presentes no título, palavras-chave ou resumo. Não houve critérios de exclusão. Assim, procedeu-se com a identificação das pesquisas, utilizando-se dos bancos de dados Scopus e Web of Science, e como chaves de pesquisa os termos “*water security*” juntamente com o termo “*review*” ou variações das palavras “*definition*” ou “*concept*”. A chave de pesquisa utilizada nos dois bancos de dados está descrita no Quadro 4.1.

Utilizou-se o método Bibliometrix com o software “R Studio” (ARIA, CUCCURULLO, 2017) para bibliometria, tratamento e incorporação dos metadados de artigos e revisões encontradas no conjunto de publicações identificadas. Com auxílio deste método, obtiveram-se as palavras-chave mais utilizadas pelos autores das publicações.

Quadro 4.1 — Chave de busca, ou “strings”, utilizada para revisão sistemática a nível internacional, a partir dos bancos de dados Web of Science e Scopus

Banco de dados	Chave de busca (primeira revisão)
Web of Science	((TS=("Water Security" AND ("definitio*" OR "concept*" or "review")) AND LA=(English)) AND DT=(Article" OR "Review")) AND PY=(2012-2023)
Scopus	TITLE-ABS-KEY ("Water Security" AND ("definitio*" OR "concept*" OR "review")) AND (DOCTYPE (ar) OR DOCTYPE (re)) AND LANGUAGE (english) AND (PUBYEAR 2011) AND (PUBYEAR 2024)

Fonte: o autor.

4.1.2. Revisão sistemática sobre o conceito de “segurança hídrica” no Brasil

Baseando-se nos protocolos de Kitchenham (2007) e PRISMA (PAGE *et al.*, 2021), buscaram-se nas bases de dados Scopus e Web of Science publicações que auxiliasssem na resolução da pergunta: “a que temas e palavras-chave está relacionado o conceito de segurança hídrica no Brasil?”. Como critério de inclusão primária, consideraram-se todos os tipos de publicações disponíveis nas bases de dados citadas acima, em português ou inglês, publicados em toda a série temporal (até junho de 2023), com os termos de busca presentes no título, palavras-chave ou resumo. Como na sub-etapa anterior, não houve critérios de exclusão. As chaves de pesquisa



UFES

incluíram os termos "water security" e variações das palavras "definition" ou "concept" ou "review". A chave de pesquisa utilizada nos dois bancos de dados está descrita no Quadro 4.2.

Quadro 4.2 — Chave de busca, ou “strings”, utilizada para revisão sistemática a nível de Brasil, a partir dos bancos de dados Web of Science e Scopus.

Banco de dados	Chave de busca (segunda revisão)
Web of Science	TS=("(Water *Security" OR "*Segurança Hídrica") AND ("Brazil*" OR "Brasil*")) AND LA=("Portuguese" OR "English")
Scopus	TITLE-ABS-KEY(("Water *Security" OR "*Segurança Hídrica") AND ("Brazil*" OR "Brasil*")) AND LANGUAGE(portuguese OR english)

Fonte: o autor.

Novamente, utilizou-se o método Bibliometrix com o software “R Studio” (ARIA, CUCCURULLO, 2017) para bibliometria, tratamento e incorporação dos metadados de artigos e revisões encontrados no conjunto de publicações identificadas. Extraíram-se a quantidade de manuscritos por ano e as palavras-chave mais citadas. Realizou-se análise dos temas mais relacionados com o conceito de segurança hídrica, conforme a chave de pesquisa utilizada.

Para sintetizar os resultados obtidos por meio da revisão sistemática, construiu-se um modelo mental (ANDRADE *et al.*, 2006) de como o tema segurança hídrica vem sendo abordado no contexto brasileiro (o que não corresponde necessariamente ao melhor modo como este tema deveria ser abordado). Um modelo mental “[...] visa levantar crenças ou pressupostos que atores-chave mantêm em suas mentes e que influenciam seus comportamentos, gerando as estruturas do mundo real” (ANDRADE *et al.*, 2006, p. 98). Andrade e outros (2006) sugerem a representação de mapas mentais através de frases curtas que resumam a mentalidade (demonstrada pelas ações) de cada ator-chave atuando na questão (no sistema), geralmente atrelado a um mapa sistêmico (ou mapas conceituais como denominam NOVAK; CAÑAS, 2008). Porém, diferente das abordagens de Andrade e outros (2006) e Novak e Cañas que utilizaram-se dos conceitos para construção do principalmente do mapa sistêmico, no presente trabalho propõe-se uma abordagem em que o modelo mental é que será representado através dos conceitos.

Assim, mapeou-se o modelo mental da segurança hídrica no Brasil tendo os “pesquisadores/cientistas” como atores-chave e ligando as palavras-chave/conceitos mais



UFES

frequentes nas publicações encontradas nesta segunda revisão bibliográfica como norteadores para sua construção. Ligou-se cada uma das palavras-chave/conceitos em texto corrido, dividindo o modelo mental em três partes: o problema, onde são apresentadas as causas pelas quais o tema começa a ser tratado no Brasil; o desejo, que representa o objetivo principal pelo qual se tem trabalhado a segurança hídrica no contexto brasileiro; e a solução, que representa as crenças de como o problema pode ser resolvido e o desejo alcançado. Assim, com o modelo mental, pode-se resumir as peculiaridades das discussões sobre segurança hídrica ocorridas, até então, no contexto brasileiro.

4.1.3. Sistematização de modelos para avaliação da segurança hídrica no contexto brasileiro

Terminada as fases de revisão de como a segurança hídrica é abordada e dos temas interligados a ela (especialmente no Brasil), deu-se sequência à identificação e sistematização de modelos para avaliação da segurança hídrica desenvolvidos internacionalmente e aplicados no Brasil ou desenvolvidos no próprio contexto brasileiro. A finalidade dessa sub-etapa foi aprofundar-se ainda mais no conhecimento do contexto da modelagem de segurança hídrica no Brasil, além de auxiliar no estabelecimento de um modelo base para aprimoramento (Seção 4.2). A base de dados para captura de modelos foi uma extensão das publicações encontradas na sub-etapa anterior (Seção 4.1.2). Para as publicações referentes às bases de dados “*Web of Science*” e “*Scopus*” encontradas na sub-etapa anterior aplicou-se um critério de exclusão, no qual se consideraram elegíveis para análise apenas as publicações que continham as palavras “*index*”, “índice”, “indicador”, “model”, “modelo”, “framework”, “assessment”, “ferramenta”, “tool” e “metric”, bem como algumas variantes no plural, em seu título, resumo ou palavras-chave. Desejando-se capturar o maior número de modelos, realizou-se pesquisa também nas bases “*Google Acadêmico*” e “*Scielo*”, buscando-se em toda a sua base temporal publicações em português ou inglês que apresentassem “segurança hídrica” e “insegurança hídrica” ou traduções desses termos para o inglês. Acrescentou-se a essa pesquisa sistemática uma busca do tipo “bola de neve” através do site “*Google*”, referências cruzadas e uma busca direta em anais de congressos da ABRHidro. A pesquisa nessas novas bases de dados permitiu a incorporação de documentos acadêmicos (monografias, dissertações e teses), publicações governamentais, artigos publicados em anais de congressos brasileiros e artigos ausentes nas bases de dados “*Scopus*” e “*Web of Science*”. Dentre todos esses documentos, analisaram-se



UFES

apenas aqueles que continham modelos únicos (originais ou derivados de modelos anteriores) que tivessem foco explícito em medir a segurança hídrica, considerando-a como um conceito (o que excluiu, por exemplo, publicações que citam o termo segurança hídrica em seu escopo, mas que se concentram em avaliar outros conceitos ou aspectos, como nas abordagens nexo água-alimento-energia ou modelos climáticos).

Após filtragem das publicações, capturaram-se os modelos identificados, classificando-os por categorias de modelos (marcos metodológicos). Esses marcos são modelos fundamentais dos quais se derivam outros modelos que seguem semelhantes roteiros metodológicos e modos de análise da realidade observada. Preliminarmente, identificaram-se quatro trabalhos que poderiam auxiliar na classificação dos modelos identificados: os estudos de Sanchez e Matos (2012) e Kammerbauer (2001), que classificaram modelos de sustentabilidade; e o estudo de Li, Su e Wey (2019) e de Marcal e outros (2021) que também buscaram classificar modelos de segurança hídrica. No entanto, por ser uma referência mais recente e por tratar especificamente dos modelos de segurança hídrica, optou-se por utilizar a classificação de grupos de modelos feita por Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021).

Para isso, foi criada uma tabela com os modelos identificados, baseando-se no cabeçalho da tabela apresentada por Octavianti e Staddon (2021), a qual os auxiliaram a classificar 80 modelos que encontraram em sua pesquisa da literatura científica internacional. A tabela para classificação e avaliação dos modelos identificados foi elaborada considerando os seguintes aspectos:

- Nome dos autores
- Título da publicação
- Ano de publicação
- Link da referência
- Grupo de modelo conforme classificação de Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021)
 - Baseado em Pesquisas/Experiências
 - Baseado em Risco
 - Dinâmica de Sistemas
 - Pegada Hídrica Azul e Verde
 - PSR/DPSIR
 - Sistema de Indicadores/Índice



UFES

- Motivação/enfoque da modelagem
- Dimensões da segurança hídrica consideradas
 - Humana
 - Econômica
 - Ecossistêmica
 - Resiliência
 - Governança
- Escala geográfica de avaliação (nação, região, estado, município, bairro, casa, região/bacia hidrográfica)
- Participação dos Agentes na Seleção dos Indicadores (seleção participativa ou seleção não participativa)
- Visualização dos Resultados (modo de apresentação dos resultados)
- Local de aplicação
- Se o modelo foi apenas proposto ou se também houve implementação
- Nome específico do modelo
- Métodos específicos utilizados

Ressalta-se que a adoção das dimensões de segurança hídrica supracitadas (e não de outras dimensões) para a classificação dos modelos identificados se baseou, principalmente: na definição de ONU-Water (2013), por sua abrangência, importância internacional e por ser uma das mais comumente utilizadas (MARCAL; ANTIZAR-LADISLAO; HOFMAN, 2021; ALLAN; KENWAY; HEAD, 2018); na nomenclatura das dimensões de segurança hídrica consideradas pela ANA (ANA, 2019c), que baseou sua nomenclatura na definição da UN-Water (2013); e no modelo de Babel e outros (2020), por sua característica abrangente na segregação de dimensões, adicionando a “governança” em sua interpretação da definição da UN-Water (2013).

4.1.4. Sistematização de fatores relacionados à segurança hídrica

Durante a sistematização das definições e dos modelos de segurança hídrica, realizou-se sistematização em tabela eletrônica de fatores com potencial de influenciar a segurança hídrica. A identificação dos fatores se deu em duas partes: (i) identificação de termos (ou palavras-chave) frequentemente utilizados para definir ou modelar a segurança hídrica; (ii) agrupamento dos termos na forma de fatores.



UFES

Na primeira parte da identificação de fatores, analisaram-se termos correlacionados à segurança hídrica em: definições internacionalmente utilizadas; modelos internacionalmente utilizados; palavras-chave da revisão sistemática internacional; um modelo internacional abrangente em suas dimensões; um modelo nacional abrangente em suas dimensões; e uma aplicação prática a nível regional em uma área de estudo para aprimoramento. Dessa forma, a seleção dos termos abrangeu tanto o contexto internacional, quanto o contexto local. Quanto à fonte de informação para definições e modelos internacionalmente utilizados, capturaram-se termos comuns sintetizados nos trabalhos de Octavanti e Staddon (2021), Gerlak e outros (2018) e Allan, Kenway e Head (2018). Para considerar os temas mais correlatos em pesquisas conceituais que abordaram a segurança hídrica, capturaram-se as 10 palavras-chave mais utilizadas, obtidas conforme método descrito na Seção 4.1.1. Adicionalmente, apropriou-se do conjunto abrangente de elementos e indicadores para medição de segurança hídrica descritos no modelo de Babel e outros (2020). Dentre os modelos nacionais, utilizou-se o modelo ISH descrito no PNSH (ANA, 2019c), devido a sua abrangência de dimensões e importância para o Brasil, conforme resultados obtidos do passo metodológico da Seção 4.1.3. Por fim, analisaram-se resultados da aplicação do ISH na Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV), conforme relatório do Núcleo Estratégico em Água e Desenvolvimento (NEADES, não publicado)⁸.

Todos os termos identificados foram registrados e agrupados por afinidade, classificando-os quanto às dimensões que estes interferem. Para isso, elaborou-se um quadro no qual foram sistematizados os seguintes aspectos:

- Termo
 - Original e em português.
- Dimensão(ões) compatível(eis) (sendo possível mais de uma dimensão por termo)
 - Humana; Econômica; Ecossistêmica; Resiliência; Governança.
- Tipo da fonte onde foi encontrado o fator
 - Nas palavras-chave encontradas na revisão sistemática

⁸ NÚCLEO ESTRATÉGICO EM ÁGUA E DESENVOLVIMENTO (NEADES). Diagnóstico de componentes ambientais relacionados à temática água e desenvolvimento regional sustentável da Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). [S.l.: s.n., 2022].

- Nas definições de segurança hídrica
 - Nos modelos de segurança hídrica
 - No contexto brasileiro
 - Na observação regional
- Fonte da informação

Na segunda parte desta sub-etapa, tomaram-se os termos identificados e partindo-se deles foi realizada sua sintetização na forma de fatores. A nomenclatura dos fatores baseou-se nas nomenclaturas dos indicadores: do modelo de segurança hídrica abrangente de Babel e outros (2020); do modelo de sustentabilidade de sistemas hidro-agroflorestais de Tedesco (2023); e aspectos de segurança hídrica encontrados nos modelos conforme Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021). Assim, os fatores intervenientes na segurança hídrica foram sistematizados por grupos de fatores (o qual se denominou elementos) e por dimensões da segurança hídrica. Para padronizar a quantidade de fatores por elemento que estes representam, e ainda auxiliar na padronização da nomenclatura dos fatores, seguiu-se a estratégia de Tedesco (2023), aplicando-a ao contexto da segurança hídrica. A autora descreveu e distinguiu os fatores entre aqueles que se referem: à situação atual, úteis para diagnóstico; ao impacto, úteis para compreender efetividade de ações; e à mudança na situação, que revelam tentativas de se melhorar a condição atual. Essa abordagem de Tedesco (2023) assemelha-se a de Niemeijer e de Groot (2008), que se utilizaram dos modelos de PSR/DPSIR para desenvolver estratégia de seleção de grupos de indicadores ambientais para análise de sustentabilidade.

4.2. ESTABELECIMENTO DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA COM POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Esta etapa envolveu duas atividades: (i) a seleção de um modelo para avaliação da segurança hídrica como base para aprimoramento; (ii) e o aprimoramento do modelo selecionado. Considerou-se como modelo para avaliação de segurança hídrica, qualquer estrutura/ferramenta analítica que emprega explicitamente a segurança hídrica como um conceito (não é apenas mencionado de passagem) e que tenha finalidade de avaliá-la (OCTAVIANTI; STADDON, 2021). Tendo-se aprofundado na compreensão de como a segurança hídrica é abordada no mundo, e especialmente no Brasil, buscou-se identificar um modelo de partida para aprimoramento da avaliação da segurança hídrica no contexto do



UFES

desenvolvimento regional sustentável. Selecionado o modelo de partida, buscou-se aprimorá-lo.

O ponto principal do aprimoramento foi considerar “inundações” na estrutura do modelo selecionado. Esse é um fator importante na relação entre segurança hídrica e desenvolvimento sustentável, mas pouco considerado nas modelagens de segurança hídrica, de forma que os modelos tendem a incorporar apenas a escassez hídrica, mesmo que aspectos voltados a inundações estejam em suas definições basilares (como discutido na seção 3.2). Assim o “risco de inundaçāo” foi o fator escolhido para exemplificar como aprimorar um modelo analítico da segurança hídrica, a partir da inserção de um fator influente sobre a relação entre segurança hídrica e desenvolvimento sustentável que ainda não estiver sendo considerado na sua estrutura conceitual/analítica.

Verificou-se a importância de que o aprimoramento se desse de forma aplicada em uma área de estudo onde houvesse desafios relacionados ao risco de inundações, o que trouxe a necessidade de se definir uma área de estudo.

A seguir, são apresentados em maior detalhe os aspectos metodológicos que nortearam os processos de seleção e aprimoramento do modelo.

4.2.1. Seleção do modelo base para avaliação de segurança hídrica.

Considerando os modelos aplicados no contexto brasileiro, percebeu-se que os modelos baseados em índices/indicadores e modelos do tipo PSR/DPSIR, tendem a ser mais abrangentes por abordarem maior número de dimensões. Não obstante, os modelos baseados em índices/indicadores são os com maior difusão no território brasileiro, e dentre eles destacam-se os modelos que tomaram o ISH da ANA como base (ANA, 2021; MARINS *et al.*, 2021; INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES, 2021; BRITO, DE BRITO, RUFINO, 2022; BARBOSA, 2022; POZZEBON *et al.*, 2022; ALMEIDA *et al.*, 2022).

O ISH, por ter sido produzido para guiar ações de segurança hídrica ao nível do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), possui importância política para seus vários órgãos membros. Este modelo está passando por processo de atualização (ANA, 2024) e novamente terá suas implicações ao nível nacional na gestão de recursos hídricos e no tema segurança hídrica. Dessa forma, contribuições que venham do campo



UFES

científico para este modelo podem de sobremaneira subsidiar a modelagem da segurança hídrica no país. O ISH apresenta também características de ser aplicável em SIG e tomadas as devidas adaptações pode tratar da segurança hídrica no nível regional (BRITO, DE BRITO, RUFINO, 2022; BARBOSA, 2022). Suas dimensões construídas de modo semelhante ao proposto pela UN-Water (2013), além de ter coerência conceitual, facilita a incorporação e estudo dos fatores sistematizados no presente trabalho. Assim, por esses motivos apresentados, o ISH da ANA foi selecionado como modelo base utilizado para aprimoramento da modelagem da segurança hídrica.

4.2.2. Aprimoramento do modelo de segurança hídrica selecionado.

Após seleção do modelo, realizou-se seu aprimoramento a partir da inclusão do fator referente ao “risco de inundações” em sua estrutura analítica mediante quatro grandes passos: (i) desenvolvimento do novo modelo; (ii) seleção e caracterização da área de estudo (iii) aplicação do novo modelo na área de estudo; e (iv) comparação do modelo aprimorado com modelo original e com outros estudos locais.

4.2.2.1. Desenvolvimento do novo modelo

Para o desenvolvimento do novo índice, que neste trabalho foi denominado $ISH_{ajustado}$, tomou-se como base o modelo ISH construído pela ANA, que tem característica de ser um modelo baseado em indicadores, segundo a classificação de Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2022). As informações utilizadas para manipulação do ISH estão dispostas no manual metodológico do ISH (ANA, 2019a) e no PNSH (ANA, 2019c), enquanto os dados brutos utilizados estão no Portal de Metadados da ANA (2019b).

O fator “risco de inundações” não está presente no ISH original, mas, conceitualmente está relacionado à dimensão resiliência da segurança hídrica. Assim, para desenvolver o $ISH_{ajustado}$ foi necessário escolher um indicador que representasse esse fator e o modo para sua incorporação. Percebeu-se que no manual do ISH produzido pela ANA (2019a) não foram abordados os critérios empregados para seleção dos indicadores durante a elaboração do ISH. Deduziu-se que foram escolhidos os indicadores que tinham maior disponibilidade de dados, abrangência nacional e nível de detalhamento da escala. Optou-se, portanto, por incorporar o Índice de Vulnerabilidade a Inundações (IVI) da ANA (2021) — também utilizado no PNSH (ANA, 2019c), porém não incorporado no ISH — na estrutura do ISH para representar o fator



UFES

risco de inundação. Apesar de o IVI tratar de vulnerabilidade e não de risco (o qual é o produto entre vulnerabilidade, perigo e exposição) (IPCC, 2023), considerou-se que este indicador é suficiente para o propósito desse estudo de exemplificar o aprimoramento de um modelo analítico da segurança hídrica. Pela afinidade com a dimensão de resiliência, o IVI foi adicionado nessa dimensão.

Em termos de estrutura, definiu-se que o ISH_{ajustado} utilizaria o mesmo grau de classificação de segurança hídrica (Tabela 3.1) e as mesmas quatro dimensões originais do ISH (humana, econômica, ecossistêmica, resiliência). Ressalta-se que não houve alteração de seus indicadores e formas de cálculo (em relação ao ISH), com exceção da dimensão de resiliência que teve a adição de um novo indicador (o IVI) e foi dividida em duas subdimensões.

As subdimensões criadas foram: resiliência às secas, com os mesmos indicadores da dimensão resiliência no ISH original; e resiliência às inundações, representada por seu indicador único, o IVI. Elas podem ser visualizadas na Tabela 4.1, que mostra as dimensões e respectivos indicadores do ISH_{ajustado}. Quanto à dimensão de resiliência, no ISH original ela é composta pelos indicadores: reservação artificial, reservação natural, potencial de armazenamento subterrâneo e variabilidade pluviométrica. A dimensão resiliência no ISH_{ajustado} (neste caso, o conjunto das duas subdimensões), assim como no ISH original, foi calculada por ottobacia.

Algumas dificuldades em se manipular os dados brutos do ISH que estão disponíveis no Portal de Metadados da ANA (ANA, 2019b) parecem ter influenciado decisões metodológicas de Brito, de Brito e Rufino (2022) e de Barbosa (2022), especialmente em se criar novas dimensões ao invés de alterar indicadores das dimensões existentes. Devido a essas mesmas dificuldades, neste trabalho optou-se por modificar o índice original sem alterar pesos ou indicadores das demais dimensões que o compõem. Igualmente calculou-se apenas o novo índice para o ano de 2035, que já possuía dados calculados e disponíveis quantitativamente por dimensão e para cada ottobacia no portal de metadados da ANA (2019b). Esses dados quantitativos por dimensão e ottobacia é que permitiram o cálculo da média entre as dimensões e assim, obtenção do grau de segurança hídrica global. O ano de 2017 possuía apenas dados qualitativos dos graus de segurança hídrica das dimensões por ottobacia. Os dados apenas qualitativos de 2017 permitem a plotagem de mapas e sua respectiva análise, mas impedem o recálculo da média das dimensões que compõem o índice global.

Tabela 4.1 — Dimensões e indicadores do ISH_{ajustado}

Indicadores do ISH _{ajustado}		Fonte de informação	
Dimensão	Indicador		
Humana	Garantia de água para abastecimento Cobertura da rede de abastecimento		
Econômica	Garantia de água para irrigação e pecuária Garantia de água para atividade industrial		
Ecossistêmica	Quantidade adequada de água para usos naturais Qualidade adequada de água para usos naturais Segurança de barragens de rejeito de mineração	Presentes no ISH original da ANA (2019b)	
Resiliência	às secas	Reservação artificial Reservação Natural Potencial de armazenamento subterrâneo Variabilidade pluviométrica	
	às inundações	Vulnerabilidade às inundações	Adicionado no ISH _{ajustado} a partir de dados de Vulnerabilidade à Inundação de ANA (2021)

Fonte: o autor.

Outra decisão foi de considerar que na projeção para 2035, não haveria alteração dos trechos vulneráveis à inundação e que as subdimensões de resiliência possuem no ISH_{ajustado}, cada uma, o mesmo peso das dimensões humana, econômica e ecossistêmica. Assumiu-se também que não haverá alterações no uso do solo da bacia até 2035, bem como não haverá alterações devido às mudanças climáticas. Assim, a projeção para 2035 se dá apenas pela modificação do balanço hídrico, calculado pela ANA na confecção do ISH a partir do aumento da demanda de água pelo aumento da população, e que altera apenas as dimensões humana, econômica e ecossistêmica (únicas dependentes do balanço hídrico tanto no ISH quanto no ISH_{ajustado}). Ressalta-se que, com exceção da subdimensão de resiliência às inundações, todos as demais dimensões (inclusive a dimensão de resiliência do ISH original), foram calculadas e disponibilizadas pela ANA no seu portal de Metadados (ANA, 2019b) para 2015 e 2035, e esses dados foram os utilizados para discussão das dimensões que se seguirão nesse estudo, sem alteração ou correção de seus valores.

Para incorporação do IVI na subdimensão resiliência às inundações, foi necessária a normalização dos seus graus. Assim, reclassificaram-se seus graus de vulnerabilidade para os graus de segurança hídrica, sendo um (grau mínimo) o menos seguro e três (grau médio) o mais



UFES

seguro (Tabela 4.2). Deste modo, considerou-se que não há segurança hídrica alta ou máxima onde há vulnerabilidade às inundações (classificação semelhante à adotada para o indicador Segurança de Barragens de Rejeito, na dimensão ecossistêmica do ISH). Os trechos não vulneráveis no IVI não entraram no cálculo.

Tabela 4.2 — Reclassificação do IVI para graus de segurança hídrica do ISH_{ajustado}

Grau de segurança hídrica	Impacto		
	Baixo	Médio	Alto
Ocorrência	Baixa	3	2
	Média	3	2
	Alta	2	1

Fonte: o autor. Obs: Valores correspondem aos seguintes graus: 3 = grau médio; 2 = grau alto; 1 = grau máximo.

O ISH_{ajustado} trata dessa adaptação descrita acima, e o grau de segurança hídrica nesse modelo foi resultado da média simples por otobacia dos valores não nulos do conjunto das cinco dimensões e subdimensões (humana, econômica, ecossistêmica, resiliência às secas e resiliência às inundações), ou seja:

$$\text{ISH}_{\text{ajustado}} = \sum_{i=1}^{n=5} \left(\frac{i}{k} \right) \quad (\text{Equação 4.1})$$

sendo:

i = o valor da dimensão ou subdimensão;

k = o número total das dimensões (Humana, Econômica e Ecossistêmica) e subdimensões (Resiliência às Secas e Resiliência às Inundações) que sejam não nulas. Valor máximo é igual a 5.

4.2.2.2. Seleção e caracterização da área de estudo

Na etapa de compreensão e sistematização dos conceitos de segurança hídrica, verificou-se que a modelagem da segurança hídrica possui grande dependência do contexto de aplicação e da escala espacial utilizada. Assim, a definição da área de estudo é importante durante a fase de aprimoramento do modelo. Portanto, definiu-se como área de estudo a Região Hidrográfica do Rio Jucu (RHJ) no Espírito Santo (ES), sudeste brasileiro (Figura 4.1). Algumas das razões para utilizar-se dessa área como piloto para estudo são: sua importância para o abastecimento

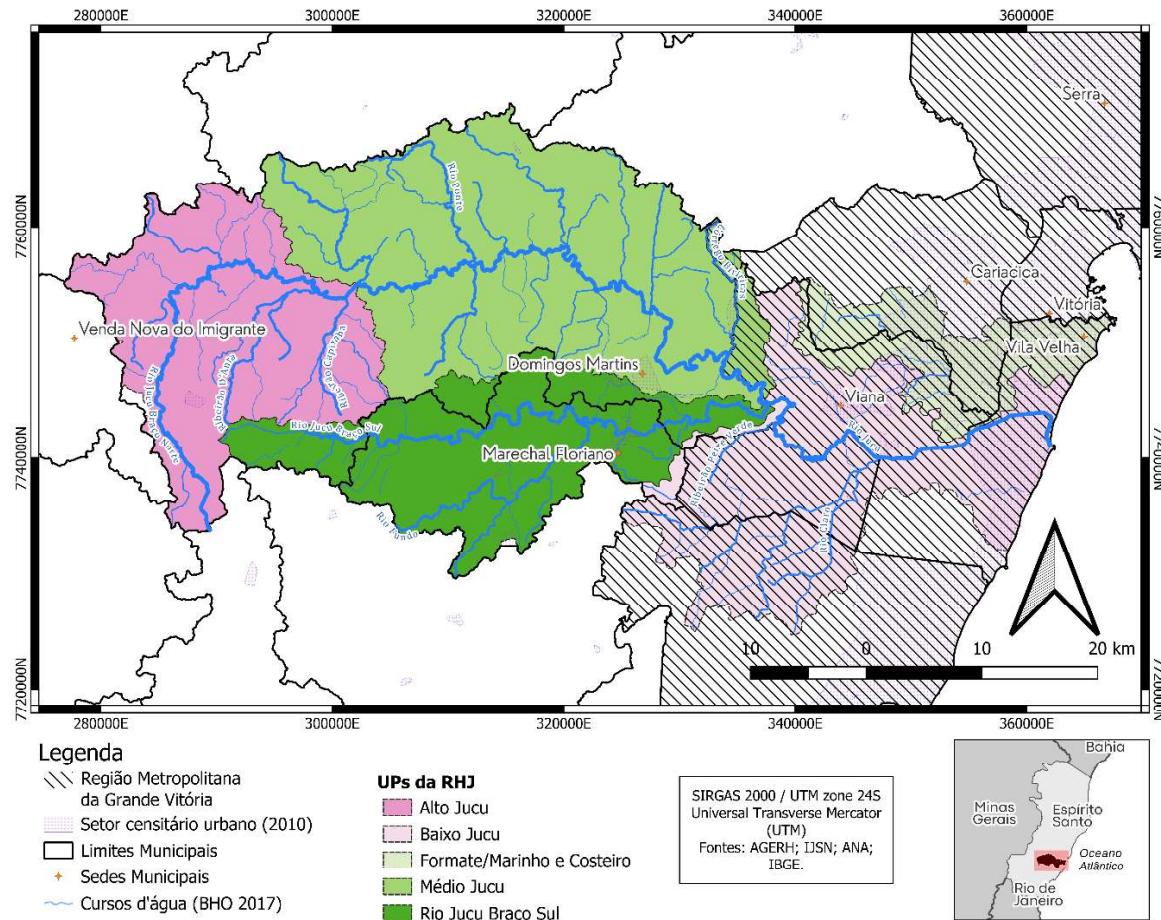


UFES

d'água de municípios inseridos em duas microrregiões do ES e inclusive da capital do estado, Vitória; os seus desafios relacionados à segurança hídrica vivenciados na história recente, relacionados à escassez hídrica e, particularmente, ao seu histórico de problemas com inundações; a demanda por pesquisas e aplicações na temática da segurança hídrica e desenvolvimento regional sustentável, demonstrada pela presença de relatórios por parte de órgãos públicos e instituições de pesquisa; prévias aplicações do ISH em partes da região. Para facilitar as análises, a área de estudo foi caracterizada utilizando-se bases públicas de informação e conforme as dimensões e indicadores utilizados no modelo escolhido como base.

A RHJ tem área de drenagem de aproximadamente 2.000 km² e possui cinco Unidades de Planejamento (UPs), a saber: Alto Jucu; Médio Jucu; Baixo Jucu; Rio Jucu Braço Sul; e Formate/Marinho e Costeiro (Figura 4.1). Essa região abrange totalmente os municípios de Marechal Floriano, Domingos Martins — esses dois, integrantes da macrorregião estadual Serrana — e Viana, e parcialmente os municípios de Vila Velha, Cariacica e Guarapari — esses quatro, componentes da microrregião estadual Metropolitana da Grande Vitória (RMGV). A população desses municípios compõe 27% da população total do estado, conforme censo de 2022 (IBGE, 2022). Conforme o Atlas Águas (ANA, 2021), as maiores demandas de água para abastecimento humano na RHJ advêm do sistema de abastecimento integrado SIN JUCU que abastece cerca de um milhão de habitantes. Quanto à sua economia, a RHJ possui diversos setores como: portuário; industrial; agrícola; florestal; pecuário; hidroelétrico; turístico; pesca/mariscagem; entre outros. Seu bioma está todo inserido na Mata Atlântica, indo desde áreas de restinga e manguezais, à jusante, passando pela conurbação urbana da RMGV, até regiões de relevo com declividade média de 1,5% e temperaturas mais frias, a montante (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016).

Figura 4.1 — Região Hidrográfica do Rio Jucu (RHJ) e suas Unidades de Planejamento (UPs)



Fonte: o autor.

O rio Jucu, de onde vem o nome da Região, é formado pelo encontro do rio Jucu Braço Norte e rio Jucu Braço Sul. Este último é um de seus mais importantes afluentes e nasce no interior do Parque Estadual Pedra Azul (PEPAZ), tendo relevante valor turístico para o estado (HOLZ, 2012). A RHJ possui atualmente duas barragens principais, referentes à Pequena Central Hidrelétrica (PCH) de São Pedro, no rio Jucu Braço Norte e a PCH Rio Jucu, situada no Jucu Braço Sul (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016). Conforme o Atlas Águas (ANA, 2021), há planos de construção de reservatórios de usos múltiplos na região entre os municípios de Domingos Martins e Viana. A região estudada possui um Comitê de Bacia Hidrográfica (CBH) (ESPÍRITO SANTO, 2007), um Plano de Recursos Hídricos para até 2036 (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016), um Enquadramento de Corpos d'Água (PROFILL; NIP



UFES

S.A.; NIP DO BRASIL, 2016) e cobrança pelo uso da água (CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2021).

Durante a crise hídrica que ocorreu a partir de 2013 no sudeste brasileiro⁹, a RHJ foi uma das áreas afetadas. Na ocasião da crise mencionada, percebeu-se que essa região, importante para o abastecimento da RMGV, não possuía reservatórios de regularização hídrica e usos múltiplos capazes de garantir o abastecimento para seus vários setores usuários diante da escassez. Foi necessária a construção de acordos técnico-operacionais para compatibilização entre a geração de energia hidroelétrica e abastecimento humano, através da utilização do reservatório da pequena central hidrelétrica de Rio Bonito na região hidrográfica vizinha à RHJ, a do Rio Santa Maria da Vitória (RHSMV) (SOARES NETO; PEDROSA, 2018). Além disso, um racionamento progressivo foi implementado pela concessionária de abastecimento de água, forçando especialmente as indústrias na Grande Vitória (região que contém áreas tanto dentro da RHSMV, quanto da RHJ) a buscarem fontes alternativas de abastecimento (SOARES NETO; PEDROSA, 2018).

Porém, além de desafios relacionados à escassez hídrica, a RHJ também enfrenta problemas voltados às inundações (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016). Todos os municípios dessa região apresentaram decretos de Situação de Emergência e Estado de Calamidade nos últimos anos, devido a desastres relacionados à chuva (SEDEC, 2024). Os registros de eventos de inundações, alagamentos, enxurradas e cheias mais frequentes são para os municípios que também estão na RMGV (DEINA; COELHO, 2015), onde obras envolvendo diques, redes de macro e micro drenagem e bombeamento de águas pluviais compõem algumas das infraestruturas para tentar conter o problema histórico de danos devido a esses eventos na região urbanizada. Essa região na UP Baixo Jucu da RHJ, de planícies fluviais e litorâneas, com vários trechos abaixo do nível do mar totalmente urbanizados, está naturalmente sujeita a inundações (DEINA; COELHO, 2015). O problema, porém, se estende para as UPs da RHJ

⁹ No relatório Conjunturas dos Recursos Hídricos no Brasil de 2021, na seção de Segurança Hídrica, (<https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/seguranca-hidrica>), são apresentadas instalações de crises afetando o sudeste brasileiro na bacia: do São Francisco (2013 a 2019); do Paraíba do Sul (2014 a 2016); do São Mateus (2016 a 2017); do Paranapanema (a partir de 2019) e; do Grande e do Paraná (a partir de 2020). Apesar de que abastecem a Grande Vitória, no ES, não serem apresentadas nesse relatório, elas também apresentaram impactos, como é apresentado nessa presente seção.



UFES

mais a montante na microrregião Serrana do estado, como a UP Rio Jucu Braço Norte, a exemplo de alagamentos registrados em Marechal Floriano (SEDEC, 2024).

Em 2014 foi lançada a Política Estadual de Recursos Hídricos do Espírito Santo (Lei n.º 10.179/2014, que estabelece normas gerais sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado) e, posteriormente, em 2019, o Plano Estadual de Recursos Hídricos (COBRAPE – NIPPON KOEI LAC DO BRASIL, 2018). Temas relacionados à segurança hídrica, como quantidade/qualidade de água e eventos críticos (cheias e secas), foram abordados no plano. A preocupação com a segurança hídrica, especialmente quanto à infraestrutura de reservação, também foi tema da Política Estadual de Governança e Segurança de Barragens, instituída pela Lei complementar 912/2019, explicitada pelo objetivo descrito no Art. 3º, § primeiro: “promover ações que contribuam para o aumento da segurança hídrica com relação aos aspectos de disponibilidade de água para os diversos usos e segurança dos reservatórios no Estado do Espírito Santo” (ESPÍRITO SANTO, 2019, p. 1).

Outros avanços na temática da segurança hídrica foram observados como: a elaboração de Planos de Recursos Hídricos de bacias hidrográficas (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2024b); viabilização da inclusão dos Comitês de Bacias Hidrográficas no Programa Procomitês (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2016); implementação da Outorga de direito de uso das águas subterrâneas (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2024a); implementação do Programa de Gestão Integrada das Águas e Paisagem I e II (SECRETARIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2024a); implantação do Pagamento por Serviços Ambientais (SECRETARIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2024b); apoio à Implantação e aperfeiçoamento de Instrumentos de Incentivo ao Uso Racional da Água na Agricultura e à Autogestão Comunitária de Recursos Hídricos por Microbacia (AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2021), entre outros. Essas discussões recentes ocorridas no meio político, ressaltam a importância da pesquisa no tema em termos de demanda do Estado do Espírito Santo na totalidade, incluindo demanda para a RHJ.

Em 2022, o projeto de pesquisa “Desenvolvimento Regional Sustentável do Espírito Santo” (DRS-ES) — coordenado pelo Instituto Jones dos Santos Neves (IJSN) — objetivou “promover o desenvolvimento regionalmente equilibrado, pactuando ações e projetos para a



UFES

prosperidade de cada vila, cidade e microrregião do Espírito Santo, de acordo com suas vocações e potencialidades” (INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES, 2021, p. 23). Nesse projeto, considerou-se como estratégica a relação da água com o desenvolvimento regional sustentável. Assim, analisou-se o tema “água e desenvolvimento” em cada microrregião de planejamento do ES, utilizando-se como uma das ferramentas de análise o ISH. Como apenas a RMGV não foi contemplada no referido estudo (pois já possuía seu Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado), o Núcleo Estratégico em Água e Desenvolvimento (Neades), componente do Centro de Pesquisa, Inovação e Desenvolvimento (CPID) do Espírito Santo, utilizou-se da mesma metodologia do projeto de pesquisa do IJSN para analisá-la no contexto do tema “Água e desenvolvimento regional sustentável”. Esses dois estudos surgiram de demandas para avaliar a segurança hídrica por microrregião da divisão política estadual; assim, não houve uma análise compilada por região hidrográfica. Não obstante, no estudo produzido pelo Neades (2022, não publicado), observou-se que o ISH deixou de abordar certos assuntos relacionados à segurança hídrica que afetam a RMGV (que consiste em parte da RHJ), como: a variabilidade da demanda hídrica sazonal devido ao turismo; as inundações; o uso e ocupação do solo; as perdas na distribuição de água tratada; os processos erosivos; dentre outros.

4.2.2.3. Aplicação do modelo aprimorado na área de estudo

Para que os resultados do ISH_{ajustado} fossem avaliados e discutidos, aplicou-se o índice na RHJ. Utilizou-se o QGIS® para recortar pelos limites da RHJ os dados brutos do ISH ao nível de Brasil, disponíveis em ANA (2019b). O mesmo foi feito com os dados do IVI (ANA, 2021). Em seguida, interpolaram-se por localização espacial os trechos inundáveis segundo o IVI da ANA (2021) (com ottocodificação BHO 2017), com as ottobacias utilizadas no cálculo do ISH original (com ottocodificação BHO 2013)¹⁰. O IVI, coletado no portal de metadados da ANA, contém os trechos de cursos d’água inundáveis com os atributos de ottocodificação, frequência de ocorrência, grau de impacto e vulnerabilidade a inundações graduais do estado do Espírito

¹⁰ O procedimento de ottocodificação derivado do Mapeamento Sistemático do Brasil, e disponibilizado pela ANA, visa um detalhamento da bacia de contribuição de cada trecho de curso d’água, na escala mais detalhada possível. Desse modo, a ottocodificação BHO publicado em 2017 é mais detalhado do que o publicado em 2013. A diferença nas entradas para no algoritmo de confecção das BHOS, também fazem com que, ao sobrepor espacialmente as duas BHOS no mesmo nível, elas tendam a não se coincidirem, causando a diferença com a qual precisou se lidar no presente estudo.



UFES

Santo na escala 1:1.000.000 (ANA, 2021). Devido à diferença entre as BHOs, alguns trechos ocuparam duas ottobacias. Nesses casos considerou-se apenas a ottobacia que continha a maior parte do trecho, desconsiderando-se a ottobacia com menor parte do trecho. Com isso, dentre os locais que contêm trechos vulneráveis à inundação no IVI (ANA, 2021), extraíram-se os valores por ottobacias, com a codificação disponível em sua tabela de atributos, sendo ela a BHO 2017. Outra fonte possível para dados seria o Atlas Estadual de Vulnerabilidade à Inundação (INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE, 2013), que possui escala mais detalhada (1:50.000 e 1:100.000); todavia, não foram encontrados seus dados de vetores georreferenciados disponíveis em bases de dados públicas.

Após ajustes dos dados e realização dos recortes para a área de estudo, calculou-se o ISH_{ajustado} conforme a Equação 4.1. Logo após, realizou-se a análise da segurança hídrica pelo exame do resultado do ISH_{ajustado} na projeção de 2035 para a dimensão de resiliência (nas duas subdimensões) e para as demais dimensões (humana, econômica e ecossistêmica), bem como de seu resultado global (todas as dimensões unidas) para o mesmo ano. Houve também comparação com os resultados das quatro dimensões de segurança hídrica no ISH original para 2017. Os resultados foram expostos em formato de mapas e tabelas seccionadas por UPs.

Complementarmente aos resultados obtidos pela aplicação do modelo ajustado, que considera apenas os indicadores apresentados na Tabela 4.1, buscou-se recorrer às percepções sobre o conceito de segurança hídrica e de outros fatores intervenientes (obtidos conforme metodologia da Seção 4.1) para qualificar e tornar ainda mais holística a análise da segurança hídrica na região de estudo. Esse exame complementar se deu por meio de discussões gerais que abordaram como os fatores intervenientes, que não estão contemplados no ISH_{ajustado}, podem afetar a segurança hídrica da área de estudo e como podem ser incorporados em aprimoramentos futuros do modelo desenvolvido. Ressalta-se com tal análise os cuidados que se deve ter quando do emprego de modelos de segurança hídrica, dado ao recorte de sua representação, i.e., e quais fatores ele abarca.

4.2.2.4. Comparação do modelo aprimorado com modelo original e com outros estudos locais

Após a análise do ISH_{ajustado}, realizou-se uma comparação dos valores de segurança hídrica obtidos a partir do novo modelo em relação aos resultados do ISH original para 2017



UFES

(diagnóstico) e 2035 (prognóstico) na dimensão resiliência e no índice global. Para isso, utilizou-se do recorte do ISH para a RHJ, realizado durante a etapa anterior. Essa comparação teve o objetivo de verificar a sensibilidade do $ISH_{ajustado}$ e a diferença entre os graus de segurança hídrica para cada UP da RHJ obtidos por cada modelo.

Para auxiliar essa comparação, foram elaborados mapas com grau de segurança hídrica para a área de estudo e tabelas com os valores de área das UPs correspondente a cada grau de segurança hídrica nos dois índices. As análises foram realizadas para o nível de municípios e de regiões hidrográficas. No nível de regiões hidrográficas utilizaram-se as Unidades de Planejamento (UPs) e a hidrografia como referências. Em subsídio à interpretação dos resultados, utilizou-se de informações disponíveis no encarte dos CBHs Jucu e Santa Maria da Vitória (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016), elaborado para resumir alguns resultados do Plano de Recursos Hídricos da região. Igualmente utilizaram-se informações de registros de desastres ocorridos entre 2013 e 2023 obtidos no Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID) da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil (SEDEC, 2024).

4.3. APONTAMENTO DE LIMITAÇÕES E POTENCIALIDADES PARA A OPERACIONALIZAÇÃO DO MODELO ESTABELECIDO E PARA O APRIMORAMENTO DA MODELAGEM DE SEGURANÇA HÍDRICA

Após ter sido desenvolvido e aplicado o modelo $ISH_{ajustado}$, considerando a área de estudo escolhida, buscou-se apontar limitações e potencialidades para a operacionalização do $ISH_{ajustado}$ e para o aprimoramento do campo científico da modelagem de segurança hídrica. Para isso, utilizou-se de um método para estruturação de problemas (PSM, do inglês *Problem Structuring Method*) que aponta as limitações e potencialidades para operacionalização do modelo em questão, bem como para o aprimoramento do campo da modelagem da segurança hídrica.

Os PSMs têm a propriedade de focar na estruturação efetiva de uma situação problemática ao invés de “resolver” tal situação (MARTTUNEN; LIENERT; BELTON, 2017). Um PSM amplamente utilizado é a matriz de Forças (Strengths), Fraquezas (Weaknesses), Oportunidades (Opportunities) e Ameaças (Threats), conhecido como matriz FOFA, ou no inglês SWOT (MARTTUNEN; LIENERT; BELTON, 2017; VARGAS, 2022; SRDJEVIC; BAJCETIC; SRDJEVIC, 2012). A matriz SWOT identifica fatores externos (oportunidades e



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



ameaças) e internos (forças e fraquezas) do ambiente operacional e auxilia na definição de estratégias.

Com o conhecimento adquirido ao longo deste estudo foi possível perceber as limitações e potencialidades do modelo, e assim, listá-las, analisá-las e discuti-las. Para isso, foi elaborado um quadro baseando-se na matriz SWOT, no qual listaram-se limitações e potencialidades relacionadas ao modelo ISH_{ajustado} desenvolvido.

Por outro lado, pautado no conhecimento adquirido durante as etapas anteriores, especialmente da pesquisa de fatores relevantes e da sistematização de definições e modelos, foram identificadas e potencialidades e limitações voltadas à modelagem da segurança hídrica em geral.



UFES

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. IDENTIFICAÇÃO E SISTEMATIZAÇÃO DOS FATORES RELEVANTES PARA AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA HÍDRICA

Dentre os conceitos de segurança hídrica já apresentados nas seções de Introdução e Fundamentação Teórica, percebe-se que muitas revisões já foram realizadas apontando que mundialmente os conceitos utilizados são os mesmos, e geralmente amplos quanto ao modo de definir segurança hídrica. Ainda assim, na prática, o tema é tratado de forma restrita em seus modelos para avaliação. Portanto, focalizou-se no contexto brasileiro para aprofundar como o tema é tratado no país e levantar-se os fatores intervenientes na segurança hídrica que são importantes de se considerar.

5.1.1. Revisão sistemática sobre "segurança hídrica" em artigos e revisões conceituais no mundo

Em análise bibliométrica realizada com $N = 582$ documentos (entre artigos e revisões) presentes nas bases *Web of Science* e *Scopus*, publicados de 2012 a 2022, cuja chave de pesquisa foram o termo "*Water Security*" e variações das palavras "*definition*" ou "*concept*" ou "*review*", pôde-se perceber os temas mais tratados em conjunto do tema segurança hídrica. As palavras-chave mais encontradas nos documentos foram “*water security*” ($N = 209$), “*climate change*” ($N = 58$), “*food security*” ($N = 30$), “*water management*” ($N = 24$), “*water*” ($N = 23$), “*water scarcity*” ($N = 22$), “*desalination*” ($N = 18$), “*sustainability*” ($N = 18$), “*adaptation*” ($N = 17$) e “*resilience*” ($N = 16$). Algumas relações podem ser feitas a partir disso.

Primeiramente, verificou-se relação entre os termos mudança climática (*climate change*, o segundo termo mais citado), escassez hídrica (*water scarcity*), adaptação (*adaptation*) e resiliência (*resilience*). Conforme revisão de Gerlak e outros (2018), 91% dos modelos de segurança hídrica encontrados por eles consideraram o fator “quantidade de água” em sua estrutura. Ressalta-se, também, que a quantidade de água pode ser afetada por anomalias na temperatura e precipitação causadas por mudanças climáticas. Assim, esses termos destacados apontam para a relação da segurança hídrica com a gestão de riscos de desastres e para dois temas presentes desde suas primeiras definições: a escassez hídrica e o excesso de água (cheias, inundações etc). Já o termo dessalinização (*desalination*) aponta o anseio por tecnologias que levem ao alcance da segurança hídrica. Como destacam Gerlak e outros (2018), esse tem sido



UFES

o foco de muitos estudos em regiões como o Norte da África e Oriente Médio (MENA) e na Austrália, que enfrentam períodos longos de escassez hídrica.

Entre os termos mais citados, segurança alimentar (“food security”) aparece como o terceiro. A relação da água com a segurança alimentar tem sido salientada desde documentos mais antigos, como os relatórios da 1^a e 2^a Conferência Mundial da Segurança Alimentar (respectivamente UN, 1974 e FAO, 1996). Gerlak e outros (2018) inclusive tratam a definição de segurança alimentar da Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO, 1996) como uma definição preliminar de segurança hídrica, antes de o termo ganhar definições próprias. Em adição, a presença do termo segurança alimentar em artigos e revisões mais recentes indica a tendência de tratá-la junto da abordagem Nexo (GERLAK *et al.*, 2018; ALLAN; KENWAY; HEAD, 2018). Um exemplo disso é o artigo de Chamas e outros (2021) que traz o nexo água-energia-alimento-carbono, associando as três principais palavras-chave encontradas.

Por fim, os termos gestão da água (*water management*) e sustentabilidade (*sustainability*) são termos ainda bem ligados às discussões conceituais de segurança hídrica, e como visto na secção 3.1, foram temas que fizeram parte da formação desse termo. Outras definições também fazem interface com o termo segurança hídrica, dentre elas gestão sustentável da água, gestão integrada de recursos hídricos e, recentemente, gestão adaptativa da água e segurança hídrica urbana (ALLAN; KENWAY; HEAD, 2018; HOEKSTRA; BUURMAN; VAN GINKEL, 2018).

Em suma, o conceito de segurança hídrica ainda está em construção, o que causa dificuldades de implementá-la e de avaliá-la, requerendo esforço para sua melhor compreensão. Porém, é possível identificar os principais elementos que o compõem. Quantidade de água é um de seus temas basilares. Ligado a esse tema encontra-se a escassez hídrica como um dos assuntos mais tratados, acentuado pela tendência de incorporação de mudanças climáticas nos estudos sobre segurança hídrica. Percebeu-se também a interface com termos relacionados à abordagem nexo, sustentabilidade, gestão e ao ambiente urbano.



UFES

5.1.2. Revisão sistemática sobre o conceito de "segurança hídrica" no Brasil

Nessa segunda etapa de pesquisa e análise bibliométrica foram encontradas N = 202 publicações nas bases Scopus e Web of Science, com datação de 2007 a 2023. A maioria das publicações era em inglês. No Tabela 5.1 apresentam-se as dez palavras-chave mais utilizadas pelos autores das publicações.

Pela análise das palavras-chave, percebe-se que o tema segurança hídrica no país é focado em assuntos voltados a mudanças climáticas (palavra-chave: "climate change"), escassez hídrica (onde podem ser interligados as palavras-chave: "climate change", "water scarcity", "drought", "water supply", "water availability", "groudwater", "semiarid"), gestão de recursos hídricos, uso do solo e qualidade de água para o abastecimento público.

Pode-se identificar também a quantidade de publicações ao longo dos anos nas bases indexadoras Scopus e Web of Science (Figura 5.1), considerando o contexto brasileiro. Observa-se um aumento considerável do número de publicações a partir de 2013, mesmo período em que é lançada a definição de segurança hídrica da UN-Water (2013) e quando se iniciava a deflagração da crise hídrica dos sistemas de abastecimento no sudeste brasileiro (especialmente do Sistema Cantareira em São Paulo). Esses dois referidos eventos (um de definição do termo, outro de início político de utilização do mesmo termo) podem ter tido grande influência na mentalidade desenvolvida a partir daí.

Tabela 5.1 — Palavras-chave mais utilizadas pelos autores e Keyword-Plus identificadas pela base Web of Science na revisão do contexto brasileiro

(continua)

Ranking	Palavras-chave definidas por autores (Author Keywords)	Quantidade de artigos	Palavras chaves geradas automaticamente pela base Web of Science (Keyword-Plus)	Quantidade de artigos
1	WATER SECURITY	57	BRAZIL	80
2	CLIMATE CHANGE	15	WATER SUPPLY	39
3	BRAZIL	13	WATER MANAGEMENT	36
4	WATER SCARCITY	12	CLIMATE CHANGE	31

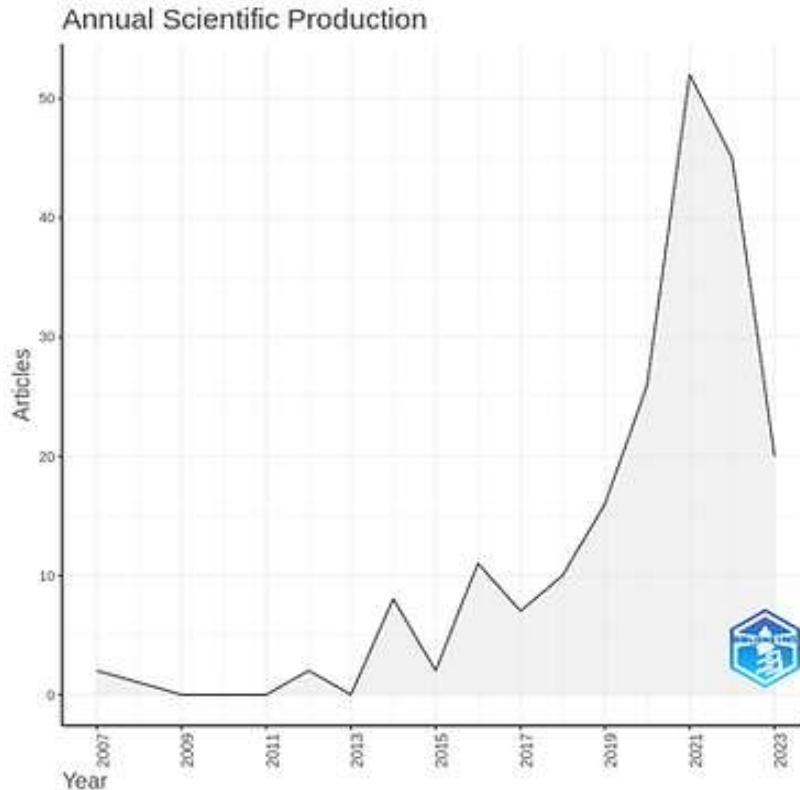
Tabela 5.1 — Palavras-chave mais utilizadas pelos autores e Keyword-Plus identificadas pela base Web of Science na revisão do contexto brasileiro

(conclusão)

Ranking	Palavras-chave definidas por autores (Author Keywords)	Quantidade de artigos	Palavras chaves geradas automaticamente pela base Web of Science (Keyword-Plus)	Quantidade de artigos
5	WATER MANAGEMENT	11	DROUGHT	25
6	DROUGHT	9	ARTICLE	22
7	GROUNDWATER	8	WATER QUALITY	19
8	WATER RESOURCES	8	WATER INSECURITY	17
9	SEMIARID	6	LAND USE	14
10	LAND USE	5	WATER AVAILABILITY	14

Fonte: o autor.

Figura 5.1 — Número encontrado de publicações indexadas nas bases de dados SCOPUS e WEB OF SCIENCE, por ano, abordando o tema segurança hídrica



Fonte: o autor.



UFES

Pela análise das publicações e das palavras-chave mais utilizadas pelos pesquisadores, pôde-se construir um modelo mental geral para se tratar do tema segurança hídrica no contexto brasileiro. Segue o observado:

- O problema: considera-se que as mudanças climáticas associadas às um uso e manejo do solo e da água pouco conservacionista promoveram escassez hídrica em várias regiões brasileiras. A diminuição da oferta de recursos hídricos, prolongada pela diminuição da água subterrânea disponível, foi bastante observada na crise dos reservatórios de abastecimento de água no sudeste do país, por volta de 2013.
- O desejo: que o Brasil tenha segurança hídrica, isto é, que o setor de abastecimento para consumo humano, prioritariamente, consiga lidar bem com as demandas de água e que as secas não causem muitos danos para os diversos setores.
- A solução: tem-se incentivado uma gestão da água focada em aumentar a disponibilidade de água e melhorar a qualidade da água. Além disso, acredita-se que diversas técnicas para lidar com a seca e estratégias de governança, muitas das quais já estavam sendo aplicadas no semiárido brasileiro, precisem ser levadas para o restante do país.

Ressalva-se de que isso é um modelo mental observado, que retrata de modo geral o contexto brasileiro, o que não corresponde necessariamente com o que de fato é segurança hídrica e quais são os verdadeiros/principais problemas e as melhores soluções para promovê-la.

Essa análise do modelo mental é relevante para os objetivos deste estudo, ao auxiliar na compreensão dos problemas que levaram à procura por segurança hídrica no Brasil, do objetivo que se quer alcançar com muitas das intervenções e das soluções que se propõem para garantir a segurança hídrica. Essa análise aponta para os caminhos que as discussões sobre segurança hídrica têm tomado e o foco que se dá, além de auxiliar na percepção do que tem sido desconsiderado. Como o anseio desse trabalho é aprimorar a modelagem de segurança hídrica, entender como a segurança hídrica é considerada no contexto brasileiro auxilia a identificar se o Brasil segue o mesmo modo de tratar a segurança hídrica que outros países. De fato, percebe-se, pelo modelo mental disposto, que o Brasil segue a mesma tendência de outros países em tratar a segurança hídrica como sinônimo de escassez hídrica (especialmente para o abastecimento), como abordam Marcal, Antizar-Ladislao e Hofman (2021) e Gerlak e outros (2018). Portanto, o modelo mental influencia os modelos analíticos que se constroem para um



UFES

mesmo país, guiando os objetivos da modelagem e temas tratados nela¹¹. Da mesma forma, conhecer o modelo mental auxilia na fuga de abordá-la pelo mesmo viés atual, e assim aprimorar a modelagem a partir de uma perspectiva mais ampla.

5.1.3. Sistematização de modelos para avaliação da segurança hídrica no contexto brasileiro

Partindo para uma pesquisa mais ampla, utilizando-se as bases *Scielo* e *Google Scholar*, além das bases Scopus e Web of Science, encontraram-se 22 publicações (nas literaturas branca e cinza) com modelos únicos originais ou modificados a partir de um modelo anterior (Tabela 5.2). Octavianti e Staddon (2021) encontraram 80 modelos únicos ao redor do mundo, sendo apenas três deles os capturados também nessa nova busca focalizada no Brasil. Essa diferença se deve ao esforço mais preciso para encontrar modelos no contexto brasileiro, seja em inglês como em português. Assim, a quantidade de modelos ao redor do mundo que havia em 2018 (conforme critérios de busca do presente estudo, estimado só para o Brasil) era ainda maior do que os 80 encontrados por Octavianti e Staddon (2021) (conforme critérios de busca desses referidos autores). A Lista completa com os modelos encontrados durante a pesquisa estão no APÊNDICE A.

Avaliando a Tabela 5.2, percebeu-se que a maioria dos modelos aplicados no país são da categoria “sistema de indicadores/índices”, com crescimento considerável de publicações desse tipo nos últimos 5 anos (Figura 5.2), tendo sido grandemente influenciado pelo lançamento do modelo ISH da ANA em 2019 (como pode ser visto no APÊNDICE A, no qual a maioria dos modelos baseados em índices/indicadores após 2019 estão relacionados ao ISH da ANA) . O segundo tipo de modelo mais utilizado são os da categoria “pegada hídrica azul e verde”, tendo sido precursora da modelagem de segurança hídrica no país com o trabalho de Rodrigues, Gupta e Mediondo (2014). Como pode ser visto na Figura 5.2, houve um aumento mais

¹¹ Principalmente ser for considerado como modelo mental algo semelhante ao estágio preliminar na construção de modelos para avaliação de sistemas ambientais denominado “modelo perceptivo” (definido como um ciclo restrito de percepções puramente sensoriais, juntamente com interpretações dos dados) que Gupta e outros (2011) abordam. Nesse caso, ele seria o precedente informal da construção e existente apenas na mente do pesquisador (o que investiga a segurança hídrica), influenciado pelas suas ideias da realidade (o que se resumiu nessa pesquisa como o problema, o desejo e a solução), e que precederá sua construção de modelos analíticos (GUPTA *et al.*, 2011).



UFES

acentuado do número de publicações que tratavam desta categoria de modelo, no contexto brasileiro, a partir de 2019.

Tabela 5.2 — Quantidade de publicações e dimensões abordadas por tipo de modelo aplicado no Brasil

Categoria de modelo	Qtd de Publicações	Dimensões				
		Humana	Econômica	Ecossistêmica	Resiliência	Governança
Baseado em pesquisas/experiências	1	1	-	-	-	-
Baseado em risco	3	3	-	2	2	2
Dinâmica de sistemas	-	-	-	-	-	-
Pegada hídrica azul e verde	7	5	3	2	5	-
PSR/DPSIR	2	2	2	2	2	2
Sistema de indicadores/ índice	10	10	7	8	9	2
Total geral	23	21	12	14	18	6

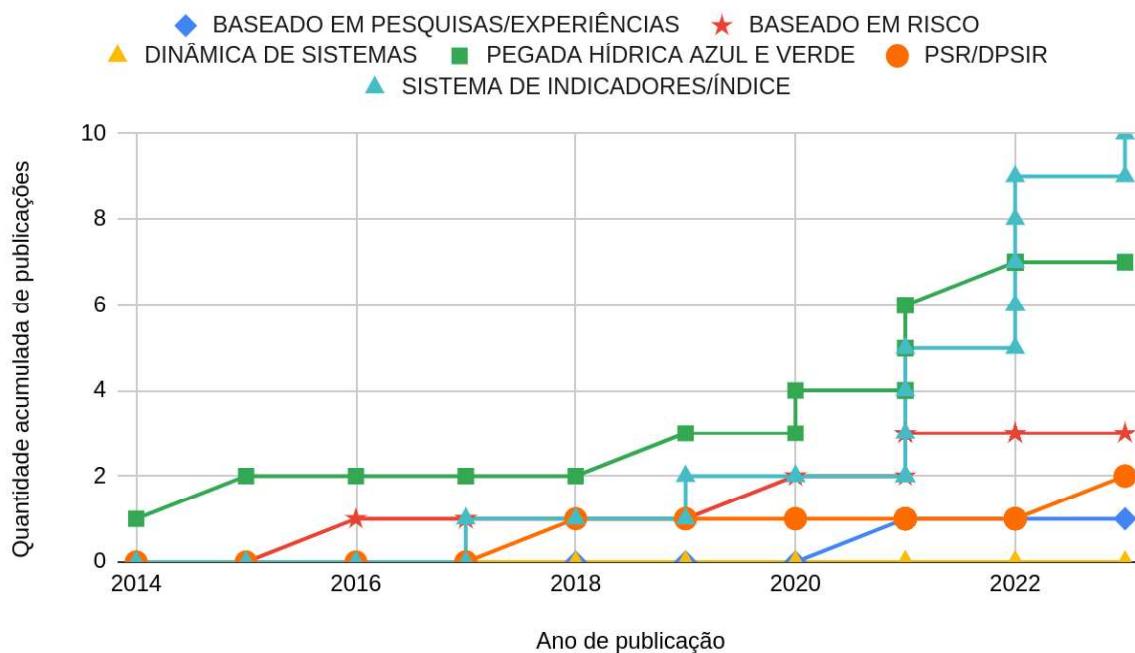
Fonte: o autor. Obs: Células marcadas com hífen “-” representam valor nulo.

Na Tabela 5.2, verifica-se que dos 23 modelos encontrados, apenas 6 consideram a dimensão de governança (26% dos modelos) em sua estrutura, 12 consideram a dimensão econômica (52% dos modelos), 14 a dimensão ecossistêmica (61%) e 18 a dimensão de resiliência (78%). A dimensão que mais é considerada é a humana (21 de 23 modelos, correspondente a 91% dos modelos). Isso pode ser reflexo, entre outros, do tema segurança hídrica ter ganhado espaço no país a partir da crise de abastecimento da região sudeste (a partir de 2013).

Semelhante ao observado por Octavianti e Staddon (2021), o único modelo encontrado que se baseia em experiências individuais (Tabela 5.2) abarca apenas questões da dimensão humana, seguindo a tendência dessa categoria de modelo. Esse modelo, apesar de incluir o Brasil, foi realizado para 31 países de baixa e média renda (países sub-saarianos, Norte da África, América Latina e Ásia) (YOUNG *et al.* 2021). Nos demais tipos de modelos, houve uma variedade maior de dimensões abordadas.

Os modelos da categoria PSR/DPSIR foram os mais abrangentes, abordando todas as dimensões. Porém, eles foram desenvolvidos para o Brasil apenas conceitualmente (SUGAHARA *et al.*, 2023) ou tendo o Brasil como um dentre vários países analisados (VAN GINKEL *et al.*, 2018) e, portanto, não considerando especificações do país.

Figura 5.2 — Quantidade acumulada de publicações, por ano, com desenvolvimento de modelos de segurança hídrica aplicados no Brasil



Fonte: o autor.

Os modelos de pegada hídrica têm foco na dimensão humana e de resiliência, com característica de serem voltados para medir escassez. Bacias hidrográficas situadas nos estados de São Paulo e Minas Gerais (como a do Piracicaba, Paraíba do Sul e Jaguari) são onde modelos de pegada hídrica vêm sendo mais desenvolvidos (RODRIGUES; GUPTA; MEDIONDO, 2014; RODRIGUES *et al.*, 2015; GESUALDO *et al.*, 2019; PAIVA *et al.*, 2020; SONE *et al.*, 2022), porém observaram-se também aplicações no âmbito de setores econômicos no Brasil (MAIA; PEREIRA JÚNIOR, 2021) e em outras regiões como em Goiás e no Distrito Federal (CHAVES; SILVA; FONSECA, 2021).

Os modelos baseados em risco identificados são os elaborados por de Melo (2016) e de Melo e outros (2021), para o sistema de abastecimento no Rio das Velhas, Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG) e por Tomaz, Jepson e Santos (2020) para segurança hídrica ao nível de bairro em Forquilha, Ceará, Brasil (esse tendo abordagem muito próxima das de modelos baseados em experiências).



UFES

Os modelos baseados em indicadores/índices são os que mais vêm sendo desenvolvidos e, por sua característica de utilizar-se de análises multicriteriais, apresentam uma amplitude maior de dimensões, como observado nos modelos PSR/DPSIR. Esses modelos — diferentemente dos anteriormente citados, que apresentam geralmente seus resultados em forma de gráficos ou tabelas —, em sua maioria, apresentam seus resultados em mapas coropléticos com auxílio de sistemas de informações geográficas (SIG). Eles vêm sendo desenvolvidos tanto no âmbito federal (ANA, 2019c; ANA, 2021) quanto em pesquisas acadêmicas específicas para locais da região sul (BRITO, DE BRITO, RUFINO, 2022; POZZEBON *et al.*, 2022; RAMOS FILHO *et al.*, 2023), sudeste (MONIQUE *et al.*, 2021), centro-oeste (CASTRO, 2017; BARBOSA, 2022) e nordeste (ALMEIDA *et al.*, 2022) do Brasil, além de um modelo não testado em uma área específica (NAVARRO *et al.*, 2021).

O estudo desses diferentes tipos de modelos se fez relevante ao permitir, dentre outros benefícios: compreender como vem sendo desenvolvida a modelagem de segurança hídrica no Brasil e quais categorias de modelos mais têm sido estudadas; perceber quais as lacunas dos modelos existentes e quais dimensões são consideradas em suas respectivas estruturas; e conhecer indicadores que vêm sendo utilizados nas análises de segurança hídrica.

5.1.4. Sistematização e seleção de fatores relacionados à segurança hídrica.

Através da pesquisa e análise de publicações selecionadas na literatura e das palavras-chave encontradas na pesquisa sistemática sobre "segurança hídrica" em artigos e revisões conceituais no mundo foi possível identificar 178 termos, aos quais foram agrupados em 47 grupos de termos por semelhança entre eles. No APÊNDICE B estão expostos os termos encontrados e a fonte de pesquisa de cada um. Baseando-se nesses termos, elencaram-se 129 fatores influentes sobre a segurança hídrica. Esses fatores foram agrupados três a três em 43 elementos, os quais foram categorizados em cinco (05) dimensões da segurança hídrica.

A Figura 5.3 apresenta os elementos que compõem cada dimensão de análise da segurança hídrica. A lista completa está disposta no APÊNDICE C. Cada elemento comporta três fatores classificados entre: fator de situação, fator de impacto e fator de mudança.

Nota-se que a maioria dos fatores se enquadrou na dimensão de resiliência, econômica e governança (10 elementos cada = 30 fatores cada), seguida da dimensão humana (09 elementos



UFES

= 27 fatores) e, por fim, da dimensão ecossistêmica (04 elementos = 12 fatores). Apesar do aparente equilíbrio entre o número de elementos (e fatores) da maioria das dimensões, ressalta-se o reduzido número da dimensão ecossistêmica. Esse desequilíbrio requer melhor investigação e compreensão. Entretanto, tendo em vista que essa lista de elementos/fatores é resultado da revisão sistemática da literatura, ela tende a refletir quais assuntos podem ter maior peso nas discussões e análises de segurança hídrica, por refletirem a maioria dos temas relacionados.

Igualmente, chama-se atenção que alguns elementos se repetem nas diferentes dimensões. Apesar de esses elementos serem iguais em nomenclatura, têm papéis distintos em cada dimensão. Por exemplo: a qualidade de água que aparece como elemento na dimensão humana tem relação com a água de mananciais de abastecimento populacional, para atender as necessidades de se obter água para consumo humano; a qualidade da água na dimensão econômica refere-se à capacidade de atender padrões e não prejudicar os usos pelos setores econômicos; já a qualidade de água na dimensão ecossistêmica referem-se a padrões que atendam as especificidades dos cursos d'água em não prejudicar a manutenção do ecossistema e da biodiversidade aquática. Ressalta-se que esse modo de classificação, que pode mudar conforme percepções de quem organiza os fatores em dimensões, tem estrita função de facilitar análises através da compartimentação. Todavia, considerando as interações sistêmicas, cada intervenção no contexto prático em um fator pode afetar outro fator, mesmo em dimensões diferentes.

Figura 5.3 — Elementos identificados para cada dimensão, onde foram segregados os fatores

Dimensão de governança Arcabouço Legal	Comunicação, transparéncia e prestação de contas	Governança de conflitos por uso da água	Investimento/financiamento e gestão financeira	Dimensão ecossistêmica Garantia de água para ecossistemas naturais	Proteção ecológica dos cursos hídricos (endógeno)	Dimensão humana Acesso à água potável	Conflitos por uso da água envolvendo comunidades	Qualidade da água para abastecimento e usos sociais e culturais
Capital intelectual e educação para Redução de Riscos de Desastres nos ambientes de governança	Educação ambiental e capital intelectual dos ambientes de governança					Acesso ao saneamento e higiene		
Colaboração transfronteiriça e internacional	Estabilidade política e articulação institucional		Organização e atuação institucional	Proteção ecológica dos cursos hídricos (exógeno)	Qualidade da água para ecossistemas naturais	Capacidade tecnológica e inovações em serviços públicos relacionados à água	Educação ambiental e capital intelectual de comunidades	Cultura
			Participação/empenhamento de múltiplos níveis e participantes			Confiabilidade da infraestrutura hídrica pública de esgotamento, abastecimento e drenagem para comunidades		Garantia de água para abastecimento e usos sociais e culturais
Dimensão econômica Acesso à água para setores econômicos	Conflitos por uso da água envolvendo setores econômicos	Garantia de água para uso de setores econômicos	Qualidade da água para uso de setores econômicos	Dimensão resiliência Adaptação e resiliência à acidentes com poluição hídrica (desastres tecnológicos)	Adaptação e resiliência à inundação	Capacidade tecnológica e inovações em voltadas à gestão de riscos e desastres relacionados à água	Capital intelectual e educação para Redução de Riscos de Desastres	
Capacidade tecnológica e inovações relacionados à água em setores econômicos	Demandas socioeconômicas e uso produtivo da água		Educação ambiental e capital intelectual de setores econômicos	Adaptação e resiliência à conflitos por uso da água (incluindo guerras e sabotagens)	Adaptação e resiliência à seca			
Segurança energética	Segurança alimentar		Confiabilidade da infraestrutura hídrica pública e privada de esgotamento, abastecimento e drenagem para setores econômicos	Adaptação e resiliência à deslizamento de terra	Adaptação e resiliência salinização e intrusão da água do mar (incluindo maremotos)	Confiabilidade da infraestrutura hídrica frente a situações extremas e de preparação/prevenção de desastres relacionados à água	Mudanças climáticas	

Fonte: o autor.



UFES

Considerando questões práticas da modelagem, percebe-se desse modelo conceitual (com dimensões, elementos e fatores) que pela quantidade de fatores intervenientes na segurança hídrica, um modelo analítico que considerasse todos eles poderia conter dificuldade de operacionalização, devido a pelo menos dois motivos: (i) por falta de informações suficientes para cada fator; (ii) por custos operacionais na coleta de dados e análise dos dados. Além disso, sabe-se que alguns fatores são mais relevantes para certas regiões e objetivos do que outros (por exemplo, para apenas diagnosticar segurança hídrica do setor industrial em regiões distantes do oceano, os fatores referentes à salinização poderiam não ter muita relevância). Ainda assim, tal quantidade de fatores permite identificar em modelos existentes quais fatores estão sendo ou não tratados, e assim conhecer as limitações temáticas de cada modelo. Da mesma forma, o conhecimento de o que pode afetar a segurança hídrica, permite aprimorar modelos existentes quanto à amplitude dos temas que esses tratam, tanto incluindo esses fatores na forma de indicadores, quanto auxiliando na interpretação de resultados, ou seja, qualificando a análise. Por esses motivos, nas etapas seguintes, este modelo conceitual será utilizado para qualificar a análise da segurança hídrica em um modelo analítico escolhido que represente a segurança hídrica de um contexto local.

5.2. ESTABELECIMENTO DE MODELO PARA AVALIAÇÃO DE SEGURANÇA HÍDRICA COM POTENCIAL DE APLICAÇÃO NO CONTEXTO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Neste tópico são apresentados, inicialmente, os resultados da aplicação do ISH_{ajustado} na área de estudo (seção 5.2.1), por dimensão, para o ano de 2035 e, em seguida, uma avaliação comparativa entre o ISH_{ajustado} e o ISH original (seção 5.2.2).

5.2.1. Análise das dimensões do ISH_{ajustado}

Na Figura 5.4 são apresentados os resultados da aplicação do ISH_{ajustado} e do ISH à região hidrográfica do rio Jucu. Nas Figuras 5.4b, 5.4d, 5.4f e 5.4h é possível observar para o ano de 2035 os resultados de cada dimensão que compõe o ISH original, e unindo essas figuras à Figura 5.4k, obtém-se todas as dimensões do ISH_{ajustado}. Já na Figura 5.4l apresenta-se o resultado da aplicação do ISH_{ajustado} global, o qual agrupa as cinco dimensões da segurança hídrica. Por outro lado, nas Figuras 5.4i e 5.4j, é possível visualizar o recorte do ISH apenas com as quatro dimensões originais (agrupadas para os anos 2017 e 2035). Um resumo do

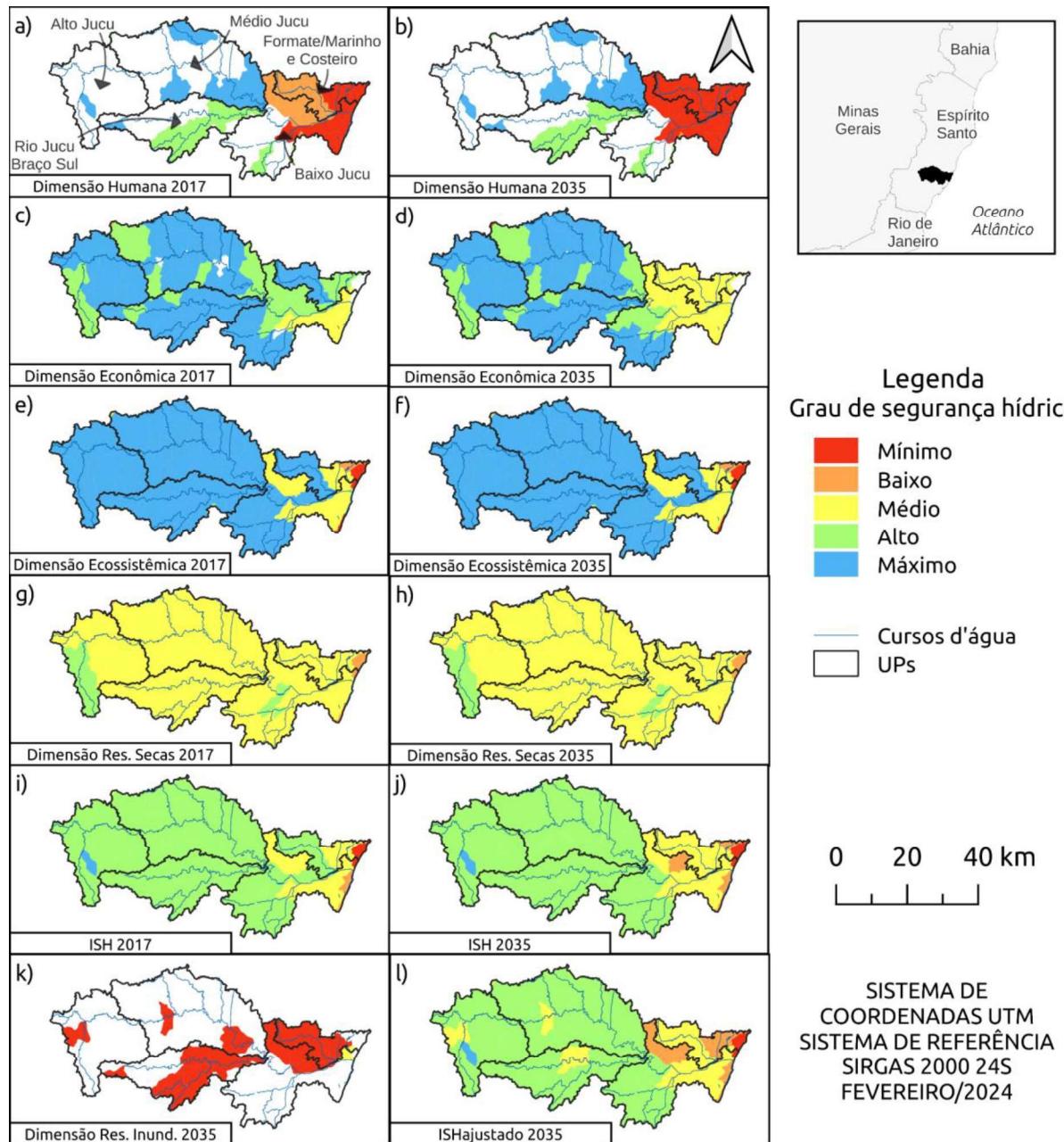


UFES

percentual de área da RHJ que se enquadra em cada grau de segurança hídrica estimados pelo ISH_{ajustado} e pelo ISH original está apresentado na Tabela 5.3.

Antes de seguir para a análise por dimensões, ressalta-se que há uma dimensão cujos fatores intervenientes foram identificados na seção 5.1.4, a de governança, que não está incorporada em ambos os índices (ISH e ISH_{ajustado}). Assim, fatores importantes para a região, como os relacionados à organização e atuação institucional, arcabouço legal, participação, financiamento no setor da água e capacitação em recursos hídricos, saneamento e gestão de desastres, entre outros, acabam não sendo analisados. Observa-se que a RHJ possui enquadramento de corpos d'água definido, um comitê atuante e cobrança por uso dos recursos hídricos, o que poderia indicar uma capacidade de governança maior sobre os recursos hídricos nela do que em outras regiões do ES que não estejam na mesma condição. Esta dimensão pode ser considerada em futuras atualizações do modelo ISH e do ISH_{ajustado}.

Figura 5.4 — Graus de segurança hídrica na Região Hidrográfica do Rio Jucu



Fonte: o autor. Obs.: a), c), e) e g) dimensões do ISH (ano de 2017); b), d), f), h) e k) dimensões do ISH_{ajustado} (ano de 2035); i) valor global do ISH no ano de 2017; j) valor global do ISH no ano de 2035; l) valor global do ISH_{ajustado} no ano de 2035.

Tabela 5.3 — Percentual de área das UPs da RHJ por grau de segurança hídrica, considerando a aplicação do ISH (anos 2017 e 2035) e do ISHajustado (ano 2035)

Unidades de Planejamento (UPs) da Região Hidrográfica do Rio Jucu (RHJ)	Alto Jucu (% de área da RHJ)			Baixo Jucu (% de área da RHJ)			Formate/Marinho e Costeiro (% de área da RHJ)			Médio Jucu (% de área da RHJ)			Rio Jucu Braço Sul (% de área da RHJ)			Total da RHJ (% de área da RHJ)		
	ISH 2017	ISH 2035	ISH ajustado 2035	ISH 2017	ISH 2035	ISH ajustado 2035	ISH 2017	ISH 2035	ISH ajustado 2035	ISH 2017	ISH 2035	ISH ajustado 2035	ISH 2017	ISH 2035	ISH ajustado 2035	ISH 2017	ISH 2035	ISH ajustado 2035
1 - Mínimo	-	-	-	0,15%	0,15%	0,15%	0,64%	0,64%	0,64%	-	-	-	-	-	-	0,79%	0,79%	0,79%
2 - Baixo	-	-	-	0,77%	1,89%	4,00%	0,01%	0,69%	2,28%	-	-	0,02%	-	-	-	0,78%	2,58%	6,29%
3 - Médio	0,01%	0,01%	1,50%	7,92%	8,20%	6,10%	2,43%	6,52%	4,93%	0,09%	0,09%	1,20%	-	-	2,22%	10,45%	14,83%	15,95%
4 - Alto	18,75%	18,75%	17,27%	13,05%	11,65%	11,65%	4,77%	-	-	32,73%	32,73%	31,60%	17,90%	17,90%	15,68%	87,21%	81,03%	76,19%
5 - Máximo	0,77%	0,77%	0,77%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77%	0,77%	0,77%	
Total geral	19,54% (424,80 km ²)			21,90% (476,03 km ²)			7,85% (170,63 km ²)			32,82% (713,46 km ²)			17,90% (389,08 km ²)			100,00% (2174,00 km ²)		

Fonte: o autor. Obs.: Células com hifen “-” representam área nula.



UFES

5.2.1.1. Dimensão resiliência

A dimensão resiliência está dividida em duas subdimensões no ISH_{ajustado}, que serão apresentadas separadamente.

A subdimensão Resiliência às Secas (que corresponde a toda a dimensão resiliência do ISH original) não dependeu do balanço hídrico e da quantidade da população (únicos parâmetros alterados no cenário de 2035), assim, não houve alterações do diagnóstico de 2017 para a projeção de 2035. Portanto, foi possível observar pelos dados calculados e disponibilizados pela ANA (2019b) para esses dois anos, que a maior parte da RHJ apresentou grau médio de segurança hídrica. Por outro lado, na área costeira situada a menos de 10km do mar verificou-se um grau baixo de segurança hídrica (Figura 5.4g e 5.4h), fato que reflete o baixo potencial de armazenamento de água nas ottobacias mais próximas ao litoral¹². O volume potencial de armazenamento artificial foi quase nulo (em torno de 10^{-4} hm³/km²), devido a não existir reservatórios artificiais de volume significativo na RHJ. Poucas áreas apresentaram grau alto na subdimensão resiliência às secas, a saber, em ottobacia a montante do Rio Jucu Braço Norte (na UP Alto Jucu), e em partes do rio Jacarandá e do Rio Jucu (na UP Baixo Jucu). Essas regiões, respectivamente, têm níveis um pouco menores do coeficiente de variação pluviométrica e maiores de infiltração (potencial de armazenamento subterrâneo) que as demais. O potencial de reservação natural (razão entre a vazão com 95% de permanência e a vazão média de longo termo) é máximo, pela classificação adotada, em praticamente toda a RHJ. Em análise geral, este cenário expressa potencial insuficiência dos estoques de águas naturais e artificiais para suprimento de demanda dos usos múltiplos da água em situação de estiagens severas e de seca.

Quanto à subdimensão resiliência às inundações, aplicando o IVI (seu indicador único) na RHJ para o ano de 2035 (Figura 5.4k), percebe-se que todas as cinco UPs possuem alguma ottobacia com grau mínimo para a nova dimensão, ou seja, contém áreas de alta vulnerabilidade às inundações. Isso corresponde a 27,36% da área da RHJ apresentando grau mínimo de segurança hídrica na dimensão. Apenas em uma pequena área próxima à foz do rio Jucu (0,61%

¹² Isso ocorre na RHJ, porque a maioria dessas ottobacias a menos de 10 km do mar são de cursos d'água que começam nesses 10 km de costa e terminam no mar, não possuindo um outro curso d'água ligado a elas a montante ou a jusante.

da RHJ), foi observado o grau médio de segurança hídrica (área classificada como de baixa vulnerabilidade a inundações). No restante da RHJ (72,03% da área total) não foi contabilizado o grau de segurança hídrica por não apresentar vulnerabilidade à inundaçāo conforme o IVI. Esses dados podem ser vistos detalhadamente na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 — Porcentagem da área da RHJ por grau do ISH_{ajustado} (ano 2035) na subdimensão Resiliência às Inundações

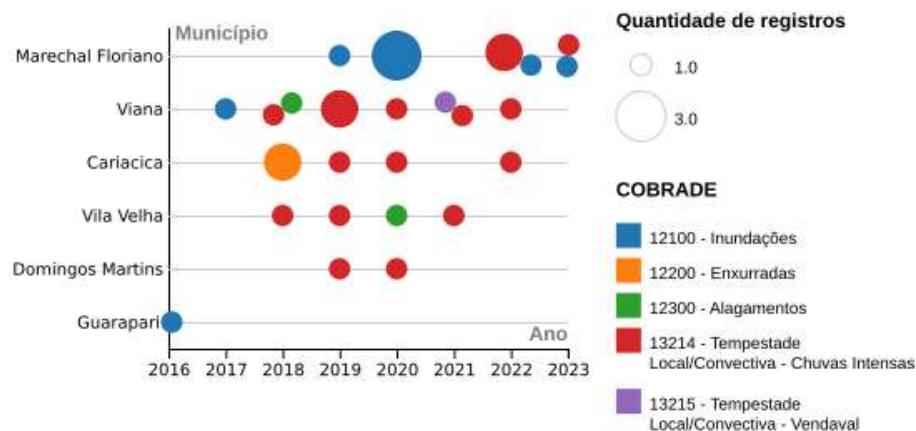
Grau de segurança hídrica na dimensão Resiliência às Inundações	Unidades de Planejamento (UPs) da Região Hidrográfica do Rio Jucu (RHJ)					Total da RHJ (% de área da RHJ)
	Alto Jucu (% de área da RHJ)	Baixo Jucu (% de área da RHJ)	Formate/ Marinho e Costeiro (% de área da RHJ)	Médio Jucu (% de área da RHJ)	Rio Jucu Braço Sul (% de área da RHJ)	
Não se aplica	18,04%	16,72%	1,26%	29,21%	6,80%	72,03%
1 - Mínimo	1,50%	4,73%	6,43%	3,60%	11,10%	27,36%
2 - Baixo	-	-	-	-	-	-
3 - Médio	-	0,45%	0,16%	-	-	0,61%
Total geral	19,54% (424,80 km ²)	21,90% (476,03 km ²)	7,85% (170,63 km ²)	32,82% (713,46 km ²)	17,90% (389,08 km ²)	100,00% (2174,00 km ²)

Fonte: o autor. Obs.: Células com hífen “-” representam área nula.

Parte dos resultados coincide com a percepção local exposta no encarte dos CBHs Jucu e Santa Maria da Vitória (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016). Nesse encarte, identificaram-se as áreas mais propensas à inundaçāo, aquelas que estão situadas nas sedes urbanas e nas UPs Formate Marinho/Costeira e Rio Jucu Braço Sul. Essa primeira UP também foi identificada no ISH_{ajustado}. Já a segunda UP, ela não aparece no índice global do ISH_{ajustado} como uma das UPs mais críticas, mas tem extensas áreas de grau mínimo de segurança na subdimensão resiliência às inundações. Analisando-se os registros no S2ID de desastres relacionados ao excesso de água (SEDEC, 2024), resumidos na Figura 5.5, percebe-se que Viana e Marechal Floriano estão empatrados em maior número de registros (9, cada um, relacionados às chuvas intensas e enxurradas). Seguem-se após esses municípios os de Cariacica (5 relacionados a enxurradas e chuvas intensas) e Vila Velha (4, relacionados a chuvas intensas e alagamentos). Domingos Martins (2 relacionados a chuvas intensas) e Guarapari (1 relacionado à inundaçāo) apresentam a menor quantidade de registros. Comparando essas informações com o mapa da subdimensão resiliência às inundações (Figura 5.4k) e os municípios que juntos contém a RHJ (Figura 4.1), percebe-se que Marechal Floriano (que está todo inserido na UP rio Jucu Braço Sul) apresenta grande parte dos trechos com vulnerabilidade a inundações. Por outro lado, tanto Domingos Martins (que está majoritariamente contido nas UPs Rio Jucu Braço Norte e Alto Jucu) quanto

Guarapari (que possui uma parte de sua área na UP Baixo Jucu) são os municípios com menos trechos vulneráveis, se comparados aos outros municípios na RHJ. Contudo, os registros (que em alguns casos tornaram-se decretos de Situação de Emergência ou Estados de Calamidade Pública) apontam que, ainda que poucas áreas sejam consideradas de alto risco, elas podem ter grande impacto no desenvolvimento sustentável da região, necessitando-se de auxílio externo ao município para se reconstruir após os danos causados pelos desastres envolvendo inundações.

Figura 5.5 — Quantidade de desastres hidrológicos e meteorológicos (restringindo-se aos relacionados à tempestade) entre 2013 e 2023 registrados no S2ID pelos municípios onde a RHJ está inserida



Fonte: adaptado de SEDEC (2024). Obs: O código dos desastres está conforme a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (COBRADE). Foram contabilizados apenas registros com a situação de “registrado” e “reconhecido”. O primeiro registro relacionado aos tipos referidos de desastres entre os municípios citados foi apenas em 2016.

Considerando a dimensão resiliência de forma ainda mais ampla, não se restringindo às secas e inundações, uma região pode apresentar criticidade maior em períodos de balanço hídrico deficitário também por haver nela conflitos, às vezes violentos, pelo uso da água — aliás, o perigo de sabotagem e guerras pela água foi um dos motivos que criaram o termo segurança hídrica, como aborda Octavianti (2020). Mesmo longos períodos de estiagem podem aumentar intrusões salinas em bacias exorreicas, que poderiam atingir pontos de captação de água, comprometendo-os. Da mesma forma, a resiliência aos acidentes com poluição hídrica (desastres tecnológicos) é um elemento que, mesmo tendo sido considerado na dimensão ecossistêmica (discutida mais adiante na seção 5.2.1.4) pelo indicador “segurança de barragens



UFES

de rejeito da mineração”, poderia ser considerado em uma dimensão de resiliência a desastres tecnológicos relacionados à água.

5.2.1.2. Dimensão humana

Nessa dimensão, o método do ISH analisa apenas as ottobacias que interseccionam áreas urbanas. Devido a essa característica, muitas áreas da bacia que são rurais aparecem como sem dados (cerca de 58,84% da área da RHJ), e assim, sem um grau definido de segurança hídrica. Considerando os graus por ottobacia em 2017 (Figura 5.4a), observa-se grau mínimo em 8,54% da área da RHJ, abarcando ottobacias da UP Formate/Marinho e Costeiro e Baixo Jucu. Grau baixo foi diagnosticado tanto na UP Formate/Marinho e Costeiro, quanto na Baixo Jucu, perfazendo 9,57% da área da RHJ. Grau alto foi encontrado em 10,03% da RHJ, com destaque para a UP Rio Jucu Braço Sul. Grau máximo foi encontrado em 13,02% da RHJ, sendo em algumas ottobacias a montante das UP Alto Jucu e Rio Jucu Braço Sul e sobressaindo na UP Médio Jucu. Essas regiões com graus alto e máximo são localidades mais distantes dos grandes aglomerados urbanos, possuindo, no geral, menor demanda de água para abastecimento dos bairros. Na projeção para 2035, percebeu-se alteração apenas pela diminuição de grau baixo para mínimo na região costeira da UP Baixo Jucu e a montante da UP Formate/Marinho e Costeiro, tornando-se 18,02% a área total da RHJ com grau mínimo e 0,08% a área com grau baixo.

Analizando pela Tabela 5.5, que traz a classe do ISH na dimensão humana, por município, verifica-se que no cenário de 2035, os municípios de Cariacica, Viana e Vila Velha possuem os menores graus de segurança hídrica para as ottobacias que interceptam setores censitários urbanos. Isso pode ser verificado na Figura 5.4b comparando com a Figura 4.1. Pela projeção do ISH para 2035, Vila Velha terá em risco de desabastecimento cerca de 455 mil habitantes (77,12% da população urbana projetada para o município) (Figura 5.6). Isso ocorre ainda que o município mantenha uma das maiores taxas coberturas de rede de abastecimento (97,3%) (Figura 5.6) dentre os municípios analisados; pois, mesmo com a taxa de cobertura relativamente alta — maior que cobertura média do ES (88,7%) e do Brasil (92,0%) —, a demanda de água da região urbana seria bem maior que a disponibilidade. Por outro lado, como observa-se na Figura 5.6, as ottobacias que interceptam áreas urbanas no município de Domingos Martins possuem a menor porcentagem da sua população urbana em risco de desabastecimento (0,06%, assim como Marechal Floriano) e a maior taxa de cobertura da rede

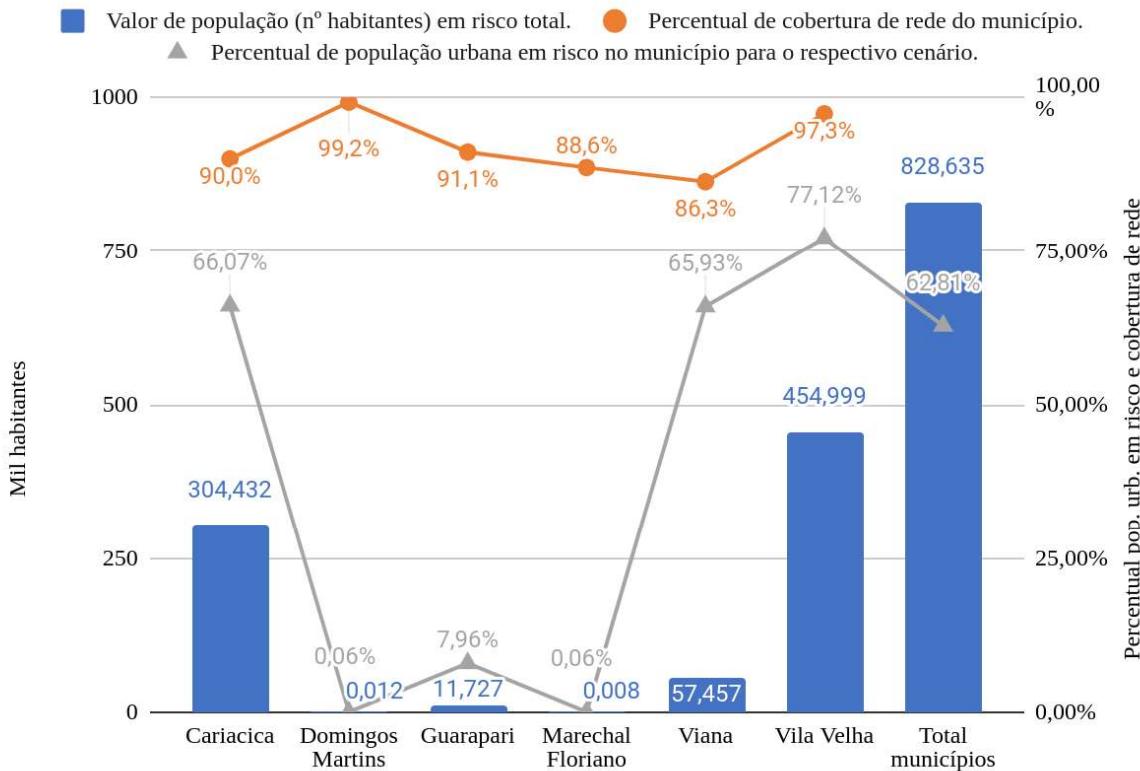
(99,2%), e consequente maior índice de segurança hídrica (Tabela 5.5). Considerando todos os municípios que interceptam a RHJ, 828.635 habitantes (60% da população total desses municípios e 17% da população total projetada para o ES que é de 4.771.636 habitantes) estariam em risco de desabastecimento nesse cenário. Como a capital do estado também é abastecida pelo Jucu, através de seu sistema integrado (SIN Jucu), a ampliação da demanda de água em Vitória poderia agravar o grau de segurança hídrica dessa dimensão.

Tabela 5.5 — Classe (1-5) do Índice de Segurança Hídrica dos municípios que contém a RHJ para projeção de 2035 associado à sua população urbana

Nome do município	Cariacica	Domingos Martins	Guarapari	Marechal Floriano	Viana	Vila Velha
Graus de segurança hídrica	1	5	3,7	4,1	1	1

Fonte: adaptado de ANA (2019b).

Figura 5.6 — Relação para 2035 entre população em risco (em número total de habitantes e em percentual da população urbana) e percentual de cobertura de rede, por município



Fonte: adaptado de ANA (2019c).



UFES

Três ressalvas sobre os indicadores e a projeção utilizada nessa dimensão são apresentadas a seguir. Primeiro, até 2035, não apenas a demanda de água, mas também a área urbana poderá crescer com o aumento da população. Isso significa que as ottobacias que não possuem área urbana atualmente, poderão possuir num cenário futuro, e tal análise de uso do solo não está incorporada no índice. Segundo, a expansão imobiliária ocorre tanto em áreas urbanas quanto rurais. Como a dimensão humana não considera o abastecimento rural, a dificuldade de cobertura de rede de abastecimento, e em alguns casos até para implantação de sistemas alternativos, fica despercebido. Assim, é necessário considerar que a expansão imobiliária poderá fazer com que predominantemente municípios rurais e que possuem relevo íngreme (que dificulta a cobertura de rede), como Domingos Martins e Marechal Floriano, poderão ter dificuldade de abastecer condomínios e loteamentos rurais, alguns desses focados em casas de campo nas montanhas. Terceiro, ressalta-se que o balanço hídrico se baseou na população residente, e que a escala temporal do índice é representada por valores anuais. Isso impediu o ISH de demonstrar a variação da demanda de água devido à população flutuante ao longo do ano. Algumas regiões que têm vocação turística, como Vila Velha e Guarapari (praias e religioso) e Domingos Martins e Marechal Floriano (agroecoturismo), podem apresentar agravamentos no nível de segurança hídrica caso não haja o planejamento também para suas temporadas turísticas.

Visto que outros fatores intervenientes na dimensão humana da segurança hídrica, conforme seção 5.1.4, não estão representados no índice, é importante ponderar seus resultados, para compor a análise com os fatores que ele não traz, mesmo que qualitativamente. Por exemplo, no Atlas Águas (ANA, 2021) novos indicadores foram utilizados para analisar a dimensão humana da segurança hídrica no ambiente urbano. O Índice de Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano (ISH-U), como foi denominado, considera quatro indicadores, combinados em dois subíndices: um relacionado à eficiência da produção de água (indicadores de vulnerabilidade dos mananciais e dos sistemas produtores) e outro sobre a eficiência da distribuição de água (indicadores de cobertura e de desempenho no gerenciamento das perdas). Segundo a lista de fatores da seção 5.1.4, apresentada em detalhes no APÊNDICE C, pode-se dizer que os quatro indicadores abarcam, respectivamente, os fatores: disponibilidade relativa de água nas fontes e cursos d'água utilizadas pelas comunidades; capacidade da infraestrutura pública de abastecimento para comunidades; nível de acesso à água potável; e condição da infraestrutura pública de abastecimento para comunidades.



UFES

Além desses fatores representados no ISH-U, questões culturais também podem interferir no nível de segurança hídrica, como através de seu valor cultural, acesso e promoção das práticas de convivência e cultura nesses cursos d'água. Os usos de contato primário (como uso para práticas religiosas ou recreação, como banhos de rio) se encaixam nesse elemento cultural. Por mais que o contato primário seja comum através das sociedades humanas, alguns locais podem perder essa utilidade devido à poluição, impedimento do acesso ou uma mudança em como aquele curso d'água é enxergado pela comunidade. Assim, percebe-se dos estudos para elaboração da proposta de enquadramento de usos preponderantes dos corpos d'água (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016) que a região distante da área metropolitana possui maior potencial de usos recreativos de contato primário, favorecendo o bem-estar e o turismo ecológico nessas áreas. Por outro lado, todos os rios que passam pela mancha urbana em Viana, Cariacica e Vila Velha (região costeira e metropolitana) já não possuem esses usos esperados (de contato primário) conforme o enquadramento proposto (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016), muitos deles sendo popularmente chamados de “valões”. A dimensão ecossistêmica do ISH (que será tratada mais adiante) já aponta um prejuízo de algumas regiões quanto à qualidade de seus corpos hídricos representada pelo nível de DBO. O saneamento inadequado afeta também a higiene da população. Um de seus agravos é a proliferação de doenças relacionadas ao saneamento ambiental inadequado (DRSAIs). Dados compilados no InfoSambas (2023) mostram que, a partir de 2014, houve uma diminuição no número de internações por DRSAIs, especialmente em Vila Velha, Viana e Guarapari. Ações de saúde da família e vigilância sanitária, bem como orientação para a população sobre higienização em crises sanitárias, como falta d'água, podem ajudar esses municípios a não retornarem aos níveis anteriores de internações por esses tipos de doenças.

5.2.1.3. Dimensão econômica

Seguindo para a análise da dimensão econômica, observa-se que grande parte da RHJ é rural, com predominância de pastagens e silviculturas entre os usos antrópicos rurais mais comuns (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016). As áreas de pastagens são maiores no Baixo Jucu e em porções do Alto Jucu (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016). A degradação dessas áreas por motivos de estiagem (além de manejo inadequado) pode gerar prejuízos ao setor pecuário, especialmente o bovino. Igualmente, as áreas de silvicultura não demandam grande necessidade de irrigação, porém a depender do ciclo de retirada e replantio, o



UFES

crescimento das árvores podem necessitar de abundância de água disponível no solo, o que também pode impactar a disponibilidade de água para outros cultivos.

Para a dimensão humana em 2017 (Figura 5.4c) não foi encontrado grau mínimo de segurança hídrica na região, já o grau baixo aparece em apenas 0,09% da área da RHJ, em extremidades limítrofes da RHJ com a Região Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória, tomado assim interferência de dados calculados para essa outra região, devido aos diferentes BHOs utilizados para definir as regiões hidrográficas (BHO 2017) e para calcular o ISH (BHO 2013). Grau médio de segurança hídrica foi identificado a jusante da UP Baixo Jucu e em pequena parte da UP Formate Marinho/Costeiro, totalizando 5,49% da área da RHJ. Os graus alto (26,05% da área da RHJ) e máximo (66,40% da RHJ) foram encontrados na maior parte do Jucu, indicando um abastecimento satisfatório para os setores de pecuária e de agricultura irrigada na região, mas é um alerta para o setor industrial na região urbana. Um total de 1,97% da área da RHJ não apresentou resultados para o ano de 2017. Na projeção para 2035 (Figura 5.4d), as áreas com grau baixo de segurança hídrica na dimensão econômica passaram para mínimo (0,09% da RHJ), e as de grau alto passaram para médio nas UPs Formate/Marinho e Costeiro e Baixo Jucu. Dessa forma, 17,68% da área total da RHJ passou a ter grau médio, 21,45% grau alto e 59,85% grau máximo. Algumas áreas anteriormente sem grau definido foram preenchidas, restando apenas 0,94% sem grau definido. Portanto, nesse cenário de 2035, o setor industrial situado na região urbana terá dificuldade para suprir suas demandas de abastecimento de água.

Analisando-se os municípios que contém a RHJ, entre as atividades agrícolas, a cafeeira aparece como a principal geração de renda nos municípios de Domingos Martins e Marechal Floriano. Em paralelo, existem polos expressivos no estado de plantação de frutíferas (principalmente morangos, bananas e tangerinas) e uma diversidade de olerícolas na RHJ. Entretanto, conforme diagnóstico realizado por PROFILL, NIP S.A. e NIP DO BRASIL (2016), nem todas as culturas agrícolas da RHJ utilizam irrigação no seu sistema produtivo, como o café, a mandioca e o cultivo de banana. Conforme o mesmo diagnóstico, dos 4.250.911 m³/ano de demanda hídrica estimados para irrigação na RHJ, a UP Jucu Braço Sul possui a maior demanda (66%). Poder-se-ia aprimorar a análise da segurança hídrica nessa dimensão detalhando-se os indicadores dela para considerarem a demanda de irrigação por culturas expoentes na região, bem como apresentando o ganho de produtividade gerado por uso de equipamentos de irrigação. Em relação à produção pecuária, os destaques na RHJ concentram-

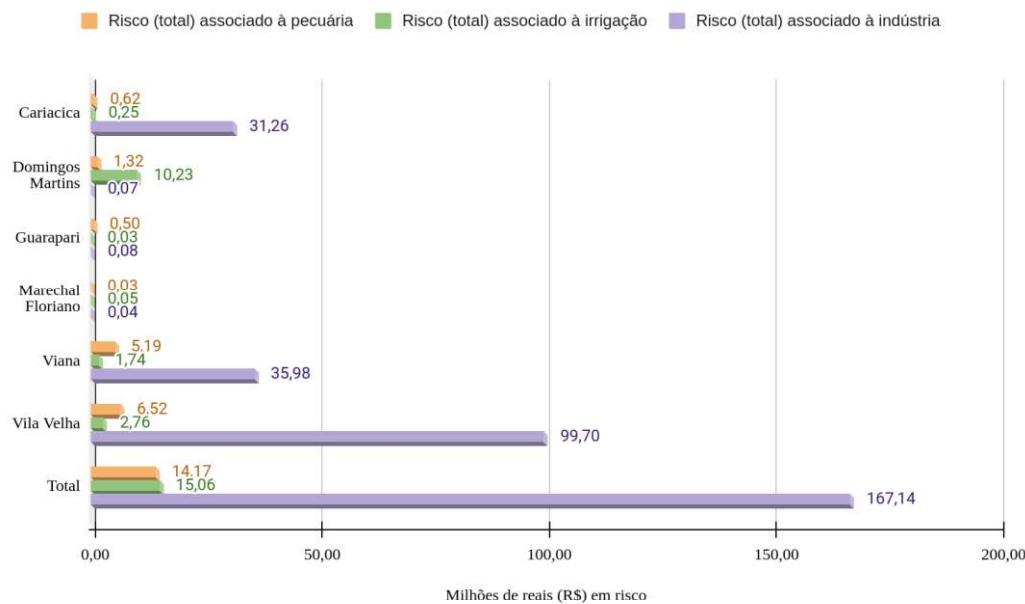


UFES

se na demanda de água para avicultura e para criação de bovinos e suínos, com maiores demandas no Baixo Jucu (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016). Percebe-se que as áreas com grau médio de segurança hídrica (em 2017 e 2035) para a dimensão econômica estão contidas basicamente nas UPs de jusante, que, como já foi dito, apresentam a área mais urbanizada da bacia. As indústrias na RHJ são predominantemente de confecções de vestuário, alimentos, fabricação de produtos de minerais não-metálicos e construção civil, com maiores demandas industriais de água no Baixo Jucu, especialmente em Viana (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016).

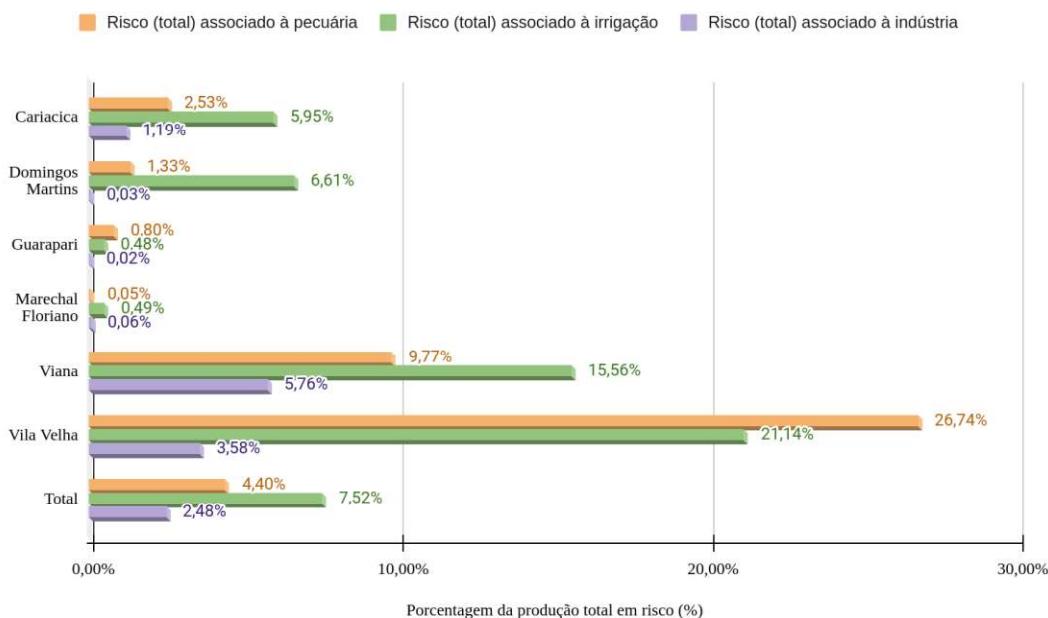
Neste trabalho não foi calculada a produção total em risco para ottobacias; porém, a partir dos dados brutos do ISH disponibilizados, o valor total em risco nos municípios que interceptam a RHJ na projeção de 2035 (Figuras 5.7 e 5.8) foi considerado em torno de R\$ 196 milhões, sendo R\$ 167 milhões para a indústria (2,48% da produção dos municípios) e R\$ 29 milhões para o setor agropecuário (7,52% da agricultura irrigada e 4,40% da pecuária nesses municípios). Pelas Figuras 5.7 e 5.8, comparando com a Figura 4.1, percebe-se que, quanto à irrigação, Vila Velha é o município da lista com a maior porcentagem da produção em risco (21,14%, correspondente a R\$ 2,76 milhões), enquanto Domingos Martins apresenta o maior valor monetário em risco (R\$ 10,23 milhões, equivalente a 6,61% de sua produção irrigada). Para a pecuária, Vila Velha aparece novamente com maior da produção em risco (26,74%, cerca de R\$ 6,5 milhões). Assim, para a agropecuária Vila Velha apresenta risco médio, sendo o menor do grupo, e Guarapari, Cariacica e Marechal Floriano, apresentam nível máximo de segurança para o setor (Tabela 5.6). Quanto ao setor industrial, este representa os maiores montantes de prejuízos nos municípios mais urbanos. Vila Velha aparece com o maior valor bruto adicionado em risco (R\$ 99,70 milhões, cerca de 3,58% da produção total) e Viana apresenta maior porcentagem de risco comparado à produção total (5,76%, correspondente à R\$ 35,98 mil). No PNSH (ANA, 2019c) e no Atlas Águas (ANA, 2021), apresenta-se a possibilidade de construção de reservatório de usos múltiplos no Jucu, justamente para lidar com o déficit hídrico que vem sendo observado na RHJ, especialmente nas UPs Baixo Jucu e Formate Marinho/Costeiro.

Figura 5.7 — Valor total da produção em risco associado aos setores econômicos para 2035
(em milhões de R\$)



Fonte: adaptado de ANA (2019c).

Figura 5.8 — Porcentagem da produção total em risco associado aos setores econômicos para 2035



Fonte: adaptado de ANA (2019b).

Tabela 5.6 — Classes (1-5) do Índice de Segurança Hídrica do município associado aos setores econômicos

Município	Cariacica	Domingos Martins	Guarapari	Marechal Floriano	Viana	Vila Velha
Irrigação	5	3	5	5	4	3
Pecuária	5	5	5	5	4	3
Agropecuária (irrigação + pecuária)	5	3,6	5	5	4	3
Indústria	3	5	5	5	3	3
Total da dimensão econômica	3	3,6	5	5	3	3

Fonte: adaptado de ANA (2019c).

Outros fatores poderiam ser incorporados também na análise. Primeiramente, sabe-se que a água está ligada a muitos outros empreendimentos além dos industriais e agropecuários. Os setores de comércio e serviços, considerados no índice sob a dimensão humana, também possuem um risco econômico que não foi contabilizado. Além disso, alguns usos não consuntivos da água, como a pesca ou geração de energia, também são economicamente afetados pela escassez. A pesca, mesmo a que ocorre na zona costeira, sofre devido à poluição. Relatos de pescadores da Barra do Jucu, comunidade de Vila Velha que há mais de duzentos anos pescam na Praia da Concha e no Rio Jucu, dizem que “antigamente, quando o mar tava [sic] bravo, a gente pescava no Rio Jucu, agora não tem mais peixe, só lixo” (AOKI; CUNHA; CUNHA, 2009, p. 2932). Portanto, toda a gama de atividades econômicas precisa ser considerada, especialmente porque os seus diferentes interesses são alguns dos causadores de conflitos pelo uso da água, como os registrados por Rocha (2021), no âmbito da agricultura familiar; o agronegócio; e os usuários que desenvolvem e exploram o ecoturismo como atividade econômica na região do Aracê, Zona de Amortecimento do Parque Estadual de Pedra Azul e área de influência do CBH Jucu. Nesse contexto, ressalta-se a importância de ações que trazem educação ambiental e capacitação nos temas da gestão de recursos hídricos, para que sejam propostas e implementadas soluções mais duradouras para os conflitos.

5.2.1.4. Dimensão ecossistêmica

Na dimensão ecossistêmica para o ano de 2017 (Figura 5.4e), percebeu-se grau mínimo em algumas regiões ao longo da costa, especialmente na faixa litorânea de até 10 km do oceano atlântico, nas UPs Baixo Jucu e Formate Marinho/Costeiro, fazendo a área total da RHJ com grau mínimo corresponder à 1,02%. Isso se deve à baixa vazão dos cursos d'água, à demanda alta para setores econômicos e abastecimento da população urbana (Tabela 5.7), além da



UFES

degradação da qualidade da água (Tabela 5.8). Nos dados brutos da dimensão ecossistêmica, as áreas de grau mínimo também tiveram influência do indicador “risco do rompimento de barragem de rejeito”. Esse mesmo indicador, porém, não teve influência para o restante da RHJ. Em busca no Cadastro Nacional de Barragens de Mineração (ANM, 2024) não se encontrou barragens deste tipo que afetasse ottobacias na região estudada. Isso portanto pode ser por conter alguma barragem sem informações de dano e risco estrutural, ou mesmo um erro de cálculo no ISH original, como devido a uma barragem com localização ou tipo mal identificada. Pelo fato de o presente estudo ter foco em manipular apenas o fator referente à inundação (na dimensão resiliência), não houve o ajuste desses dados aparentemente errados, porém, recomenda-se que essa situação seja analisada com maior detalhe e assim resolvida em estudos posteriores.

Grau baixo de segurança hídrica foi observado na dimensão ecossistêmica para a foz do rio Aribiri, contida na UP Formate/Marinho e Costeiro, correspondendo à 0,62% da área da RHJ. Nessas ottobacias mais críticas a DBO_{5,20} chegou a ser diagnosticada de 12 a 432 mg/L em alguns trechos de curso d’água (Tabela 5.8). Isso traz preocupação para as áreas estuarinas e de manguezais, perto da foz desses rios. A UP Formate/Marinho e Costeiro apresentou grau médio em algumas ottobacias, acrescentando-se esse grau também a grande parte do Baixo Jucu (10,31% da RHJ). As demais regiões, especialmente as mais longe da faixa litorânea, apresentaram grau alto (0,19% da RHJ) ou máximo (87,85% da RHJ), apontando maior vazão ecológica e qualidade dos rios nessas regiões. Para a projeção de 2035 (Figura 5.4f), houve ínfima alteração dos graus de segurança hídrica para as ottobacias nesta dimensão (apenas uma pequena região do Formate Marinho/Costeiro, com 0,02% da área da RHJ que passou de grau alto para médio), porém, se for considerado que até o referido ano os níveis de coleta e tratamento de águas servidas não acompanhem o crescimento populacional, outros locais poderão ter sua segurança hídrica comprometida devido à deterioração da qualidade da água.

Tabela 5.7 — Sumário de vazão remanescente nos trechos de curso d'água e sua correspondente classe (1-5) para o indicador no Índice de Segurança Hídrica

Vazão Remanescente = $Q95\% * (\text{demanda de água dos usos consuntivos})^{-1}$				
Classe correspondente no ISH para vazão remanescente	máx	min	média	mediana
1	5,9E-16	0,0E+00	3,0E-16	3,0E-16
2	Não possui	Não possui	Não possui	Não possui
3	2,2E-01	1,5E-01	1,9E-01	1,9E-01
4	3,8E-01	3,8E-01	3,8E-01	3,8E-01
5	1,0E+00	5,0E-01	9,5E-01	9,8E-01

Fonte: o autor.

Ressalta-se que, outros aspectos relacionados à condição ecológica, não só dos corpos hídricos, mas também da área terrestre da RHJ podem interferir na qualidade das águas e na manutenção das vazões. Temas relacionados à toxicidade, erosão, presença de agrotóxicos e metais pesados, muitas vezes relacionados ao padrão de uso e manejo do solo não foram utilizados na composição dos graus de segurança hídrica. Assim, uma análise e projeção dos usos e manejo dos solos e de suas consequências sobre os corpos hídricos na RHJ poderiam refinar os indicadores utilizados nessa dimensão (bem como seus dados de entrada). Além disso, a promoção dos serviços ecossistêmicos do território pode ter muita influência nos recursos hídricos tanto para a qualidade dos rios quanto para manutenção de vazões. No estado do ES, alguns programas são implementados nos âmbitos municipal e estadual para conservação de áreas. Há destaque para o programa Reflorestar, que atua na RHJ, e foca em aumentar a área florestada do estado. Essas e outras soluções baseadas na natureza podem ser úteis para promover melhoria da segurança hídrica local/regional.

Tabela 5.8 — Sumário de concentrações de DBO_{5,20} nos trechos de curso d’água por classe (1-5) correspondente desse indicador no Índice de Segurança Hídrica

Classe correspondente no ISH para a DBO _{5,20}	Concentração de DBO _{5,20} (mg/L)			
	máx	min	média	mediana
1	432,90	35,56	185,97	128,04
2	13,90	10,21	12,15	12,35
3	9,45	7,70	8,70	8,83
4	3,68	3,48	3,58	3,58
5	1,29	1,00	1,00	1,00

Fonte: o autor.

5.2.2. Avaliação comparativa entre o ISH_{ajustado} e o ISH original

Avaliando o resultado obtido por meio da aplicação do ISH global para o ano de 2017 (Figura 5.4i), notou-se que, considerando apenas as quatro dimensões originais, os menores graus de segurança hídrica foram encontrados para as regiões da faixa litorânea da RHJ, até 10 km da costa. Conforme a Tabela 5.3, há criticidade, com graus mínimo (0,79% da área da RHJ) e baixo (0,78% da área da RHJ) na UP do Formate/Marinho e Costeiro e no Baixo Jucu. Uma área correspondente a 10,45% da RHJ apresenta grau médio, com destaque para o Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeiro. As demais regiões apresentam grau alto (87,21% da área da RHJ), com pequena ottobacia na UP Alto Jucu (0,77% da área da RHJ) apresentando grau máximo.

Na projeção para 2035 do ISH (Figura 5.4j), ainda considerando apenas as quatro dimensões originais, houve diminuição de graus médio para baixo e de alto para médio em parte da UP Formate/Marinho e Costeiro e da UP Baixo Jucu. Nas demais áreas não houve alteração. Assim, de 2017 para 2035 (Tabela 5.3), passou-se para 81,03% da área da RHJ com grau alto de segurança hídrica, 14,83% com grau médio e 2,58% com grau baixo. As áreas com graus máximo (0,77% da área da RHJ) e mínimo (0,79% da área da RHJ) permaneceram as mesmas do ISH de 2017. Os graus alto e máximo de segurança hídrica de cada uma das quatro dimensões originais foram observados, em sua maioria, nas UPs mais a montante, isto é, do Médio e Alto Jucu e do Braço Sul. Essas são regiões mais rurais (sendo que em muitas de suas



UFES

ottobacias não foram calculadas a dimensão humana), além de terem relevo íngreme e conter na época do diagnóstico a maioria da cobertura de vegetação natural da RHJ (PROFILL; NIP S.A.; NIP DO BRASIL, 2016). Já as regiões mais a jusante, as UPs Formate/Marinho e Costeiro e a UP Baixo Jucu, são as mais críticas (todas as áreas classificadas com grau baixo e mínimo estão nessas duas UPs). Tal criticidade se observa para 2017 e 2035, tanto nas quatro dimensões segregadas do ISH original (Figuras 5.4a até 5.4h) quanto nas valores globais (Figuras 5.4i e 5.4j). Essas UPs à jusante da RHJ são caracterizadas pela existência de aglomerados urbanos, pela distância de até 30km da costa e por serem mais planas comparadas às outras UPs. Conforme o PNSH (ANA, 2019b), áreas com grau baixo e mínimo no ISH requerem atenção quanto à infraestrutura hídrica existente de abastecimento urbano e de usos múltiplos.

Portanto, pelo ISH original da ANA, destaca-se a criticidade em lidar com as futuras demandas de água nas UPs Baixo Jucu e Formate/Marinho e Costeira. Esse cenário aponta para um comprometimento da disponibilidade quali/quantitativa de água nessas regiões, demonstradas por um excesso de demandas de água em relação à quantidade de água disponível.

Comparando os graus de segurança hídrica do ISH original (que não considera as inundações) (Figura 5.4j) com o ISH_{ajustado} (que considera adicionalmente a vulnerabilidade às inundações) (Figura 5.4l), ambos para 2035, observaram-se diminuições de grau de segurança hídrica em ottobacias de todas as UPs, sendo alguns desses locais notadamente influenciados pelo alto IVI (Figura 5.4k). Tais diminuições se devem ao caráter restritivo da nova dimensão, que permite apenas níveis de segurança hídrica entre mínimo e médio. Assim, a sua aplicação tendeu a diminuir a segurança hídrica global, indicando as regiões onde a vulnerabilidade às inundações seria um agravante para a segurança hídrica. Por esse motivo não houve áreas com aumento do grau de segurança hídrica no ISH_{ajustado}. A Tabela 5.3 detalha a alteração do grau de segurança hídrica entre os dois modelos. As UPs Formate Marinho/Costeira e Rio Jucu Braço Sul apresentaram a maior criticidade, pois em comparação com as áreas somadas de grau baixo no ISH original para essas duas UPs, expandiram-se em 144% as áreas com grau baixo de segurança hídrica no ISH_{ajustado}. Conforme ressalta o diagnóstico da RHJ realizado por PROFILL, NIP S.A. e NIP DO BRASIL (2016), o fato de as UPs Formate Marinho/Costeira e Baixo Jucu estarem sob área de influência de marés, pode aumentar o tempo de residência das cheias na região. Algumas ottobacias das UPs de montante passam a destoar dos níveis mais



UFES

altos de segurança hídrica, apresentando nível médio. Essas mesmas áreas que apresentaram nível médio nas UPs de montante, não contém dados na dimensão humana (ou seja, apresentam nessa dimensão grau de segurança hídrica nulo), mas possuem grau de alta vulnerabilidade na subdimensão resiliência às inundações. Assim, visto que essas áreas não entraram no cálculo da dimensão humana por não serem urbanas, mas que o IVI considera a população vulnerável em seu cálculo, nota-se que essas áreas rurais também contém uma população exposta à insegurança hídrica por questões relacionadas a inundações e outros problemas relacionados ao excesso de água.

Logo, percebe-se que incorporar as inundações direto no ISH ajuda a destacar que certas regiões são vulneráveis também a esse fator que está presente desde as primeiras definições de segurança hídrica (por exemplo, a de GWP, 2000), e não somente à escassez d'água. Visto que inundações e escassez — às vezes tão opostas em relação à quantidade de água — são passíveis de agravamento tanto na variação sazonal quanto considerando mudanças climáticas, regiões que sofrem com esses eventos precisam de atenção reforçada para haver promoção da segurança hídrica nelas. Portanto, a aplicação do $ISH_{ajustado}$ na RHJ deu indícios de que esse modelo tende a ser mais aderente à realidade da segurança hídrica dessa região, quando comparado com seu modelo basilar. Igualmente, a adição das inundações no novo índice mostra-o como conceitualmente mais próximo à definição de segurança hídrica adotada pela UN-Water (2013) e pela ANA (2019c), do que o ISH original, por apresentar os riscos relacionados à água de forma mais abrangente. Os resultados obtidos nessa aplicação de um novo fator apontam para a possibilidade de se tratar a segurança hídrica holisticamente e abarcando ainda outros assuntos em sua modelagem.

5.3. APONTAMENTO DE LIMITAÇÕES E POTENCIALIDADES PARA A OPERACIONALIZAÇÃO DO $ISH_{ajustado}$ E PARA O APRIMORAMENTO DA MODELAGEM DE SEGURANÇA HÍDRICA

A seguir apresenta-se uma discussão sobre limitações e potencialidades do modelo $ISH_{ajustado}$ e da modelagem de segurança hídrica em geral, identificadas ao longo da pesquisa, as quais estão resumidas no Quadro 5.1 e Quadro 5.2.



UFES

Quadro 5.1 — Potencialidades e Limitações do ISHajustado

a) Forças (potencialidades)	b) Fraquezas (limitações)
<ul style="list-style-type: none">• Aplicável a diferentes escalas.• Detalhamento espacial em ottobacias.• Aplicável em SIG.• Podem ser acrescentadas outras dimensões e indicadores.• Visualização e aplicação práticas.• É baseado no indicador utilizado pela ANA, a qual é um dos órgãos superiores da gestão de recursos hídricos nacionalmente, portanto seu modelo tem influência no SINGERH.• Maior aderência à definição da ANA (2019c) e da UN-Water (2013).• Melhor representação da segurança hídrica em regiões que sofrem com inundações.	<ul style="list-style-type: none">• Base ottocodificada desatualizada.• Contém indicadores que carecem de dados para algumas regiões.• Dificuldade de modificar indicadores e pesos.• Difícil reprodução para outros anos, seguindo o manual metodológico do ISH e dados disponíveis no portal de metadados da ANA.• Estatisticamente frágil.• Ainda não apresenta todas as dimensões da segurança hídrica.

Fonte: o autor.

Quadro 5.2 — Potencialidades e Limitações para a modelagem de segurança hídrica

a) Oportunidades (potencialidades)	b) Ameaças (limitações)
<ul style="list-style-type: none">• Demanda por metodologias de avaliação da segurança hídrica regionais.• Demanda por modelos espacialmente aplicáveis.• Demanda por soluções que promovam a segurança hídrica local/regional.• Incentivo de soluções com big data e Machine Learning para auxiliar análises.	<ul style="list-style-type: none">• Pouca medição de alguns dados importantes na análise de segurança hídrica.• Não há uso de métodos adequados para escolher a metodologia de análise, o que pode trazer diferenças entre objetivos e respostas dadas.• Divergência entre modelos e definições.• A maioria dos modelos não engloba todas as dimensões.• Definições divergentes ou muito amplas sobre o que é segurança hídrica podem levar ao esvaziamento do termo.• Subjetividade na escolha de quais fatores/elementos devem ser considerados na avaliação da segurança hídrica.

Fonte: o autor.



UFES

5.3.1. Apontamento de limitações e potencialidades relacionadas ao modelo aprimorado

Como apresentado no Quadro 5.1, ao buscar indicadores para representar os riscos de inundações percebeu-se que no modelo ISH, e consequentemente no ISH_{ajustado}, informações com código de ottobacia (especialmente ottobacias da BHO 2013) ou mesmo distribuídas em forma de pontos (ou interpolados) são mais fáceis de se incorporar no ISH. Indicadores georreferenciados por município precisam passar por processos mais complexos, que envolvem álgebra de mapas. Também informações sem geolocalização, assim como os que possuem escala muito diferentes entre si, podem trazer problemas para a confecção dos mapas. O indicador IVI teve sua incorporação facilitada por haver disponibilidade de dados com informação por ottobacias. Ainda assim, verificou-se dificuldade pela diferença de base de dados, tendo o atlas de inundações seguindo a BHO de 2017 e o ISH seguindo a BHO de 2013. Como a BHO 2017 é a mais recente, é proveitoso haver uma atualização dos dados do ISH para os novos códigos de ottobacia. Ainda assim, o detalhamento por ottobacia é uma vantagem do ISH e outros índices que se baseiam nele, como o ISH_{ajustado}.

Sobre os indicadores utilizados em cada dimensão — tanto no ISH original quanto no ISH_{ajustado} — estes possuem caráter de aplicação nacional e detalhada, assim permitem que ambos os índices sejam aplicados em várias escalas (de nação a ottobacias de nível 6 em detalhamento) e especialmente aplicáveis em ambiente SIG. Por outro lado, essa busca de indicadores com dados suficientes para todo um país, faz com que algumas especificidades regionais sejam despercebidas. Um exemplo disso é a dimensão humana que apresentou grandes áreas sem dados sobre abastecimento, bem como a escala espacial do indicador da subdimensão resiliência às inundações (1:1.000.000) no índice ajustado, que fez com que alguns pontos de alta vulnerabilidade não aparecem no mapa ou aparecem como pouco vulneráveis. Exemplo: há uma região próxima à foz do rio Jucu, que baseado nos dados do IVI da ANA (2021) e na reclassificação dos dados utilizada, tem grau de segurança médio na subdimensão de resiliência às inundações. Essa mesma área poderia passar para grau mínimo caso fossem utilizados dados de vulnerabilidade à inundações em escala mais detalhada (1:50.000 e 1:100.000), como o do Instituto Estadual de Meio Ambiente (2013). Assim, é reforçada a necessidade de adaptação do ISH para as realidades e escalas regionais, a fim de se obter análises mais realistas.



UFES

Outra limitação do ISH original e das dimensões reaproveitadas no ISH_{ajustado} diz respeito à modificação dos pesos dos indicadores para situações específicas. Isso poderia ser realizado em um novo cálculo do índice original, porém o manual metodológico, apesar de detalhado, deixou faltar clareza em alguns pontos, dificultando esse recálculo. Esse foi um dos motivos que induziu a escolha metodológica de adicionar o IVI em uma subdimensão com o mesmo peso de uma nova dimensão no ISH_{ajustado}. Foi também devido a essas limitações percebidas na manipulação do modelo (falta de dados quantitativos nos metadados da ANA) que o grau de segurança hídrica para a subdimensão resiliência às inundações só foi calculado para o ano de 2035.

A partir da aplicação do ISH_{ajustado}, percebeu-se que é possível qualificar a análise de segurança hídrica para além dos fatores intervenientes e das dimensões apresentadas no ISH original. Deste modo, a aplicação do IVI apresentou uma sugestão de como aplicar outros fatores intervenientes na segurança hídrica no modelo original do ISH. Uma vantagem de que o ISH tenha sido escolhido como base para esse estudo é que seu tipo baseado em indicadores e aplicável em SIG permite a apresentação de seus resultados em forma visual. Assim, mesmo que esses tipos de modelos possuam uma fragilidade estatística (geralmente não apresentam margem de erro e possuem classificações que tendem à subjetividade), a visualização em mapas facilita aplicações práticas, como indicar áreas prioritárias para intervenção. Esse modelo também é amplamente divulgado entre membros do Sistema Nacional de Gestão de Recursos Hídricos (SINGREH), o que nacionalmente pode tornar suas adaptações mais fáceis de serem incorporadas para ações desse público. Adicionalmente, como discutido na seção anterior, o ISH_{ajustado} tem vantagem sobre o ISH original em ser mais coerente conceitualmente e representar a segurança hídrica de regiões de maneira mais abrangente, incorporando as inundações, não se restringindo a tratar segurança hídrica como sinônimo de escassez.

5.3.2. Apontamento de limitações e potencialidades para aprimoramento da modelagem de segurança hídrica

Com esse estudo pôde-se elucidar algumas limitações (ameaças) e potencialidades (oportunidades), resumidas no Quadro 5.2, relacionadas ao modo como a modelagem de segurança hídrica vem sendo desenvolvida no Brasil e internacionalmente.



UFES

Quanto às potencialidades (ou oportunidades), observa-se uma demanda de metodologias de avaliação da segurança hídrica advindas do campo científico e com aplicações práticas no âmbito regional. Essa demanda não se deve a uma falta de modelos de modo geral, mas sim da necessidade de se abordarem questões locais, advindo do próprio conceito de segurança hídrica que é altamente dependente do contexto (GERLAK *et al.*, 2018). Por exemplo, percebe-se que cada plano de segurança hídrica desenvolvido no Brasil tem seguido modelos diferentes de avaliação da segurança hídrica: uns através de modelos baseados em índices/indicadores, como no PNSH (ANA, 2019c) que usou o ISH, e no Plano de Segurança Hídrica de Belo Horizonte (PROFILL, 2021), que uniu mapas temáticos; outros por meio de análises sem um modelo definido, empregando diversos indicadores isolados, como no Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-Bacia do Salgado (no Ceará) (NIPPON KOEY LAC, 2018a, b), e no Plano Mineiro de Segurança Hídrica (PMSH), ainda em construção (PROFILL; ENGECORPS, 2022). Assim, uma estratégia possível é aprimorar modelos já existentes, especialmente mediante calibração e validação dos mesmos (OCTAVIANTI; STADDON, 2021). Com o aprimoramento ocorrendo através da colaboração científica, e não apenas no meio técnico, pode-se dar mais divulgação e robustez a esses modelos, via replicações feitas para contextos diferentes (OCTAVIANTI; STADDON, 2021).

Também se percebem oportunidades para o desenvolvimento de modelos espacialmente aplicáveis e integrados aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). As ferramentas de SIG possibilitam análises mais precisas sobre locais prioritários para intervenções e proposição de soluções que promovam a segurança hídrica regional (o que é o objetivo de alguns planos de segurança hídrica, como o PNSH e o PMSH) e, em alguns casos, o benchmarking de ações a serem desenvolvidas em várias localidades. Devido ao incentivo da Lei Federal 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos) em se ter como instrumento de gestão dos recursos hídricos os sistemas de informações, a formação de bancos de dados (muitos desses georreferenciados) abre caminho para soluções envolvendo big data e aprendizagem de máquina (“*machine learning*”) que podem auxiliar nas análises que considerem uma amplitude maior de fatores intervenientes, como os identificados neste estudo, e reduzir a subjetividade associada à escolha de quais deles devem ser considerados na avaliação.

Por outro lado, observam-se algumas limitações (ameaças) para a modelagem de segurança hídrica. Uma delas, relacionada aos bancos de dados, advém de que nem todos os fatores



UFES

intervenientes na avaliação da segurança hídrica possuem indicadores disponíveis para todas as regiões do país. Esse parece ser um dos motivos que limitou a ANA na escolha de indicadores para o seu ISH, no âmbito do PNSH. Mesmo indicadores de quantidade e qualidade de água, mais comuns de se aparecer em modelos, carecem de séries históricas com dados consistidos para algumas localidades. Outra limitação diz respeito ao fato de que, assim como em modelos de sustentabilidade em geral (ZIJP *et al.*, 2015), cada modelo para avaliação da segurança hídrica possui um tipo de resposta que se pode obter. Semelhante ao que ocorre com os modelos de sustentabilidade, como não há uma metodologia amplamente aceita que guie a escolha entre os vários modelos existentes, logo, há o risco de que se escolham modelos que possuem objetivos diferentes das respostas desejadas (ZIJP *et al.*, 2015). Pode-se tomar o exemplo de um plano de segurança hídrica onde se queira abordar segurança hídrica abrangemente e voltada à priorização de ações de infraestrutura e de governança. Se o modelo escolhido para se basear a análise for do tipo pegada hídrica, pode ser que apenas informações de quantidade de água para alguns setores (como abastecimento e agricultura) sejam consideradas, portanto, o modelo não dará informações suficientes diante de toda a abrangência requerida. Isso leva a outra limitação da modelagem, porque tanto devido a simplificações da realidade intrínsecas a qualquer modelo, quanto por entendimentos diferentes sobre o que consiste a segurança hídrica, grande parte dos modelos não aborda todas as dimensões, e tendem a possuir foco apenas em escassez para o abastecimento (GERLAK *et al.*, 2018, MARCAL; ANTIZAR-LADISLAO; HOFMAN, 2021). Dentre as razões para isso está a dificuldade causada pela divergência existente entre os modelos e as definições adotadas para segurança hídrica, pois os modelos tendem a abranger um menor espectro de elementos e dimensões do que suas definições basilares (OCTAVIANTI; STADDON, 2021). É nesse ínterim — de modelos escolhidos sem considerar seus objetivos, de definições mais abrangentes do que os modelos que partem delas e de uma gama de fatores que interferem na segurança hídrica, mas que não são utilizados em boa parte das análises — que se percebe que o termo “segurança hídrica” em si ainda carece de maturação, pois enquanto suas definições forem muito divergentes ou muito amplas, o termo estará sujeito a um esvaziamento de significado.



UFES

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. CONCLUSÕES

Através dessa pesquisa pôde-se compreender como a segurança hídrica é conceituada e modelada, especialmente no contexto brasileiro, e a partir dessa compreensão identificar e sistematizar fatores relevantes para a avaliação da segurança hídrica. Percebeu-se que, seguindo tendências de definições internacionalmente bem aceitas e que carregam a aspiração pelo desenvolvimento sustentável em suas concepções, como a da UN-Water (2013) e a de Grey e Sadoff (2007), a ANA (2019c) define a segurança hídrica de forma ampla (com dimensões humana, econômica, ambiental e de resiliência). Todavia, também seguindo tendências internacionais, tanto o modelo ISH estabelecido em âmbito federal por meio da ANA (2019c) quanto outros modelos que vêm sendo desenvolvidos no país desde 2013 tratam a segurança hídrica de forma restrita, geralmente com foco na escassez hídrica. Nesse estudo, a partir da análise de revisão da literatura no tema e de alguns modelos e estudos regionais, pôde-se identificar um total de 129 fatores intervenientes, os quais foram agrupados em 43 elementos e em cinco (05) dimensões. Assim, independente do modelo a se utilizar para análise da segurança hídrica, a comparação entre os fatores que ele considera em sua estrutura e os fatores identificados neste estudo permite a conscientização das limitações de interpretação de cada modelo, bem como a qualificação de sua análise.

Ainda nesse estudo, estabeleceu-se um modelo para avaliação de segurança hídrica com potencial de aplicação no contexto do desenvolvimento sustentável. Esse feito se deu através do aprimoramento do ISH (ANA, 2019b, c). Culminou-se num modelo mais abrangente e coerente com o conceito de segurança hídrica da UN-Water (2013) e da ANA (2019c) ao adicionar-se no ISH a subdimensão resiliência às inundações, que possui o “Índice de Vulnerabilidade às Inundações” (IVI) (ANA, 2021) como seu indicador único. A essa nova versão do ISH denominou-se ISH_{ajustado}. Abranger as inundações no escopo do novo modelo permitiu acrescentar um fator limitante para o desenvolvimento sustentável de diversas regiões e que é fundamental para prevenção e mitigação de desastres (sendo desastres relacionados às inundações um dos mais comuns ao redor do mundo). Durante o aprimoramento e aplicação na área de estudo, pôde-se, igualmente, realizar uma análise mais abrangente dos graus de segurança hídrica obtidos para cada dimensão do ISH_{ajustado} através da comparação desses com os demais fatores intervenientes na segurança hídrica. Esse tipo de modelagem mais holística,



UFES

aproxima-se das características de modelos para avaliação de sustentabilidade de caráter sistêmico, apropriado para um estudo científico baseado no princípio da precaução, sem perder a praticidade para subsidiar stakeholders na confecção de planos, como nos modelos de sustentabilidade do tipo normativos. Além disso, o ISH_{ajustado} mostrou-se sensível ao contexto da segurança hídrica regional, ao ser aplicado na Região Hidrográfica do Rio Jucu/ES. Isso porque ao incluir-se o IVI no ISH_{ajustado}, o grau de segurança hídrica diminuiu, quando comparado ao ISH original em algumas ottobacias, sobretudo naquelas mais próximas ao litoral e às sedes urbanas. Esses locais são reconhecidamente alguns dos mais críticos na área de estudo, no que diz respeito às inundações e às demandas para uso de água, confirmando os resultados do ISH_{ajustado}.

Em sumarização das percepções obtidas ao longo do estudo, discutiu-se algumas das limitações e potencialidades para a operacionalização do modelo estabelecido e para o aprimoramento da modelagem de segurança hídrica. Verificou-se que a adição das inundações na análise de segurança hídrica faz com que sua modelagem não se restrinja à escassez hídrica e aponta para a necessidade de se desenvolver modelos mais abrangentes, que abordem os diversos fatores intervenientes que surgem da definição de segurança hídrica que estiver sendo adotada. Em outro quesito, conclui-se que ainda há espaço no estudo de modelos mais abrangentes, sensíveis a realidades regionais e que se utilizem de ferramentas computacionais como SIG e aprendizagem de máquina para aprimorar a visualização de resultados e análises com muitos fatores.

Conclui-se que, o conhecimento dos fatores intervenientes na segurança hídrica e o estabelecimento do ISH_{ajustado} como um modelo prático para avaliação da segurança hídrica (especialmente em regiões sujeitas a inundações) permitiu o aprimoramento da modelagem para avaliação de segurança hídrica. Em adição, a percepção de limitações e potencialidades do modelo ISH_{ajustado} e do campo técnico-científico da modelagem de segurança hídrica aponta para desafios a serem enfrentados em aplicações e pesquisas no tema. Assim, essa pesquisa pode ser um auxílio na percepção da segurança hídrica sendo um fator limitante para o desenvolvimento regional sustentável.



UFES

6.2. RECOMENDAÇÕES

Reconhecem-se as limitações do ISH_{ajustado}, o qual se baseou em dados com escalas espaço-temporais distintas e dos fatores identificados que foram aplicados apenas na análise do ISH e que enfrenta subjetividade pelo método proposto para sua confecção. Logo, recomenda-se que pesquisas subsequentes busquem:

- adaptar o ISH_{ajustado} às realidades regionais, incorporando novos indicadores ao índice e ajustando o peso e as projeções dos indicadores existentes, para obter análises mais realistas da segurança hídrica e superar as referidas limitações;
- adicionar ao ISH_{ajustado} fatores relacionados à dimensão de governança;
- analisar o que significaria segurança hídrica e quais os fatores mais importantes para seu alcance nos diferentes contextos regionais do Brasil;
- aprimorar a lista de fatores intervenientes e aplicar esses fatores na interpretação de outros tipos de modelos;
- definir estratégias para operacionalização do modelo ISH_{ajustado} e para aprimoramento da modelagem de segurança hídrica a partir das potencialidades e limitações identificadas.

REFERÊNCIAS

ABOELNGA, Hassan Tolba; KHALIFA, Muhammad; MCNAMARA, Ian; RIBBE, Lars; SYCZ, Justyna. **The water-Energy-Food security nexus: A review of nexus literature and ongoing nexus initiatives for policymakers.** Bonn, Germany: Nexus Regional Dialogue Programme (NRD), 2018. 58 p. Disponível em: <https://www.water-energy-food.org/resources/water-energy-food-nexus-literature-review-a-review-of-nexus-literature-and-ongoing-nexus-initiatives-for-policymakers>. Acesso em: 27 fev. 2023.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Espírito Santo). **Água na Medida: projeto da Agerh desenvolve tecnologia para irrigação sustentável e gestão comunitária dos recursos hídricos.** 2021. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Not%C3%ADcia/agua-na-medida-projeto-da-agerh-desenvolve-tecnologia-para-irrigacao-sustentavel-e-gestao-comunitaria-dos-recursos-hidricos>. Acesso em 27 fev. 2024.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Espírito Santo). **ANA realiza no Espírito Santo a primeira reunião do PROCOMITÊS.** 2016. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Not%C3%ADcia/ana-realiza-no-espirito-santo-a-primeira-reuniao-do-procomites>. Acesso em 27 fev. 2024.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Espírito Santo). **O que é outorga de direito de recursos hídricos.** Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/o-que-e-outorga-de-direito-de-uso-de-recursos-hidricos>. Acesso em 27 fev. 2024.

AGÊNCIA ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (Espírito Santo). **Planos de Bacia e Enquadramento de Corpos d'água.** Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/planos-enquadramento>. Acesso em 27 fev. 2024.

ALLAN, Julie V.; KENWAY, Steven J.; HEAD, Brian W. **Urban water - security-what does it mean?.** Urban Water Journal, v. 15, n. 9, p. 899-910, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1574843>. Acesso em: 27 fev. 2023.

ALMEIDA, Fernanda da Silva ; COSTA, Celme Torres F. da; PAULA FILHO, Francisco José de; COUTINHO, Jaqueline Vígolo. Segurança hídrica: um estudo de caso na sub-bacia hidrográfica do rio Salgado – Ceará. In: XVI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 16.; SIMPÓSIO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS DOS PAÍSES



UFES

DE LÍNGUA PORTUGUESA, 15., 2022, Caruaru. **Anais[...]** Porto Alegre. ABRHidro, 2022.

Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/187/XVISRHNE0226-1-20220720-234756.pdf>. Acesso em: 10 fev 2024.

ANA. Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano. Brasília: ANA, 2021.

Disponível em:

https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/asp/download.asp?codigo=151307&tipo_midia=2&iIndexSrv=1&iUsuario=0&obra=90683&tipo=1&iBanner=0&iIdioma=0. Acesso em: 07 fev. 2024.

ANA. Atlas de Vulnerabilidade a Inundações. 2021. Brasília. Disponível em:

<https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c>. Acesso em: 23 dez. 2023.

ANA. Impacto da Mudança Climática nos Recursos Hídricos no Brasil - Sumário Executivo. Brasília: ANA, 2024. Disponível em: https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/ana-lanca-estudo-sobre-impactos-da-mudanca-climatica-nos-recursos-hidricos-das-diferentes-regioes-do-brasil/resumo-executivo_26012024.pdf. Acesso em: 02 fev. 2024.

ANA. Índice de Segurança Hídrica, ISH: Manual Metodológico. ANA. 2019. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66/attachments/Metodologia_ISH.pdf. Acesso em: 7 fev. 2024.

ANA. Índice de Segurança Hídrica. ANA, 2019. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/c349dc5a-0c01-4f14-9519-e3340fef2c66>. Acesso em: 07 fev. 2024.

ANA. Lista de Termos para o Thesaurus de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas. In: **BRASIL. Portaria nº 149, de 26 de março de 2015.** 2015. Disponível em: https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20150406034300_Portaria_149-2015.pdf. Acesso em: 8 fev. 2023.

ANA. Plano Nacional de Segurança Hídrica. ANA. Brasília, 2019. 112 p. ISBN: 978-85-8210-059-2. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2023.



UFES

ANDRADE, Aurelio L.; SELEME, Acyr; RODRIGUES, Luis H.; SOUTO, Rodrigo. **Pensamento Sistêmico: caderno de campo. o desafio da mudança sustentada nas organizações e na sociedade.** Porto Alegre: Bookman, 2006. 488 p.

ANM. **Mapa - Cadastro Nacional de Barragens de Mineração.** Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/Mapa>. Acesso em 27 fev. 2024.

AOKI, Pierângeli C. Marim; CUNHA, Lucimar S.; CUNHA, Katia S. **Métodos participativos na extensão pesqueira: o caso da Barra do Jucu, Vila Velha, ES.** Cadernos de Agroecologia, v. 4, n. 1, 2009. Disponível em: <https://revistas.aba-agroecologia.org.br/cad/article/view/4490>. Acesso em 27+2024.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis.** Journal of Informetrics, v. 11, n. 4, p. 959–975, 1 nov. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007> . Acesso em: 27 fev. 2023.

BABEL, Mukand S.; SHINDE, Victor R.; SHARMA, Devesh; DANG, Nguyen Mai. **Measuring water security: A vital step for climate change adaptation.** Environmental Research, v. 185, p. 109400, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109400>. Acesso em: 27 fev. 2023.

BARBOSA, Priscila Maia. **Segurança hídrica e dimensão social: um olhar sobre a região metropolitana de Goiânia.** 2022. 180 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-graduação em Geografia (IESA), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022. Disponível em: <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/12192>. Acesso em: 19 jan. 2023.

BRASIL (País). Lei nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e altera o Art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 08 jan. 1997, pág. nº 470. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=09/01/1997&jornal=1&pagina=4&totalArquivos=64>. Acesso em: 27 fev. 2023.

BRITO, Higor Costa; BRITO, Yáscara. M. A.; RUFINO, Iana. A. A. **The Brazilian Water Security Index and the Brazilian Semi-arid: Challenges and Future Risks.** Revista



UFES

Brasileira de Cartografia, v. 74, n. 1, 1 jan. 2022. Disponível em:
<https://doi.org/10.14393/rbcv74n1-60928>. Acesso em: 27 fev. 2023.

CASTRO, Kássia Batista de. **Segurança hídrica urbana: morfologia urbana e indicadores de serviços ecossistêmicos, estudo de caso do Distrito Federal, Brasil**. 2017. 204 f., il. 2017. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas)—Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/31985>. Acesso em 27 fev. 2024.

CHAMAS, Zeinab; ABOU NAJM, Majdi; AL-HINDI, Mahmoud; YASSINE, Ali; KHATTAR, Reem. **Sustainable resource optimization under water-energy-food-carbon nexus**. Journal of Cleaner Production, v. 278, p. 123894, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123894>. Acesso em: 27 fev. 2023.

CHAVES, Henrique Marinho Leite; DA SILVA, Camila Correa; FONSECA, Maria Rita Souza. Impacto das mudanças climáticas nas vazões afluentes a reservatórios: uma análise da segurança hídrica futura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, 14, 2021, Belo Horizonte. *Anais[...]* Porto Alegre. ABRHidro, 2021. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13026>. Acesso em: 10 fev. 2024.

CHERP, Aleh; JEWELL, Jessica. **The concept of energy security: Beyond the four As**. Energy policy, v. 75, p. 415-421, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.09.005>. Acesso em 27 fev. 2024.

CNRH (Brasil). Resolução no 153, de 17 de dezembro de 2013. Estabelece critérios e diretrizes para implantação de Recarga Artificial de Aquíferos no território Brasileiro. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 4 abr. 2014. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/cnrh/deliberacoes-cnrh-1/resolucoes/resolucao_153.pdf. Acesso em: 8 fev. 2023.

COBRAPE - NIPPON KOEI LAC DO BRASIL. **Plano Estadual de Recursos Hídricos**. Vitória, 2018. Disponível em: <https://perh.es.gov.br>. Acesso em 28 fev. 2024.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2021 (Espírito Santo). Resolução nº 3, de 8 de setembro de 2021. **Diário Oficial [do] Estado do Espírito Santo**, Vitória, 8 set. 2021. Seção 1, p. 6009.



UFES

CRED. 2022 **Disasters in numbers.** Brussels: CRED, 2023. Disponível em: https://cred.be/sites/default/files/2022_EMDAT_report.pdf. Acesso em: 7 fev. 2024.

DE OLIVEIRA, Daniel B. H. S. **Desafios e potencialidades na integração entre a gestão de recursos hídricos e a gestão de riscos e desastres tecnológicos: um estudo dos efeitos do desastre de Mariana/MG no PIRH Doce.** Monografia (Bacharel em Engenharia Ambiental), PPGEA - Universid/de Federal do Espírito Santo, 2021. Vitória, 2021. Disponível em https://engenhariaambiental.ufes.br/sites/ambiental.ufes.br/files/field/anexo/daniel_ben-hur_silva_de_oliveira_-desafios_e_potencialidades_na_integracao_entre_gestao_de_recursos_hidricos.pdf. Acesso em 10 abr. 2024.

DE MELO, M. C.; JONHSON, R. M. F. **O Conceito Emergente De Segurança Hídrica.** Sustentare, 1(1), 72–92. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5892/st.v1i1.4325>. Acesso em: 27 fev. 2023.

DE MELO, Marília C. **Segurança hídrica para abastecimento urbano: proposta de modelo analítico e aplicação na bacia do rio das Velhas, Minas Gerais.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE, Universid/de Federal do Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/doutorado/2016-1/2874-melo-mc-td-16-2>. Acesso em 27 fev. 2024.

DE MELO, Marília Carvalho; FORMIGA-JOHNSON, Rosa Maria; DE AZEVEDO, José Paulo Soares; NASCIMENTO, Nilo de Oliveira; MACHADO, Fabrício Lisboa Vieira; PACHECO, Fernando António Leal; FERNANDES, Luis Filipe Sanches. **A raw water security risk model for urban supply based on failure mode analysis.** Journal of Hydrology, vol. 593, p. 125843, Feb. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125843>. Acesso em 28 fev. 2024.

DEINA, Miquelina Aparecida; COELHO, André Luiz Nascentes. **A Influência da Zona Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) nos Eventos de Inundação no Baixo Jucu em Vila Velha (ES).** Geografia (Londrina), v. 24, n. 2, p. 05-23, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/2447-1747.2015v24n2p05>. Acesso em: 10 fev. 2024.



UFES

DOEFFINGER, T.; HALL, J. W. **Assessing water security across scales: A case study of the United States.** Applied Geography, v. 134, p. 102500, set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2021.102500>. Acesso em: 27 fev. 2023.

EMPINOTTI, V. L.; BUDDS, J.; AVERSA, M. **Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil.** Geoforum, v. 98, p. 46–54, 1 jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.09.022>. Acesso em 27 fev. 2023.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Espírito Santo – SIGERH/ES e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Espírito Santo**, Vitória, 10 mar. 2014. Disponível em: <https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LO10179.html>. Acesso em: 27 fev. 2023.

ESPÍRITO SANTO (Estado). Lei Complementar Nº 912, de 05 de Junho de 2019. Estabelece a Política Estadual de Governança e Segurança de Barragens, institui o Sistema Estadual de Governança de Empreendimentos de Infraestrutura Hídrica e o Sistema Estadual de Informações sobre Segurança de Barragens no Estado do Espírito Santo e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado do Espírito Santo**, Vitória, 05 jun. 2019. Disponível em: <https://www3.al.es.gov.br/Arquivo/Documents/legislacao/html/LEC9122019.html>. Acesso em: 27 fev. 2023.

FAO. **Report of the World Food Summit 13-17 November 1996.** Disponível em: <https://www.fao.org/3/w3548e/w3548e00.htm>. Acesso em: 17 fev. 2023.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados.** Cad. EBAPE.BR, v. 15, n. 3, p. 667–681, jul. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1679-395157473>. Acesso em: 27 fev. 2023.

GENNAIOLI, Nicola; LA PORTA, Rafael; LOPEZ-DE-SILANES, Florencio; SHLEIFER, Andrei. **Human capital and regional development.** Quarterly Journal of Economics, v. 128,

n. 1, p. 105–164, fev. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/qje/qjs050>. Acesso em 27 fev. 2023.

GERLAK, Andrea K.; HOUSE-PETERS, Lily; VARADY, Robert G.; ALBRECHT, Tamee; ZÚÑIGA-TERÁN, Adriana; GRANADE, Rafael Routson de; COOK, Christina; SCOTT, Christopher A. **Water security: A review of place-based research.** Environmental Science & Policy, v. 82, p. 79-89, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.009>. Acesso em: 27 fev. 2023.

GESUALDO, Gabriela Chiquito; OLIVEIRA, Paulo Tarso; RODRIGUES, Dulce Buchala Bicca; GUPTA, Hoshin Vijai. **Assessing water security in the São Paulo metropolitan region under projected climate change.** Hydrology and Earth System Sciences, v. 23, n. 12, p. 4955–4968, 4 dez. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/hess-23-4955-2019>. Acesso em 27 fev. 2023.

GRAFTON, R. Quentin. **Responding to the ‘Wicked Problem’ of Water Insecurity.** Water Resources Management, v. 31, n. 10, p. 3023–3041, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1606-9>. Acesso em: 27 fev. 2023.

GREY, David; SADOFF, Claudia W. **Sink or swim? Water security for growth and development.** Water policy, v. 9, n. 6, p. 545-571, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/wp.2007.021>. Acesso em: 27 fev. 2023.

GWP. **Towards Water Security: A Framework for Action.** Stockholm, 2000. Disponível em: <https://www.gwp.org/globalassets/global/toolbox/references/towards-water-security.-a-framework-for-action.-executive-summary-gwp-2000.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2023.

HARMANCIOLU, Nilgun B. **Overview of Water Policy Developments: Pre- and Post-2015 Development Agenda.** Water Resources Management, v. 31, n. 10, p. 3001–3021, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1725-3>. Acessado 27 fev. 2023.

HOEKSTRA, A. Y.; BUURMAN, J.; VAN GINKEL, K. C. H. **Urban water security: A review.** Environmental research letters, v. 13, n. 5, p. 053002, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>. Acesso em 27 fev. 2023.

HOLZ, Ingrid Herzog. **Urbanização e impactos sobre áreas de preservação permanente: o caso do Rio Jucu-ES.** 2012. 210 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - 101



UFES

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes. Disponível em:
<http://repositorio.ufes.br/handle/10/4408>. Acesso em: 10 fev. 2024.

IBGE. **IBGE Cidades**. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br>. Acesso em: 7 fev. 2024.

INFOSAMBAS. **Início - Infosambas**. Disponível em: <https://infosanbas.org.br>. Acesso em 28 fev. 2024.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE (Espírito Santo). **Alerta! - Atlas de Vulnerabilidade a Inundação**. 2013. Disponível em: <https://alerta.es.gov.br/atlas-de-vulnerabilidade-a-inundacao>. Acesso em: 23 de abr. de 2023.

INSTITUTO JONES DOS SANTOS NEVES. **Diagnóstico de Componentes Ambientais Relacionados à Temática Água e Desenvolvimento Sustentável no Espírito Santo**. Vitória, 2021. Disponível em: <http://www.ijsn.es.gov.br/component/attachments/download/7401>. Acesso em: 27 fev. 2023.

IPCC. Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2022. p. 3–33. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>. Acesso em 27 fev. 2023.

IPCC. **Summary for Policymakers**. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34. 2023. Disponível em <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001>. Acesso em: 02 fe. 2024.

KAMMERBAUER, J. **Las dimensiones de la sostenibilidad: fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos**. Interciencia, v. 26, n. 8, p. 353–359, 2001. Disponível



UFES

em: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442001000800006&lng=es&nrm=iso&tlang=es. Acesso em: 25 jan. 2023.

KITCHENHAM, B. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. Durham: [s.n.], 2007. Disponível em: https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf. Acesso em: 27 fev. 2023.

KRICENE, Hazem; GEIGER, Tobias; FRIELER, Katja; WILLNER, S.N.; SAUER, Inga; OTTO, Christian. Long-term impacts of tropical cyclones and fluvial floods on economic growth—Empirical evidence on transmission channels at different levels of development. World Development, v. 144, p. 105475, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105475>. Acesso em: 10 fev. 2024

LI, X.; SU, X.; WEI, Y. Multistage integrated water security assessment in a typical region of Northwestern China. Journal of Cleaner Production, v. 220, p. 732–744, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.02.033>. Acesso em: 27 fev. 2023.

LONDE, Luciana de R; COUTINHO, Marcos P.; GREGÓRIO, D.; TORRES, Leandro; SANTOS, Leonardo B. L.; SORIANO, Érico. Desastres relacionados à água no Brasil: perspectivas e recomendações. Ambiente & Sociedade, v. 17, p. 133-152, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1082V1742014>. Acesso em 10 abr. 2024.

MAIA, Rodrigo Gomes Távora; PEREIRA JUNIOR, Amaro Olimpio. Eco-Efficiency of the food and beverage industry from the perspective of sensitive indicators of the water-energy-food nexus. Journal of Cleaner Production, vol. 324, p. 129283, Nov. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129283>. Acesso em 28 fev. 2024.

MARCAL, Juliana; ANTIZAR-LADISLAO, Blanca; HOFMAN. Addressing Water Security: An Overview. Sustainability, v. 13, n. 24, p. 13702, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su132413702>. Acesso em: 27 fev. 2023.

MARINS, Monique de Faria; BELÉM, André Luiz; SOBRAL, Bruno Serafini; CARAVIERI, Amanda Carvalho. Caracterização da Região Hidrográfica RH II Guandu, estado do Rio de Janeiro, sob a ótica da segurança hídrica. In: SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos,



UFES

14., 2021, Belo Horizonte. **Anais[...]**, Porto Alegre. ABRHidro, 2021. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13672>. Acesso em: 28 fev. 2024.

MARINS, Monique de Faria; CARAVIERI, Amanda; SOBRAL, Bruno Serafini; BELÉM, André Luiz. Segurança hídrica: um estudo de caso na sub-bacia hidrográfica do rio Salgado – Ceará. In: XXIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS, 2021, Belo Horizonte. **Anais[...]**, Porto Alegre. ABRHidro, 2021. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13672>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MARTTUNEN, M.; LIENERT, J.; BELTON, V. **Structuring problems for Multi-Criteria Decision Analysis in practice: A literature review of method combinations**. European Journal of Operational Research, v. 263, p. 1–17, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.041>. Acesso em: 6 fev. 2023.

MISHRA, Ashok; ALNAHIT, Ali; CAMPBELL, Barbara. **Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A review and analysis**. Journal of Hydrology, v. 596, p. 125707, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125707>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MOHAMMADPOUR, Paniz; MAHJABIN, Tasnuva; FERNANDEZ, Jose; GRADY, Caitlin. **From national indices to regional action —An Analysis of food, energy, water security in Ecuador, Bolivia, and Peru**. Environmental Science & Policy, v. 101, p. 291–301, nov. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.08.014>. Acesso em: 27 fev. 2023.

MUCHERERA, Blessing; SPIEGEL, Samuel. **Forced displacement: critical lessons in the protracted aftermath of a flood disaster**. GeoJournal, v. 87, n. 5, p. 3855-3875, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10708-021-10471-w>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MURATA, Ryo; TOKUDA, Daisuk; KIGUCHI, Masashi; NODA, Keigo; OKI, Taikan. **Impact of flood experiences and anxiety on subjective well-being**. Hydrological Research Letters, v. 17, n. 3, p. 56-61, 2023. Disponível em <http://dx.doi.org/10.3178/hrl.17.56>. Acesso em: 10 fev. 2024.

NAVARRO, Fabricio Alonso Richmond; BENSO, Marcos Roberto; GESUALDO, Gabriela Chiquito; RÁPALO, Luis Rapallo Castillo; PASSOS, Vitória Eduarda Alencar; SILVA, Pedrita Fernanda; MENDIONDO, Eduardo Mario. Novas oportunidades para segurança hídrica e



UFES

resiliência a riscos de desastres naturais: WTP, WTA e WTADAPT. *In:* SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 14., 2021, Belo Horizonte. *Anais[...]*, Porto Alegre. ABRHidro, 2021. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13111>. Acesso em: 28 fev. 2024.

NIEMEIJER, D.; GROOT, R.S. **Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks**. Environ. Dev. Sustain. 10 (1), 89–106. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10668-006-9040-9>. Acesso em 02 fev. 2024.

NIPPON KOEY LAC. Plano de Segurança Hídrica da Bacia Hidrográficas do Acaraú. *In: Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-Bacia do Salgado*. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Plano-de-Seguranca-Hidrica-da-Bacia-Hidrografica-do-Acarau.pdf>. Acesso em 21 fev. 2024.

NIPPON KOEY LAC. Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Metropolitanas. *In: Plano de Segurança Hídrica das Bacias Hidrográficas Estratégicas do Acaraú, Metropolitanas e da Sub-Bacia do Salgado*. [s. l.], 2018. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Plano-de-Seguranca-Hidrica-das-Bacias-Hidrograficas-Metropolitanas.pdf>. Acesso em 21 fev. 2024.

OCDE. **Water Security for Better Lives**. Paris, 2013. Disponível em: https://www.oecd-ilibrary.org/environment/water-security_9789264202405-en. Acesso em 17 fev. 2023.

OCTAVIANTI, Thanti; STADDON, Chad. **A review of 80 assessment tools measuring water security**. Wiley Interdisciplinary Reviews: Water, v. 8, n. 3, p. e1516, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wat2.1516>. Acesso em: 27 fev. 2023.

OCTAVIANTI, Thanti. **Rethinking water security: How does flooding fit into the concept?** Environmental Science and Policy, v. 106, p. 145–156, 1 abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.01.010>. Acesso em: 27 fev. 2023.

OLAWUMI, Timothy O.; CHAN, Daniel WM. **A scientometric review of global research on sustainability and sustainable development**. Journal of cleaner production, v. 183, p. 231-250, 2018.



UFES

PAGE, Matthew J; MCKENZIE, Joanne E; BOSSUYT, Patrick M; BOUTRON, Isabelle; HOFFMANN, Tammy C; MULROW, Cynthia D; SHAMSEER, Larissa; TETZLAFF, Jennifer M; AKL, Elie A; BRENNAN, Sue E; CHOU, Roger; GLANVILLE, Julie; GRIMSHAW, Jeremy M; HRÖBJARTSSON, Asbjørn; LALU, Manoj M; LI, Tianjing; LODER, Elizabeth W; MAYO-WILSON, Evan; MCDONALD, Steve; et al. **The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews.** BMJ, p. n71, Mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>. Acesso em 28 fev. 2024.

PAHL-WOSTL, C. **Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level coordination challenge.** Environmental Science and Policy, v. 92, n. January 2017, p. 356–367, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.017>. Acesso em 27 fev. 2023.

PAIVA, Ana Carolina da Encarnação; NASCIMENTO, Nathália; RODRIGUEZ, Daniel Andres; TOMASELLA, Javier; CARRIELLO, Felix; REZENDE, Fernanda Silva. **Urban expansion and its impact on water security: the case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil.** Science Of The Total Environment, [S.L.], v. 720, p. 137509, jun. 2020. Elsevier BV. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137509>. Acesso em 27 fev. 2024.

POZZEBON, Gabriel Ribeiro; BELLADONA, Rossano; BORTOLIN, Taison Anderson; VARGAS, Tiago de. **Proposta de um novo método para a definição de indicadores de segurança hídrica no abastecimento público.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, p. 947-956, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210325>. Acesso em: 10 fev. 2024.

PROFILL, ENGECORPS. **Plano Mineiro de Segurança Hídrica.** Disponível em: <https://www.pmsm.com.br/>. Acesso em 21 fev. 2024.

PROFILL, NIP S.A., NIP DO BRASIL. **CBHs Jucu e Santa Maria da Vitória - Enquadramento de Corpos de Água e Plano de Recursos Hídricos.** Vitória, 2016. Disponível em: <https://agerh.es.gov.br/Media/agerh/Documenta%C3%A7%C3%A3o%20CBHs/CBHs%20Ju cu%20e%20Santa%20Maria%20da%20Vit%C3%B3ria%20->



UFES

%20Enquadramento%20de%20Corpos%20de%20%C3%81gua%20e%20Plano%20de%20Re
cursos%20H%C3%ADdricos.pdf. Acesso em: 23 dez. 2023.

PROFILL. Produto 3 – Relatório do mapeamento consolidado das áreas prioritárias para a segurança hídrica, RP001 (Subproduto 3A). In: **Plano de Segurança Hídrica da Região Metropolitana de Belo Horizonte**. [s.l], 2021. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1R49ujCzWdn-S9VJTpoXdfTSSKfEyezeg/view>. Acesso em 21 fev. 2024.

RAMOS FILHO, Rivaildo da Silva; FILHO, Mauro Normando Macêdo Barros; ALVES RUFINO, Iana Alexandra; FRANÇA DA COSTA, Fagner; DE SOUSA CORDÃO, Maria José. **Urban water insecurity drivers in the Brazilian semi-arid region**. Water Supply, vol. 23, no. 2, p. 447–458, Jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/ws.2023.015>. Acesso em 28 fev. 2024.

ROCHA, Luciana Bellé. **Percepções dos conflitos pelo uso da água no entorno do Parque Estadual da Pedra Azul, na região serrana do Espírito Santo**. Dissertação (Mestrado em Sociologia Política), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2021. Campos dos Goytacazes, 2021. Disponível em: https://uenf.br/posgraduacao/sociologia-politica/wp-content/uploads/sites/9/2022/09/Dissertacao-Luciana-Belle-Rocha-versao-final-2021_com-ficha-catalografica.pdf. Acesso em 28 fev. 2024.

RODRIGUES, D. B. B.; GUPTA, H. V.; MENDIONDO, . M. **A blue/green water-based accounting framework for assessment of water security**. Water Resources Research, v. 50, n. 9, p. 7187–7205, set. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2013WR014274>. Acesso em 27 fev. 2023.

RODRIGUES, Dulce B. B.; GUPTA, Hoshin V.; MENDIONDO, Eduardo M.; OLIVEIRA, Paulo Tarso S. **Assessing uncertainties in surface water security: an empirical multimodel approach**. Water Resources Research, [S.L.], v. 51, n. 11, p. 9013-9028, nov. 2015. American Geophysical Union (AGU). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/2014wr016691>. Acesso em: 27 fev. 2024.



UFES

ROIDT, M.; AVELLÁN, T. **Learning from integrated management approaches to implement the Nexus.** Journal of Environmental Management, v. 237, p. 609–616, 1 maio 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.106>. Acesso em 27 fev. 2023.

SANCHEZ, G. F.; MATOS, M. M. **Marcos Metodológicos para sistematização de indicadores de sustentabilidade da agricultura.** [SYN]THESIS, v. 5, n. 2, p. 255–266, 2012. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/synthesis/article/view/7380>. Acesso em 27 fev. 2023.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L. M. S. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura.** Ambiente & Sociedade, v. XVII, p. 1–22, 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/yJ9gFdvcwTxMR5hyWtRR6SL/>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Espírito Santo). **Gestão das Águas e da Paisagem.** Disponível em: <https://seama.es.gov.br/gestao-das-aguas-e-da-paisagem>. Acesso em 28 fev. 2024.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS (Espírito Santo). **Programa Reflorestar.** Disponível em: <https://seama.es.gov.br/programa-reflorestar>. Acesso em 28 fev. 2024.

SEDEC. Relatórios. In: **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres.** Disponível em: <https://s2id.mi.gov.br/paginas/relatorios>. Acesso em: 10 fev. 2022.

SOARES NETO, Percy; PEDROSA, Valmir. **Construindo a segurança hídrica.** Vitória: GSA Gráfica e Editora, 2018.

SONE, J. S.; ARAUJO, T. F.; GESUALDO, G. C.; BALLARIN, A. S. CARVALHO, G. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E. C. **Water Security in na Uncertain Future: contrasting realities from an availability-demand perspective.** Water Resources Management, v. 36, pp. 2571-2587, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-022-03160-x>. Acesso em 02 fev. 2024.

SRDJEVIC, Z.; BAJCETIC, R.; SRDJEVIC, B. **Identifying the Criteria Set for Multicriteria Decision Making Based on SWOT/PESTLE Analysis: A Case Study of Reconstructing A**

Water Intake Structure. Water Resources Management, v. 26, n. 12, p. 3379–3393, 30 set. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11269-012-0077-2>. Acesso em: 6 fev. 2023.

SUGAHARA, Cibele Roberta; BRANCHI, Bruna Angela; FERREIRA, Denise Helena Lombardo; MENDES, Jakeline Pertile. **Indicadores de Sustentabilidade Para a Segurança Hídrica.** Revista Humanidades & Inovação, v. 9, n. 27, p. 374–388, 2023. Disponível em: <https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/6282>. Acesso em 28 fev. 2024.

TANGUAY, G. A; RAJAONSON, J.; LANOIE, P. **Measuring the sustainability of cities: An analysis of the use of local indicators.** Ecological Indicators journal, v. 10, p. 407–418, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.07.013>. Acesso em 27 fev. 2023.

TAYLOR, K. S. **Australian water security framings across administrative levels.** Water Security, v. 12, p. 100083, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2020.100083>. Acesso em 27 fev. 2023.

TEDESCO, Angélica Nogueira de Souza. **Modelo conceitual para integração das gestões de recursos hídricos e agroflorestal utilizando modelo de sustentabilidade como estratégia.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), PPGEA - Universidade Federal do Espírito Santo, 2023. Vitória, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifes.edu.br/handle/123456789/4339>. Acesso em 28 fev. 2024.

TOMAZ, P.; JEPSON, W.; SANTOS, J. O. **Urban Household Water Insecurity from the Margins: Perspectives from Northeast Brazil.** The Professional Geographer, v. 72, n. 4, p. 481–498, 1 out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00330124.2020.1750439>. Acesso em 27 fev. 2023.

UN-WATER. **Water security and the global water agenda: a UN-water analytical brief.** Ontario: United Nations University - Institute for Water, Environment and Health, 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-and-global-water-agenda>. Acesso em: 12 jan. 2023.

UN. **Report of the World Food Conference, Rome, 5-16 November 1974.** Roma, 1974. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/701143#record-files-collapse-header>. Acesso em: 8 fev. 2023.



UFES

VAN GINKEL, Kees C. H.; HOEKSTRA, Arjen Y.; BUURMAN, Joost; HOGEBOOM, Rick J. **Urban Water Security Dashboard: systems approach to characterizing the water security of cities.** Journal Of Water Resources Planning And Management, [S.L.], v. 144, n. 12, p. 1-11, dez. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000997](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000997). Acesso em: 27 fev. 2024.

VAN GINKEL, Kees C.H.; HOEKSTRA, Arjen; BUURMAN, Joost; HOGEBOOM, Rick J. **Urban Water Security Dashboard: Systems Approach to Characterizing the Water Security of Cities.** Journal of Water Resources Planning and Management, v. 144, n. 12, dez. 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000997](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000997). Acesso em 27 fev. 2023.

VARGAS, J. R. A. **Potencial de Aplicação do Modelo de Sustentabilidade para Sistemas Agroflorestais proposto por Machado Junior (2019).** 2022. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2022. Disponível em: <https://profagua.ufes.br/post-graduacao/PROF%C3%81GUA/detalhes-da-tese?id=16588>. Acesso em 27 fev. 2023.

WANG, J. et al. **Interactive quantitative modeling and cost optimization of regional sustainable development based on water-energy-food nexus.** Sustainable Production and Consumption, v. 30, p. 1070–1081, 1 mar. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.01.031>. Acesso em 27 fev. 2023.

WCED. **Our Common Future.** Medicine and War. London, 1987. Disponível em: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2023.

WEF. **Water Security: The Water-Energy-Food-Climate Nexus.** Washington: Island Press, 2011. Disponível em: https://www3.weforum.org/docs/WEF_WI_WaterSecurity_WaterFoodEnergyClimateNexus_2011.pdf. Acesso em: 31 jan. 2023.

WWC. **Ministerial Declaration of The Hague on Water Security in the 21st Century.** Haia, 2000. Disponível em:



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL



https://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/world_water_council/documents/world_water_forum_2/The_Hague_Declaration.pdf. Acesso em: 12 jan. 2023.

YOUNG, Sera L; BETHANCOURT, Hilary J; RITTER, Zacchary R; A FRONGILLO, Edward. **The Individual Water Insecurity Experiences (IWise) Scale: reliability, equivalence and validity of an individual-level measure of water security.** *Bmj Global Health*, [S.L.], v. 6, n. 10, p. 006460-006460, out. 2021. BMJ.. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjgh-2021-006460>. Acesso em: 27 fev. 2024.

ZENG, Zhao; GUAN, Dabo; STEENGE, Albert E.; XIA, Yang; MENDOZA-TINOCO, David. **Flood footprint assessment: a new approach for flood-induced indirect economic impact measurement and post-flood recovery.** *Journal of Hydrology*, v. 579, p. 124204, 2019. Disponível em <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124204>. Acesso em: 10 fev. 2024.

ZIJP, Michiel; HEIJUNGS, Reinout; VOET, Ester van Der; MEENT, Dik van de; HUIJBREGTS, Mark; HOLLANDER, Anne; POSTHUMA, Leo. **An Identification Key for Selecting Methods for Sustainability Assessments.** *Sustainability*, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 2490-2512, 2 mar. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su7032490>. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su7032490>. Acesso em: 27 fev. 2024.

APÊNDICE A - Modelos aplicados ou desenvolvidos no Brasil

(continua)

No	Autor, ano	Grupo	Motivação/Enfoque da Modelagem	Humana	Económica	Ecosistêmica	Resiliência	Governança	Escala Geográfica de Avaliação (nação, região, estado, município, bairro, casa, região/bacia hidrográfica)	Participação dos Agentes na Seleção dos Indicadores (seleção participativa ou seleção não participativa)	Visualização dos Resultados	Localização	Somente Proposta	Implementação	Nome específico da métrica	Métodos específicos utilizados	Observação	
1	Rodrigues, Gupta e Mediodio (2014)	PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE	Propor um framework baseado na combinação de águas azul e verde para avaliar a segurança hídrica. O impacto dos componentes azul e crítico/futuro azul e verde da Pegada Hídrica sobre as condições medianas dos recursos hídricos é contabilizado pelo indicador de escassez que considera a probabilidade de baixa disponibilidade de recursos hídricos. O indicador de escassez avalia os impactos do uso da água sobre as condições medianas de provisão de água, enquanto o indicador de vulnerabilidade considera a probabilidade de baixa disponibilidade de abastecimento de água.	x	x	x	x		região/bacia hidrográfica	não participativa	geração de indicadores independentes Gráficos de linha	Bacia do rio Piracicaba		x		Modelo hidrológico SWAT		
2	Rodrigues e outros (2015)	PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE	O indicador de escassez avalia os impactos do uso da água sobre as condições medianas de provisão de água, enquanto o indicador de vulnerabilidade considera a probabilidade de baixa disponibilidade de abastecimento de água.	x	x	x	x		região/bacia hidrográfica	não participativa	geração de indicadores independentes Gráficos de linha	bacia do Rio Cachocá, localizada a norte do reservatório do Cachocá, parte do sistema de abastecimento de água do Cantareira e da bacia do Rio Piracicaba no Brasil.		x		estrutura combinada de multimodelo e remostragem que inclui dois modelos hidrológicos (SWAT e HYMOD), quatro métodos de Requerimento de Vazão Ambiental (EFR), dois métodos de análise residual de modelo (método hidrográfico de resíduo e dois outros) e dois métodos de bootstrapping residual de modelo (baseado em Blocos e Modelo) para avaliar a incerteza geral do modelo hidrológico		
3	Melo (2016)	BASEADO EM RISCO	Construir um modelo de segurança hídrica para um sistema urbano de abastecimento, baseado em análise de risco	x		x	x	x	região/bacia hidrográfica	sim, nos pesos da severidade (S), ocorrência (O) e detectabilidade (D)	tabela	Sistema de Rio das Velhas, Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG)		x		FMEA – Failure Mode and Effect Analysis	Muitos modelos medem um ou mais indicadores de exemplo, disponibilidade de recursos hídricos, qualidade da água bruta, de forma independente ou na forma de índices agregados, e os avaliam em função da severidade (por exemplo, usando escala de 1 a 100) ou por comparação com limites legais ou ambientais). No entanto, esses modelos raramente acoplam os resultados com avaliações de risco que poderiam ajudar a caracterizar os níveis de gravidade em função da frequência e dos dados do indicador de confiabilidade	
4	Castro (2017)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	gerar um Índice de Segurança Hídrica Urbana (ISHUrb), com vistas a auxiliar o processo de gestão territorial, dos recursos hídricos e ambientais	x		x	x		região	sim	SIG	Distrito Federal		x	ISHUrb	AHP		
5	Ginkel e outros (2018)	PSR/DPSIR	Propor um painel de segurança hídrica urbana baseado em uma abordagem sistêmica para caracterizar a segurança hídrica de cidades	x	x	x	x	x	município	não participativa (apenas entrevista)	geração de indicadores individuais dashboard	10 cities (Amsterdam, Toronto, Singapore, Dubai, Beijing, Hong Kong, São Paulo, Nairobi, Lima, and Jakarta)		x	UWSD Urban Water Security Dashboard	estrutura pressão-estado-impacto-resposta (PSIR)		
6	Gesualdo e outros (2019)	PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE	Avançar a segurança hídrica da região metropolitana de São Paulo considerando a mudança climática projetada; isso a partir da análise da vulnerabilidade hídrica e escasses hídrica.	x			x		região/bacia hidrográfica	não participativa	geração de indicadores independentes Gráficos de linha	Bacia do rio Jaguari (MG e SP); Região Metropolitana de São Paulo		x		Modelo hidrológico HYMOD, 17 modelos estocásticos de circulação geral (GCMs), cenários RCPs do AR5 do IPCC, indicadores de escassez e vulnerabilidade hídrica		
7	ANA (2019c)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE		x	x	x	x		Nação	não	SIG	Brasil		x	ISH	ISH ANA		
8	Tomas, Jerson e Santos (2020)	BASEADO EM RISCO	Explorar a insegurança hídrica doméstica urbana a partir das perspectivas de moradores de áreas marginais no nordeste do Brasil	x					domiciliar	entrevistas	Gráfico de radar. Descriptivo.	Forquilha, Ceará, Brazil		x	Household Water Insecurity Index (HWIWI)		Pode ser útil para calcular demanda e alteração de uso da terra quando for fazer projeto de H2. Apesar de estar marcado como pegada hídrica, isso é apenas pelo modo como está apresentado. Ele também poderia ser classificado como de indicadores. A questão é que ele está considerando apenas a demanda de água.	
9	Paiva e outros (2020)	PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE	Analizar o impacto da expansão urbana na segurança hídrica da bacia do rio Paraíba do Sul, São Paulo, Brasil	x					região	não	tabela	Vale do Paraíba Paulista		x		Modelo de uso e cobertura da terra		

(continuação)

No	Autor, ano	Grupo	Motivação/Efoco da Modelagem	Humana	Econômica	Ecosistêmica	Resiliência	Governança	Escala Geográfica de Avaliação (nação, região, estado, município, bairro, casa, região/bacia hidrográfica)	Participação dos Agentes na Seleção dos Indicadores (seleção participativa ou seleção não participativa)	Visualização dos Resultados	Localização	Somente Proposta	Implementação	Nome específico da métrica	Métodos específicos utilizados	Observação
10	Young e outros (2021)	BASEADO EM PESQUISAS/EXPERIENCIAS	adequada para estimar a carga populacional de segurança hídrica e compreender as relações entre segurança hídrica e outras características nacionais e individuais. A capacidade de estimar a carga populacional de segurança hídrica das indústrias dentro e dentro dos países e fornecer estimativas desagregadas por gênero e outras características sociais e demográficas serão os próximos passos importantes para acompanhar o progresso em direção aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e outras agendas de desenvolvimento.	x					individual	entrevistas	gráfico de linha	31 países de baixa e média renda (Países sub-saarianos; Norte da África, América Latina, Ásia)	x		INDIVIDUAL WATER INSECURITY EXPERIENCES IWSE		
11	De Melo e outros (2021)	BASEADO EM RISCO	Construir um modelo de segurança hídrica para um sistema urbano de abastecimento, baseado em análise de risco	x		x	x	x	região/bacia hidrográfica	sim, nos pesos da severidade (S), ocorrência (O) e detectabilidade (D)	tabela	Sistema de Rio das Velhas, Região Metropolitana de Belo Horizonte (MG)	x		FMEA – Failure Mode and Effect Analysis	Muitos modelos medem um ou mais indicadores de segurança (por exemplo, disponibilidade de recursos hídricos, qualidade da água bruta), de forma individualizada, sem considerar os desagregados, e os avaliam em função da severidade (por exemplo, usando uma escala qualitativa ou por comparação com limites legais ou ambientais). No entanto, esses modelos normalmente ignoram os efeitos combinados de todos os fatores de risco que poderiam ajudar a caracterizar os níveis de gravidade em função da frequência e dos dados do indicador de confiabilidade	O cálculo do risco de segurança hídrica como produto ponderado de gravidade, ocorrência e detectabilidade (modelo de modo de falha) reuniu os três componentes de risco em um único índice..
12	Maia e Pereira Júnior (2021)	PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE	Avaliar a especificação da indústria de alimentação & bebedas à partir da perspectiva de indicadores sensíveis do nexo água-energia-alimento Propor uma metodologia para avaliação da eficiência hídrica da indústria brasileira em suas unidades utilizando uma abordagem multiregional de insumo-produto, a Análise Envoltória de Dados e o índice de Malmquist, com o objetivo principal de internalizar impactos normalmente negligenciados no processo de formulação de políticas nacionais	x					Nação	não	tabela	Brasil	x		water minus water demand (AMD) method	WEF	
13	Chaves, Silva e Fonseca (2021)	PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE	desenvolver um método capaz de avaliar o impacto das mudanças climáticas nas vazões afluentes de reservatórios de montante, sob diferentes cenários futuros de emissões de GHG, e estimar a correspondente segurança hídrica, tomando como exemplo o reservatório do rio Descoberto (DF/GO).			x			região/bacia hidrográfica	não	sig	reservatório do rio Descoberto (DF/GO).	x		modelo de sustentabilidade hídrica de Xu et al. (2002), Cenários RCP 4,5 Modelos climáticos GCM, regionalizados pelo RCM-Eta	Trata segurança hídrica como a razão entre demanda e disponibilidade	
14	Navarro e outros (2021)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	mostrar os indicadores multidimensionais, como o Blue Peace Index (BPI) e o Biodiversity and Ecosystem Services Index (BESI), como um novo vetor de informação na gestão de risco para ameaças naturais relacionadas a situações de segurança hídrica.	x	x	x	x	x	região	não		sem local	x		Blue Peace Index (BPI) Biodiversity and Ecosystem Services Index (BESI)		
15	Marins e outros (2021)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	realizado um diagnóstico da RH II-Guardu através da sobreposição de dados geoespaciais de uso e cobertura do solo, hidrografia, relevo, dados populacionais, índices de segurança e disponibilidade da água, bem como documentando os desafios específicamente para esta região, evidenciando sua vulnerabilidade hídrica e apontando os desafios para a manutenção e expansão do principal sistema urbano de abastecimento de água do estado do Rio de Janeiro.	x	x	x	x		região/bacia hidrográfica	não	sig	região hidrográfica do guardu			ISH	ISH ANA	Utiliza o ISH da ANA
16	ANA (2021)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	Atualizar a dimensão Humana do ISH da ANA e prover análise da segurança hídrica focada em abastecimento para o Atlas Águas	x			x		Nação	não	sig	Brazil	x	ISH-U	ISH do Abastecimento Urbano		
17	Sone e outros (2022)	PEGADA HÍDRICA AZUL E VERDE	Avaliar a segurança hídrica futura de duas bacias hidrográficas, considerando mudanças climáticas e demanda, constatando a demanda hídrica com níveis probabilísticos de disponibilidade hídrica para identificar possíveis fatores de insegurança	x			x		região/bacia hidrográfica	não	sig	bacias do Guaporé e do Jaguaribe	x		modelo SWAT+; conjunto multimodelo CMIP6; SSPs		
18	Bruto, de Bruto e Rufino (2022)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	elaborar uma dimensão para o Índice de Segurança Hídrica do Brasil (ISH) capaz de representar o risco associado às interações antrópicas e ao fenômeno da seca na região	x	x	x	x		região/bacia hidrográfica	não	sig	Bacia do Alto Curso do Rio Paraíba	x	ISH_ajust	ISH ANA com nova dimensão		
19	Almeida e outros (2022)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	observar o funcionamento do cenário normatizado do binário referente a oferta e a demanda hídrica da Sub Bacia Hidrográfica do Rio Salgado para os anos de 2020 a 2050.	x	x	x	x		região/bacia hidrográfica	não	sig	Sub Bacia Hidrográfica do Rio Salgado	x	ISH	Fator de Risco (ISH - ANA)	Analisou apenas o Fator de Risco, método utilizado no ISH ANA	

(conclusão)

No	Autor, ano	Grupo	Motivação/Enfoque da Modelagem	Humana	Econômica	Ecosistêmica	Resiliência	Governança	Escala Geográfica de Avaliação (nação, região, estado, município, bairro, casa, região/bacia hidrográfica)	Participação dos Agentes na Seleção dos Indicadores (seleção participativa ou seleção não participativa)	Visualização dos Resultados	Localização	Somente Proposta	Implementação	Nome específico da métrica	Métodos específicos utilizados	Observação
20	Pozzebon e outros (2022)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	A escassez de indicadores para compor um índice para avaliar a segurança hídrica no abastecimento público foi o que motivou a realização deste estudo. O objetivo central do artigo é apresentar um novo método capaz de identificar indicadores para o abastecimento na escala municipal.	x	x			x	município	não		município de Caxias do Sul (RS)	x				
21	Barbosa (2022)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	analisar as condições de segurança hídrica na RMG observando as distinções entre seus municípios. Paralelamente a pesquisa investigou o impacto socioeconômico da segurança hídrica, sistematizou as metodologias empregadas na medição, avaliação e análise de segurança hídrica e apropriou-se do Índice de Segurança Hídrica - ISH da Agência Nacional de Águas e Saneamento - ANA, incorporando a dimensão social.	x	x	x	x		região	não	sig	Região Metropolitana de Goiania		x	ISH	ISH ANA com nova dimensão	
22	Sugahara e outros (2023)	PSR/DPSIR	evidenciar a importância da gestão eficiente da água a partir da escolha de indicadores de sustentabilidade baseada em um modelo de para avaliação ambiental integrada.	x	x	x	x	x	região/bacia hidrográfica	não	tabela	sem local	x			FPEIR (DPSIR)	
23	Ramos Filho e outros (2023)	SISTEMA DE INDICADORES/ÍNDICE	Este estudo busca responder à seguinte questão: como a demanda, a disponibilidade e o clima afetam a segurança hídrica em uma pequena cidade do semiárido? to compare the Urban Water Security Index (UWSI) with three other methodologies (percentage flow duration curve, Urban Water Sustainability Indicator, and accumulated data from the Drought Monitor) for the municipality of Guarabira, Paraíba, Brazil.	x		x	x		município	não	diverso Geração de índices e de indicadores separados	município de Guarabira, Paraíba, Brasil			Urban Water Security Index (UWSI)	Compare com percentage flow duration curve, Urban Water Sustainability Indicator, and accumulated data from the Drought Monitor	O ISH-U é fornecido pelo ATLAS ÁGUAS (NWSA 2021), que avalia a segurança hídrica do abastecimento urbano nos municípios brasileiros. Por serem indicadores de segurança hídrica em escala local, é visto como um avanço no Índice de Segurança Hídrica (escala global) da dimensão humana, proposto pelo Plano Nacional de Segurança Hídrica (PNPS) no Brasil.

Fonte: o autor.

APÊNDICE B- Termos relacionados à segurança hídrica

(continua)

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
x	x	x	x		Quantity Water availability blue water (groundwater availability) freshwater availability water scarcity Resources Sufficient quantity Volumetric sufficiency		x	x	x		(a)(b)(c)(d)(e)
x	x	x	x		Water resources Water resource subsystem Water resources security			x	x		(c)
x	x	x		x	Dynamic apportionment			x			(b)
x	x	x			Reliable, sustainable supply Equitable supply Quantity of supply Average distance travelled to fetch water from improved water sources Per capita water use (lpcd) Population access to piped water supply (%) Service area coverage for piped water supply (%) Investment in water supply facilities (USD) Access Accessibility Accessible supply Affordability Water supply	x		x	x		(a)(b)(e)(f)



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
					Garantia de água para abastecimento Percentual de Cobertura da Rede de Abastecimento Urbano *						
x	x	x	x	x	Sustainability Sustainable Time		x	x			(a)(d)(e)
x	x	x			Customer satisfaction with water quality (1:n) Hygiene Hygiene and sanitation indicators of sanitation Number of people using improved sanitation facilities (number) Investment in sanitation facilities (USD) Number of people using improved water sources (number) pH of supplied water (no unit) Quality & Human Health Quality of water supplied Reliable, sustainable supply Residual chlorine (%) Safe drinking water inaccessibility (%) Type of water treatment employed (no unit) Water borne disease factor (%) Water supply and sanitation Quality Wastewater treatment factor (%) Water Quality Index (no unit) Coliform count of supplied water (MPN/1000) Sanitation		x	x	x		(a)(b)(c)(e)(g)

(continuação)



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
					Acceptable quality Biochemical oxygen demand in water bodies (mg/L)						
x	x	x			Ratio of annual water withdrawal to total renewable water resources			x			(b)
x	x	x			Uso e ocupação do solo					x	(g)
x	x		x	x	Per capita GDP (USD)			x			(b)
x	x		x	x	Cost Acceptable cost of water supply Economic value of water Water price (USD/m3)			x	x		(a)(b)
x	x			x	Infrastructure reliance				x		(a)
x	x				Food security Food production WEF nexus Food/energy Agricultural water productivity (USD/m3) Garantia de água para irrigação e pecuária	x	x	x			(b)(d)(f)
x	x				desalination		x				(d)
x	x				Basic human needs and productivity WEF nexus Food/energy			x	x		(a)(c)
x	x				Considers energy for water supply Energy security WEF Nexus Food/Energy			x	x		(a)
x	x				Quality Wastewater treatment factor (%) Water Quality Index (no unit)			x	x		(a)(b)(c)

(continuação)



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
					Coliform count of supplied water (MPN/1000) Sanitation Acceptable quality Biochemical oxygen demand in water bodies (mg/L)						
x	x				Basic human needs and productivity Basic needs			x			(b)
x	x				Transport			x			(a)
x		x			Health Provides spiritual value, human dignity			x	x		(a)
x		x			Turbidity of water (NTU) Carência de ações estruturantes para conservação de água e solo para controle de processos erosivos Manejo das estradas vicinais			x		x	(b)(g)
x		x			Environment & Ecosystem health			x			(e)
x			x		Presence/absence of conflict (community to transboundary)			x			(a)
x			x		Social capital				x		(c)
x					Livelihoods Liveability & Wellbeing Wider well-being (e.g., psychological stress) Human well-being Human/Community security			x	x		(a)(c)(e)
x					Percentage of Imported water (%)			x			(b)
x					Population subsystem			x			(b)
x					Preference			x			(a)
x					Domestic Water				x		(c)
x					Perdas na distribuição de água tratada					x	(g)

(continuação)



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras-chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
x					Variabilidade populacional Sazonal					x	(g)
x	x				Industrial influent treatment factor (%)			x			(b)
x					Industrial resources Garantia de água para atividade industrial	x		x			(a)(f)
x					Economic Productivity Economic Growth Economic subsystem Enhanced economic output, development Water wealth (USD/m3) Productivity/efficiency.			x	x		(a)(b)(e)
x					Commercial water productivity (USD/m3)			x			(b)
	x	x			Relative carrying capacity Resource stress Ratio of external to total renewable water resources Total renewable water resources per capita			x			(b)
x		x			Watershed			x			(a)
x					Environment (river health) Environmental needs Environmental requirements Ecology (biodiversity) Ecosystems Considers ecosystems, environmental flows Quantidade adequada de água para usos naturais	x		x	x		(a)(c)(f)
	x				Effect of polluting factors Water pollution factor (%) Ecosystem degradation and pollution. Natural water quality factor (%) State of natural water bodies	x		x			(b)(f)



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					(continuação)
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
					Water environment subsystem Qualidade adequada da água para usos naturais						
		x			Segurança das barragens de rejeito de mineração	x					(f)
	x				Green water (evapotranspiration process)				x		(c)
		x			Carença de cobertura florestal em áreas de recarga de aquíferos e áreas sensíveis como APPs					x	(g)
		x	x		Adaptative capacity Adaptability factor (no unit) Potential to adapt to future changes adaptation		x	x	x		(b)(c)(d)
		x	x		Resilience Risk & Certainty Risk/hazards Risks Variability and risk Uncertainty Water disaster subsystem Water related hazards Integrated vulnerability Disaster budget factor (%) Disaster mitigation Disaster preparedness Disaster preparedness workshops with vulnerable communities (number) Risk management and independence		x	x	x		(a)(b)(c)(d)(e)

(continuação)

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
			x		Droughts Droughts and water scarcity Reservação artificial	x			x		(c)
			x		Reservação artificial	x					(f)
			x		Reservação natural	x					(f)
			x		Potencial de armazenamento subterrâneo	x					(f)
			x		Variabilidade pluviométrica	x					(f)
			x		Climate change Global Change Climate security		x	x	x		(a)(c)(d)
			x		Floods Runoff variability Eventos críticos por chuvas intensas Alta pluviosidade Eventos de cheia Flood damage (USD) Flood risk mapping (no unit) Proportional area of flooding (%) Drainage factor (%) Diminished risk of floods (and/or sea-level rise)			x	x	x	(a)(b)(c)(g)
				x	Governance water management Overall management of the water sector Policy Policy, Stability & Capacity Public support factor (no unit) Citizen support for water security		x	x	x		(a)(b)(c)(d)(e)



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(conclusão)

Dimensões					Fator	Tipo de fonte					
Hum	Econ	Ecossist	Resil	Gov.	Termo original	Fatores ISH-ANA (2019)	Palavras chave (Revisão sistemática)	Definições	Modelos	Prática (Neades, não publicado)	Referência
					Effective management, institutions Institution factor (no unit)						
				x	Increases safety/security against sabotage National security Peace/ national security Presence/absence of conflict (community to transboundary)			x	x		(a)

Fonte: o autor. Nota: (a)= GERLAK et al., 2018; (b)= Babel e outros (2020); (c)= Octavianti e Staddon (2021); (d)= Revisão sistemática (1ª feita ao longo dessa pesquisa); (e)= Allan, Kenway e Head (2018); (f)= ANA (2019a,b, c); (g)= Neades (não publicado)

APÊNDICE C – Fatores intervenientes na segurança hídrica

(continua)

Dimensão	Elemento	Fator
Segurança hídrica na dimensão humana	Garantia de água para abastecimento e usos sociais e culturais	Disponibilidade relativa de água nas fontes e cursos d'água utilizados pelas comunidades
		Eficiência no uso da água pelas comunidades
		Promoção da melhoria da eficiência no uso da água pelas comunidades
	Qualidade da água para abastecimento e usos sociais e culturais	Grau de qualidade da água dos mananciais de abastecimento
		Qualidade relativa ao uso da água para fins de consumo e utilizações sociais e culturais humanas
		Promoção da melhoria da qualidade da água dos mananciais de abastecimento
	Acesso ao saneamento e higiene	Condição sanitária e saúde ambiental
		Nível de saúde das pessoas quanto a doenças relacionadas à água
		Promoção da saúde e higiene
	Confiabilidade da infraestrutura hídrica pública de esgotamento, abastecimento e drenagem para comunidades	Capacidade da infraestrutura pública de esgotamento, abastecimento e drenagem para comunidades
		Condição da infraestrutura pública de esgotamento, abastecimento e drenagem para comunidades
		Promoção da melhoria da infraestrutura pública de esgotamento, abastecimento e drenagem para comunidades
	Acesso à água potável	Nível de acesso à água potável
		Equitatividade do acesso à água potável
		Promoção da melhoria do acesso à água potável



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
	Conflitos por uso da água envolvendo comunidades	Existência de conflitos relacionados aos recursos hídricos envolvendo comunidades Efetividade das tentativas de solução dos conflitos relacionados aos recursos hídricos envolvendo comunidades Promoção da paz e do bem-estar social quanto a conflitos relacionados aos recursos hídricos envolvendo comunidades
	Cultura	Valor cultural dos corpos hídricos Acesso aos corpos hídricos culturalmente importantes Promoção de cultura através dos usos da água
	Educação ambiental e capital intelectual de comunidades	Existência de profissionais qualificados e de saber local em assuntos ligados aos recursos hídricos entre as comunidades Disponibilidade e acesso aos profissionais qualificados e ao saber local em assuntos ligados aos recursos hídricos entre as comunidades Promoção da ciência e da valorização do saber local voltadas às áreas de recursos hídricos entre as comunidades
	Capacidade tecnológica e inovações em serviços públicos relacionados à água	Nível tecnológico relacionado a recursos hídricos em serviços públicos relacionados à água Eficácia das soluções tecnológicas em serviços públicos relacionados à água Fomento de tecnologias sustentáveis em serviços públicos relacionados à água



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
Segurança hídrica na dimensão econômica	Demandas socioeconômicas e uso produtivo da água	Perspectiva econômica da capacidade de geração de riqueza
		Perspectiva econômica da eficiência no uso da água
		Promoção da melhoria na distribuição dos padrões de vida material
	Conflitos por uso da água envolvendo setores econômicos	Existência de conflitos relacionados aos recursos hídricos envolvendo setores econômicos
		Efetividade das tentativas de solução dos conflitos relacionados aos recursos hídricos envolvendo setores econômicos
		Promoção da paz e do bem-estar social quanto a conflitos relacionados aos recursos hídricos envolvendo setores econômicos
	Educação ambiental e capital intelectual de setores econômicos	Existência de profissionais qualificados em assuntos ligados aos recursos hídricos
		Disponibilidade e acesso aos profissionais qualificados em assuntos ligados aos recursos hídricos
		Promoção da ciência e da valorização do saber local voltadas às áreas de recursos hídricos nos setores econômicos
	Qualidade da água para uso de setores econômicos	Grau de qualidade da água dos corpos hídricos com potencial de uso por setores econômicos
		Qualidade relativa aos usos da água nos corpos hídricos para consumo dos setores econômicos
		Promoção da melhoria da qualidade da água para uso de setores econômicos
	Garantia de água para uso de setores econômicos	Disponibilidade relativa de água nas fontes com potencial de uso por setores econômicos
		Eficiência no uso da água nos setores econômicos
		Promoção da melhoria da eficiência no uso da água nos setores econômicos



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
	Capacidade tecnológica e inovações relacionados à água em setores econômicos	Nível tecnológico relacionado a recursos hídricos em setores econômicos
		Eficácia das soluções tecnológicas em setores econômicos
		Fomento de tecnologias sustentáveis em setores econômicos
	Segurança energética	Nível de atendimento às demandas energéticas
		Adoção de práticas sustentáveis do uso da água na geração de energia elétrica e de combustíveis
		Fomento de fontes sustentáveis de geração de energia com baixa pegada hídrica
	Segurança alimentar	Nível de atendimento às demandas alimentícias da região
		Adoção de práticas sustentáveis para produção de alimentos
		Fomento de práticas sustentáveis de produção de alimentos com diminuição da alta pegada hídrica
	Confiabilidade da infraestrutura hídrica pública e privada de esgotamento, abastecimento e drenagem para setores econômicos	Capacidade da infraestrutura pública e privada de esgotamento, abastecimento e drenagem para setores econômicos
		Condição da infraestrutura pública e privada de esgotamento, abastecimento e drenagem para setores econômicos
		Promoção da melhoria da infraestrutura pública e privada de esgotamento, abastecimento e drenagem para setores econômicos
	Acesso à água para setores econômicos	Nível de acesso dos setores econômicos às fontes de água
		Acesso equitativo à água por parte dos setores econômicos
		Promoção da melhoria do acesso à água para setores econômicos



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
Segurança hídrica na dimensão ecossistêmica	Garantia de água para ecossistemas naturais	Disponibilidade relativa de água nos corpos hídricos para os ecossistemas naturais
		Capacidade na recarga de água
		Promoção da melhoria da recarga de água
	Qualidade da água para ecossistemas naturais	Grau de qualidade da água dos corpos hídricos
		Qualidade relativa da água para manutenção da biodiversidade
		Promoção da melhoria da qualidade dos corpos hídricos
	Proteção ecológica dos cursos hídricos (exógeno)	Serviços Ecossistêmicos do território com potencial de manter ou ampliar a disponibilidade de água, em quantidade e qualidade para ambiente aquático
		Condição ecológica do território (cobertura vegetal natural, biodiversidade, conservação do solo, etc.) com influência nos recursos hídricos
		Promoção da melhoria da condição ecológica do território com influência nos recursos hídricos
	Proteção ecológica dos cursos hídricos (endógeno)	Serviços ecossistêmicos dos corpos hídricos para a manutenção do ecossistema hídrico
		Condição ecológica do ambiente aquático
		Promoção da melhoria da condição ecológica do ambiente aquático no território do controle da incidência de espécies invasoras
Segurança hídrica na dimensão resiliência	Mudanças climáticas	Nível de emissão de gases de efeito estufa
		Eficiência das ações voltadas à adaptação e mitigação das mudanças climáticas
		Fomento de planejamento e ações para adaptação e mitigação relacionado a mudanças climáticas



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
		Risco de inundações
	Adaptação e resiliência à inundações	Eficiência das ações para proteção contra o risco de inundações
		Promoção da prevenção e preparação contra inundações
		Risco de seca
	Adaptação e resiliência à seca	Eficiência das ações para proteção contra o risco de seca
		Promoção da prevenção e preparação contra seca
		Risco de deslizamento de terra
	Adaptação e resiliência à deslizamento de terra	Eficiência das ações para proteção contra o risco de deslizamento de terra
		Promoção da prevenção e preparação contra deslizamento de terra
		Risco de acidentes com poluição hídrica (desastres tecnológicos)
	Adaptação e resiliência à acidentes com poluição hídrica (desastres tecnológicos)	Eficiência das ações para proteção contra o risco de acidentes com poluição hídrica (desastres tecnológicos)
		Promoção da prevenção e preparação contra acidentes com poluição hídrica (desastres tecnológicos)



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
		Risco de salinização e intrusão da água do mar, incluindo maremotos
	Adaptação e resiliência salinização e intrusão da água do mar (incluindo maremotos)	Eficiência das ações para proteção contra o risco de salinização e intrusão da água do mar, incluindo maremotos
		Promoção da prevenção e preparação contra salinização e intrusão da água do mar, incluindo maremotos
		Risco de conflitos relacionados aos recursos hídricos
	Adaptação e resiliência à conflitos por uso da água (incluindo guerras e sabotagens)	Efetividade das ações para proteção contra o risco de conflitos relacionados aos recursos hídricos
		Promoção da prevenção e preparação contra conflitos relacionados aos recursos hídricos
		Capacidade da infraestrutura frente a situações extremas e da infraestrutura de preparação/prevenção de desastres relacionados à água
	Confiabilidade da infraestrutura hídrica frente a situações extremas e de preparação/prevenção de desastres relacionados à água	Condição da infraestrutura hídrica frente a situações extremas e da infraestrutura de preparação/prevenção de desastres relacionados à água
		Promoção da melhoria da infraestrutura hídrica frente a situações extremas e da infraestrutura de preparação/prevenção de desastres relacionados à água
		Existência de profissionais qualificados e saber local em assuntos ligados à gestão de riscos e desastres relacionados à água
	Capital intelectual e educação para Redução de Riscos de Desastres	Disponibilidade e acesso aos profissionais qualificados e ao saber local em assuntos ligados à gestão de riscos e desastres relacionados à água
		Promoção da ciência e da valorização do saber local voltadas à gestão de riscos e desastres relacionados à água



UFES

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
	Capacidade tecnológica e inovações em voltadas à gestão de riscos e desastres relacionados à água	Nível tecnológico na gestão de riscos e desastres relacionados à água Eficácia das soluções tecnológicas de gestão de riscos e desastres Fomento de tecnologias sustentáveis para gestão de riscos e desastres
	Organização e atuação institucional	Existência e capacidade institucional para atuar em gestão de recursos hídricos Condição do ambiente das organizações para atuação em gestão de recursos hídricos Promoção para assegurar uma atuação adequada das organizações em gestão de recursos hídricos
	Arcabouço legal	Existência e nível de implementação de dispositivos legais Qualidade dos dispositivos legais Promoção da adequação dos dispositivos legais
Segurança hídrica na dimensão de governança	Comunicação, transparência e prestação de contas	Existência e disponibilidade de informações organizadas num Sistema de Informações Acesso e uso de dados e de informações em Sistema de Informações Promoção equitativa para acesso e uso de dados e de informações
	Participação/empenhamento de múltiplos níveis e participantes	Existência e nível de participação de atores-chave Efetividade da participação Promoção da participação de atores-chave
	Colaboração transfronteiriça e internacional	Existência de articulação transfronteiriça Eficácia da articulação transfronteiriça Promoção da articulação transfronteiriça



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

(continuação)

Dimensão	Elemento	Fator
Estabilidade política e articulação institucional		Nível de articulação com setores usuários e transversais
		Qualidade da articulação entre setores
		Promoção da descentralização da governança
Investimento/financiamento e gestão financeira		Disponibilidade recursos (financeiros e não financeiros)
		Eficiência e efetividade do financiamento para a gestão de recursos hídricos (especialmente em segurança Hídrica)
Governança de conflitos por uso da água		Promoção da autonomia financeira para gestão de recursos hídricos
		Existência de conflitos relacionados aos recursos hídricos
		Efetividade das tentativas de solução dos conflitos relacionados aos recursos hídricos
Educação ambiental e capital intelectual dos ambientes de governança		Promoção da paz e do bem-estar social quanto a conflitos relacionados aos recursos hídricos
		Existência de profissionais qualificados e saber local em assuntos ligados aos recursos hídricos nos ambientes de governança
		Disponibilidade e acesso aos profissionais qualificados e ao saber local em assuntos ligados aos recursos hídricos nos ambientes de governança
		Promoção da ciência e da valorização do saber local voltadas às áreas de recursos hídricos nos ambientes de governança



UFES

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Dimensão	Elemento	Fator
	Capital intelectual e educação para Redução de Riscos de Desastres nos ambientes de governança	Existência de profissionais qualificados e saber local em assuntos ligados à gestão de riscos e desastres relacionados à água nos ambientes de governança Disponibilidade e acesso aos profissionais qualificados e ao saber local em assuntos ligados à gestão de riscos e desastres relacionados à água nos ambientes de governança Promoção da ciência e da valorização do saber local voltadas à gestão de riscos e desastres relacionados à água nos ambientes de governança

Fonte: o autor.