

ESCASSEZ HÍDRICA E ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE RISCO DE DESASTRES EM BACIAS HIDROGRÁFICAS POR MEIO DA ABORDAGEM NEXO ÁGUA-ENERGIA-ALIMENTOS-CLIMA

WATER SCARCITY AND DISASTER RISK REDUCTION STRATEGIES IN RIVER BASINS THROUGH THE WATER-ENERGY-FOOD-CLIMATE NEXUS APPROACH

ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA ESCASEZ DE AGUA Y DEL RIESGO DE DESASTRES EN CUENCAS HIDROGRÁFICAS MEDIANTE EL ENFOQUE DEL NEXO AGUA-ENERGÍA-ALIMENTOS-CLIMA

PÉNURIE D'EAU ET STRATÉGIES DE RÉDUCTION DES RISQUES DE CATASTROPHES DANS LES BASSINS HYDROGRAPHIQUES À TRAVERS L'APPROCHE NEXO EAU-ÉNERGIE-ALIMENTATION-CLIMAT

Virginia Grace Barros¹

Icaro Yuri Pereira Dias²

Felipe Eugenio Kich Gontijo³

1 Professora, Grupo Coordenado de Ações em Riscos e Desastres, CCT - Centro de Ciências Tecnológicas, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5009-3047>. E-mail: virginia.barros@udesc.br.

2 Doutorando em Recursos Hídricos, PPGECAM - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba (UFPB). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2147-6505>. E-mail: icaroyuridias@gmail.com.

3 Professor, Grupo Coordenado de Ações em Riscos e Desastres, ESAG Escola Superior de Administração e Gerenciamento, Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0324-680X>. E-mail: felipe.gontijo@udesc.br.

Introdução

A intensificação das mudanças climáticas tem influenciado significativamente a disponibilidade de água, a ocorrência de incêndios ou inundações, a demanda por energia e a produtividade agrícola, particularmente na escala de bacia hidrográfica. Recentemente, eventos de seca e escassez hídrica levaram a emergências como incêndios florestais, perda de produção, ondas de calor, mortes e doenças em idosos (He *et al.*, 2024; Sözener *et al.*, 2023; Weilhammer *et al.*, 2021; Conti *et al.*, 2007). Entre 2010 e 2020, os danos econômicos relacionados aos eventos extremos associados às dinâmicas hidrológicas, considerando secas, inundações e tempestades, representaram 0,21% do produto interno bruto (PIB) mundial (Ritchie *et al.*, 2021). Juntos, esses eventos representam praticamente a totalidade de danos econômicos associados aos desastres ocorridos no mundo no mesmo período. Uma crise hídrica traz outros desastres que são considerados desastres em cascata, podendo levar à escalada e a crises secundárias (Pescaroli *et al.*, 2024). Consequências de crises diretas e indiretas podem ser vivenciadas em locais distantes e em diferentes momentos, devido à interdependência real dos sistemas. Como consequência da interconexão que vivenciamos, os impactos dos desastres também podem afetar a infraestrutura essencial, como redes de abastecimento público, por exemplo. Assim, melhorar a resiliência atuando na redução de riscos de desastres e integrando conceitos como resiliência, segurança e sustentabilidade, entre outros (Barros *et al.*, 2021), é uma ferramenta necessária e poderosa.

O conceito de redução de riscos de desastres (RRD), de acordo com a Estratégia Internacional das Nações Unidas para a Redução de Desastres (UNDRR), está ligado à compreensão do risco de desastre em todas as suas dimensões: vulnerabilidade, capacidade, exposição de pessoas e bens, características do perigo e o ambiente (UNDRR, 2015). Assim, no que diz respeito à RRD, considerando os recursos hídricos, estratégias eficazes exigem uma abordagem de planejamento em múltiplas escalas que integre dinâmicas hidrológicas, ambientais e socioeconômicas. Considerando a realidade brasileira e, neste contexto, a Lei Federal 9.433/1997 (Brasil, 1997) - Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), as bacias hidrográficas são os territórios ideais para tal análise, pois encapsulam processos hidrológicos naturais e atividades humanas, oferecendo uma estrutura abrangente tanto para a gestão de recursos, como para a gestão de riscos de desastres. Outro ponto importante, é que os comitês de gerenciamento de bacias hidrográficas, parte integrante do sistema nacional de gerenciamento de recursos hídricos, possuem representantes locais dos setores que compõem a sociedade e que decidem, de forma participativa, como seus territórios deveriam ser geridos tendo como base os planos de gerenciamento de bacia hidrográfica (plano de bacia).

Um quadro sistemático de identificação, avaliação e RRD visa reduzir os danos causados por desastres naturais e humanos por meio de práticas preventivas, mitigação de riscos e melhoria da capacidade de resposta à falta de recursos hídricos para atender

à demanda de água e é uma preocupação crescente globalmente. À medida que a água sustenta e estabiliza ecossistemas e setores socioeconômicos, como produção de alimentos e energia, sua disponibilidade é afetada pelas mudanças climáticas. A gestão hídrica tradicional considera o recurso separadamente ao lidar com diferentes usuários de água (indústrias, agricultura, abastecimento público de água, etc.), balanços hídricos e políticas. Essa abordagem não é mais admissível devido aos atuais desafios relacionados à água (Tzanakakis; Paranychianakis, 2020; McLennan, 2021; Kummu *et al.*, 2016; Gosling; Arnell, 2016). Enquanto as demandas globais por água, energia e alimentos aumentam dia a dia, observam-se impactos relevantes nos recursos naturais, cobertura vegetal, qualidade do ambiente, biodiversidade, bem como desequilíbrios hídricos, colocando os ecossistemas existentes sob crescente pressão hídrica (Giatti *et al.*, 2016; Amaral, 2016; Foglia *et al.*, 2023). Os conflitos causados pela falta de água, energia, alimentos e mudanças climáticas desencadeiam crises ambientais, econômicas, sociais, políticas e aumentam os riscos de desastres. Por exemplo, em 2014, o Estado de São Paulo, Brasil, enfrentou uma seca que afetou os reservatórios do Sistema Cantareira, que abastece 8,8 milhões de habitantes (Figura 1), mostrando como a oferta insuficiente de um dos recursos afeta diversos usuários (população, indústria e agricultura), a produção de energia e a manutenção de ecossistemas. A escassez de água e as crises alimentares podem ameaçar os sistemas políticos dentro dos países e além das fronteiras nacionais. A partir do exposto, é possível observar que a economia global depende de vários setores que estão interconectados de cinco maneiras principais, de acordo com Barros *et al.* (2024): a) água, energia e alimentos estão interconectados em seu núcleo; b) Os setores econômicos estão ligados a pelo menos um destes três elementos; c) mudanças em qualquer um desses elementos desencadeiam reações em cadeia em segmentos relacionados; d) A sociedade suporta as consequências negativas do consumo destes elementos; e e) as interdependências entre esses elementos estão se tornando mais evidentes no atual cenário de crise e escassez de recursos. O impacto da economia global nos ecossistemas também é preocupante porque resulta na perda anual de recursos naturais vitais. Além disso, a variabilidade climática afeta ecossistemas inteiros e, conseqüentemente, a disponibilidade de recursos naturais (Koncagül *et al.*, 2020).



Fonte: EBC (2014).

Figura 1. Reportagem em 19/12/2014 acerca da crise de escassez hídrica no Reservatório do Sistema Cantareira (SP).

De forma a afrontar uma questão tão desafiadora, a abordagem NEXO pode ser utilizada para identificar *trade-offs* e sinergias entre sistemas de água, energia e alimentos (que são afetados pelo clima), internalizar impactos sociais e ambientais e orientar o desenvolvimento de políticas intersetoriais. Considerando sistemas complexos, a abordagem Nexo pode ser valiosa para enquadrar a redução de risco de desastres de forma mais integrada. A ideia é evidenciar as interações complexas entre questões hídricas, climáticas, políticas, econômicas e sociais, especialmente devido à governança compartilhada entre municípios, estados e países (que compartilham o mesmo recurso hídrico) com interesses divergentes nas bacias hidrográficas.

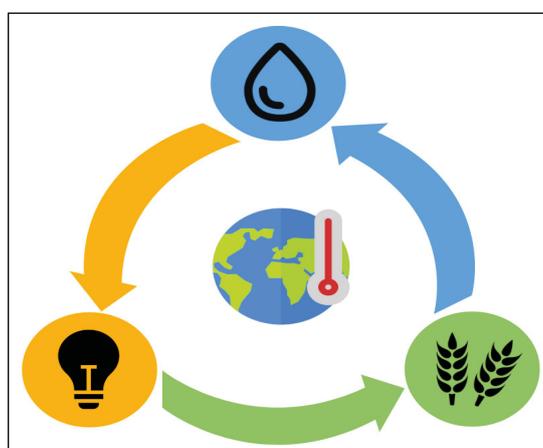
Nexo: um conceito em evolução

Os primeiros conceitos ligados ao Nexo ganharam destaque no Fórum Econômico Mundial de 2008, mas foi na Conferência de Bonn, realizada em 2011 na Alemanha, que foram discutidos temas relacionados à segurança hídrica, energética e alimentar, criando os primeiros conceitos para uma abordagem integrada desses elementos, ou seja, o Nexo WEF. Hoff (2011) apresentou suas impressões sobre a abordagem Nexo como uma perspectiva para o desenvolvimento de uma gestão integrada baseada na sinergia e interdependência entre os setores. A Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), juntamente com o Ministério Federal Alemão para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (BMZ), contribuíram para a propagação da perspectiva. Em 2012, o Fórum Econômico Mundial publicou Segurança hídrica: o Nexo água-alimentos-

energia-clima (WEFC), ampliando as dimensões do conceito e a complexidade do Nexo com a inclusão das questões climáticas. À medida que o conceito Nexo evoluiu, outros elementos importantes foram considerados ao longo dos anos. De acordo com Rezaei e Celico (2023), a criação do WEF Nexo para o ecossistema do Himalaia em 2012 evidenciou a importância dos ecossistemas como um fator chave nesse quadro, implementando assim o WEFE Nexo. Em 2012, outros recursos naturais foram integrados à abordagem Nexo, como água, energia, alimentos, minerais e terra (Andrews-Speed *et al.*, 2012). Além disso, ambiente físico, econômico, político, ambiental e equidade também foram considerados acréscimos à estrutura. Em 2014, a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação publicou uma nota conceitual enquadrando o Nexo Água-Energia-Alimentos dentro do debate mais amplo sobre sustentabilidade (FAO, 2014). Outras questões, como a consideração da complexidade das bacias hidrográficas transfronteiriças, foram observadas pela UNECE (2015). Melo *et al.* (2020) também adicionaram florestas ao Nexo. Assim, o conceito é consideravelmente novo e em contínua evolução, ampliando suas dimensões e setores para aplicação, permanecendo principalmente a água como ponto central.

Interconexões do Nexo

Além da produção de energia, a água é um recurso vital em diferentes atividades naturais e humanas e conecta aspectos naturais e socioeconômicos. Evidenciar as conexões entre os elementos do Nexo e como eles mudam em diversos contextos é um desafio. A relação entre seus elementos caracteriza o Nexo WEFC, bem como os *trade-offs*, ou compensações. O Nexo *thinking* lida com todo o ciclo de vida da água, além dos recursos contidos nela e outros processos relacionados (Nika *et al.*, 2020). Portanto, para desenvolver medidas voltadas à segurança e disponibilidade desses recursos (Markantonis *et al.*, 2019), é necessário entender as inter-relações/interconexões (Figura 2 e Quadro 1) presentes entre os pilares do Nexo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 2. Interconexões no Nexo WEFC.

Quadro 1. Interconexões e funções/ usos relacionados ao Nexu.

Interconexão	Function/Use
Água-Energia	Geração; Adução; Distribuição; Tratamento; Refrigeração; etc.
Água-Alimento	Irrigação; Dessedentação de animais; Pesca; Cobertura de solo; Assoreamento; Poluição; etc.
Alimento-Energia	Biorrefinaria; Colheita; Transporte; Processamento; etc.
Clima: A variabilidade climática pode alterar todas as interações, por excesso ou redução de chuvas, temperatura, ventos e umidade.	

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Usando projeções para as dinâmicas do Nexu água-energia-alimentos-clima (WEFC), este trabalho visa apresentar uma linha mestra para desenvolvimento de planos adaptativos para a redução de riscos de desastres sob condições de incerteza e variabilidade. Além disso, enfatiza a integração de abordagens de governança em escala de bacia hidrográfica e multissetorial para aumentar a robustez dessas estratégias.

Proposta metodológica

Com a finalidade de viabilizar planos RRD utilizando a abordagem Nexu propõe-se a metodologia a seguir, levando em consideração o território brasileiro. Observa-se que é uma abordagem geral e que pode ser aplicada em qualquer território, desde que as informações necessárias possam ser coletadas. Nela o proponente, gestor, tomador de decisão ou ente envolvido deverá considerar uma perspectiva ambiental integrada. Percebe-se que soluções fundamentadas na racionalidade do Nexu (*Nexo thinking*) requerem a compreensão das complexas interconexões existentes entre os pilares usuários de água, energia e alimentos, e de que forma a mudança climática e as alterações socioeconômicas poderão impactar estas interconexões. Assim, serão destacadas medidas para o desenvolvimento de um método baseado nesta abordagem.

As etapas aqui apresentadas não objetivam limitar o desenvolvimento de outros percursos, inserção de novos itens, ou atualizações e melhoramentos por meio de inserção de outros pilares do Nexu. Pelo contrário, elas servem como um roteiro a fim de direcionar o planejador na elaboração de uma metodologia clara e que contemple todo o contexto referente à área a ser estudada. A princípio, a metodologia de pesquisa pode ser subdividida em três fases interconectadas:

- i. A caracterização da área de estudo e a coleta dos dados;
- ii. O desenvolvimento de cenários (atual e futuros);
- iii. A avaliação da sustentabilidade, riscos e estrutura RRD dos cenários.

A primeira etapa consiste na caracterização da área a ser estudada. Nesta fase, devem ser levantados e coletados o máximo de informações acerca dos atributos hidrológicos, ambientais e socioeconômicos da área a ser estudada. Para estudos de promoção da redução de riscos e desastres, em relação às características hidrológicas, é imprescindível a coleta de dados climáticos, com destaque para os dados pluviométricos, fluviométricos e de temperatura, que traduzem o regime local de chuvas e vazões a partir de dados históricos. Geralmente, estes dados estão disponíveis em inventários e plataformas digitais em escalas local, estadual ou nacional. Nesse viés, destacam-se os dados fornecidos pelas iniciativas governamentais da Agência Nacional de Águas – ANA como as plataformas Hidroweb e Monitor das Secas (ANA, 2024a; ANA, 2024b), o mapa das estações do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (INMET, 2024) e pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE (INPE, 2024).

Dados relativos à demanda hídrica de uma área de estudo geralmente podem ser encontrados nas Portarias de Autorização das Secretarias de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, bem como nos inventários digitais disponíveis em meios eletrônicos. São disponibilizadas informações sobre as outorgas de direito e uso dos recursos hídricos locais, podendo conter dados relativos à fonte de captação (superficial ou subterrânea), o tipo de intervenção (bombeamento, barragem, retificação do curso d'água, dentre outros), a vazão de captação, finalidade do uso do recurso, além da localização através das coordenadas. No Estado de Santa Catarina, o Sistema de Outorga de Água – SIOUT (SIOUT SC, 2025) destaca-se como uma ferramenta eficaz na obtenção de informações sobre as autorizações para o uso dos recursos hídricos a nível Estadual. Há também outros sistemas, como o do Estado de São Paulo, o SP Águas (Estado de São Paulo, 2025), do Rio Grande do Sul (SIOUT RS, 2025) e do Estado de Minas Gerais (SEMAD MG, 2025).

Na ausência de informações para a área de estudo, também é possível a utilização de dados gerados a partir de modelos climáticos, ou de reanálise meteorológica. Tratam-se de conjuntos de dados que, aliados a observações pretéritas, geram séries consistentes de diversas variáveis climáticas. Nesse sentido, destacam-se os projetos realizados pelo Centro Europeu de Previsões Meteorológicas em Médio Prazo – ECMWF, o ERA5 (C3S, 2023), pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço – NASA, o MERRA-2 (GMAO, 2015), pela Administração Nacional Oceânica e Atmosférica – NOAA, o CFSv2 (NOAA, 2010) e o da Agência Meteorológica do Japão – JMA, o JRA-55 (JRA, 2013). Além desses, também existem outras iniciativas que trabalham com a geração de modelos de reanálise meteorológica, disponibilizando dados como temperatura, precipitação, umidade, radiação solar, entre outras variáveis. Esses dados são essenciais para o cálculo dos balanços hídricos do local de estudo.

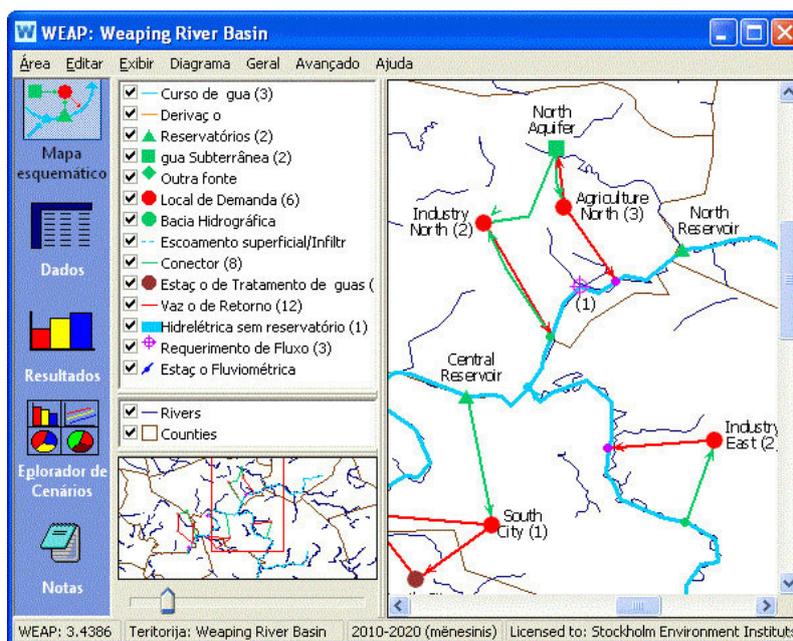
Em relação aos dados de uso e ocupação do solo, estes podem ser encontrados, a princípio, nas Secretarias de Planejamento e Meio Ambiente de Estados e Municípios, através dos geoportais disponibilizados virtualmente. Além do mais, também é possível a coleta desses por meio de dados secundários disponíveis na literatura a partir das caracterizações locais e específicas de cada área de estudo disponibilizada em estudos

ambientais diversos. Nacionalmente, destaca-se o Projeto Mapbiomas (Mapbiomas, 2025), no qual são monitorados, anualmente, as mudanças no uso e cobertura do solo brasileiros. Os produtos são dados por arquivos do tipo *raster* (formato digital com informações distribuídas em uma grade de pixels), tendo como resultados disponíveis, além dos mapas de uso e cobertura do solo, mapas de superfície hídrica, irrigação, mineração, pastagem, desmatamento, dentre outros (Mapbiomas, 2025).

Em sequência, quanto aos dados relativos aos indicadores socioeconômicos, estes podem ser encontrados, assim como os dados de uso e ocupação do solo, através Secretarias de Planejamento e Meio Ambiente de Estados e Municípios, mas principalmente por meio de instituições empenhadas com a geração desse tipo de informação. Nesse viés, destacam-se, principalmente, os dados produzidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, por meio do SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA, 2025), que permite o acesso ao banco de tabelas estatísticas com dados das pesquisas realizadas pela instituição. Contudo, outras fontes também estão disponíveis com dados diversos, como o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (IPEA, 2025), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (MIDR, 2025), o DATASUS (Brasil, 2025a) e até o Portal Nacional de Dados Abertos do Governo Federal (Brasil, 2025b).

Dados energéticos compreendem aqueles relativos à produção e consumo do respectivo recurso. Anualmente, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE divulga o Balanço Energético Nacional – BEN, relatório consolidado que contempla informações relativas à oferta e consumo de energia do país, extração de recursos energéticos primários e conversão em secundários, além da importação e exportação, distribuição e usos finais (EPE, 2025). Além disso, a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL também divulga e atualiza mensalmente a sua série de dados relativos aos empreendimentos elétricos em estudo e operação em todo o país através de seu Portal de Dados Abertos (ANEEL, 2025). Por fim, é possível também obter dados de consumo energético através das concessionárias de energia elétrica, como é o caso das Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (CELESC, 2025).

Após a etapa de levantamento dos dados necessários à caracterização da área de estudo, a próxima etapa consiste na simulação hidrológica e de cenários da respectiva área. O *Water Evaluation and Planning System* ou WEAP (Yates *et al.*, 2005a; Yates *et al.*, 2005b) trata-se de uma ferramenta computacional de gestão de recursos hídricos, capaz de simular processos físicos hidrológicos, além de desenvolver cenários múltiplos a partir de modificações quanto às mudanças climáticas, infraestrutura e ações antrópicas disponíveis ao longo do tempo, de maneira integrada (Figura 3). Desenvolvido em 1988 pelo *Stockholm Environment Institute* (SEI), apresenta-se como uma ferramenta flexível, transparente e integrada na gestão de recursos hídricos e sustentabilidade (Sieber; Purkey, 2015).



Fonte: SEI (2025).

Figura 3. Ambiente de Simulação WEAP.

Na gestão de riscos e desastres, o WEAP pode auxiliar o administrador, na condição de tomador de decisão, a criar cenários múltiplos de gestão do recurso hídrico a fim de analisar as melhores alternativas a serem consideradas para a promoção da redução de riscos e desastres. Dias *et al.* (2024), ao simular cenários futuros de demanda hídrica com o WEAP para duas bacias hidrográficas no Estado de Santa Catarina, utilizaram a gestão de cenários e concluíram que, para um cenário de mudanças climáticas, haverá a redução da disponibilidade hídrica até 2050 nas respectivas áreas de estudo. Zhang *et al.* (2023), em seu estudo realizado na Grande Baía Guangdong-Hong Kong-Macau (GBA), utilizaram o WEAP para análise da alocação hídrica na região, dado o elevado crescimento na demanda da região devido ao seu desenvolvimento econômico e social, além do aumento nos eventos de seca mais severos e frequentes nos últimos anos.

Ainda sobre as aplicações do WEAP, Zhang *et al.* (2017) analisaram a vulnerabilidade da geração de energia hidrelétrica na China a partir das vias de concentração representativas (RCPs) 4.5 e 8.5 do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC). Os autores concluíram que, em cenários futuros, os efeitos das mudanças climáticas acarretarão a flutuação da disponibilidade hídrica, indicando incertezas no suprimento local, bem como na geração energética, objeto do respectivo estudo. Já o estudo de Shams e Juani (2015) utilizou o WEAP para analisar, nos próximos 20 anos, o fluxo do Rio Brunei dado o aumento das inundações e deslizamentos na região, que registraram 115 e 105 casos, respectivamente. Semelhantemente, Cohen (2023) realizou um estudo para o município de Califórnia, El Salvador, localizado na região do Corredor Seco da América Central, caracterizada pelo enfrentamento de eventos extremos de inundações repentinas. Nesse

caso, o WEAP foi utilizado para a modelagem desses eventos de inundações, a fim de subsidiar a compreensão da hidrologia local e promoção do monitoramento e mapeamento de regiões como essa, caracterizadas pela escassez de dados.

Diante disso, percebe-se a vasta utilização do WEAP na modelagem de sistemas hídricos diversos, bem como a gestão de eventos extremos através da análise de cenários futuros. A licença para a utilização do software pode ser adquirida de forma gratuita para fins educacionais e científicos (estudantes e pesquisadores matriculados em universidades ou instituições educacionais credenciadas), o que facilita o seu uso (SEI, 2025). Em relação aos cenários, estes podem incluir:

- **Cenários de Referência:** Nesse cenário, leva-se em consideração as tendências atuais de crescimento. Informações como as taxas atuais de crescimento populacional, do Produto Interno Bruto (PIB) local, bem como do setor econômico (indústria, comércio, serviços) devem ser considerados a fim de obter informações quanto à dinâmica atual de crescimento da região de estudo. Nas pesquisas, são conhecimentos com cenários do tipo *Business as Usual*;
- **Cenários de Mudanças Climáticas:** Baseados nos Percursos Socioeconômicos Compartilhados (*Shared Socioeconomic Pathways – SSP*), anteriormente chamados de RCPs, cenários deste tipo devem avaliar os riscos de desastres a partir dos SSP, verificando se a região de estudo enfrentará ou não períodos de seca e/ou inundação, bem como a disponibilidade hídrica em seus canais. Os dados relativos às projeções dos SSPs podem ser obtidos através dos modelos ou plataformas específicas, como: Portal Projeções Climáticas no Brasil (<http://pclima.inpe.br/>), International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) (<https://tntcat.iiasa.ac.at/SspDb> e <https://iiasa.ac.at/models-tools-data/ar6-scenario-explorer-and-database>), Climate Change Knowledge Portal (<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/>), entre outros;
- **Cenários de Gestão, Governança e Diplomacia:** Cenários como esse podem utilizar informações presentes nos documentos relativos à gestão de recursos hídricos disponíveis em suas diversas escalas (Bacia Hidrográfica, Municipal, Estadual e Nacional). Aqui destacam-se os planos de bacia, de saneamento básico, planos Estaduais de Recursos Hídricos, bem como a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, a Lei 9.433/1997 (Brasil, 1997). Grande parte dos planos de bacia destaca ações para a maximização da disponibilidade hídrica, além da redução de riscos de desastres.
- **Cenários de Energias Alternativas:** Grande parte da energia elétrica produzida no Brasil é de origem hidrelétrica. Sendo assim, o aproveitamento de quedas d'água para a construção dessas usinas pode causar conflito de interesses quanto ao uso do recurso hídrico pelos demais setores usuários. A criação de cenários de substituição da utilização da energia hidrelétrica por outras fontes renováveis pode contribuir para a minimização das perdas por evaporação líquida nos reservatórios e proporcionar a maximização da sua disponibilidade para os demais usos, reduzindo assim a pressão sobre os recursos hídricos;
- **Cenários Integrados:** São responsáveis pela união entre as configurações dos cenários já criados, combinando estratégias de gestão e adaptação climática. Os cenários integrados

proporcionam uma visão panorâmica das ações propostas para a melhoria na utilização dos recursos hídricos, tendo como consequência a máxima disponibilidade do recurso a partir das estratégias tomadas. Junto às informações acerca das mudanças climáticas, também será possível a análise das situações extremas em relação tanto à escassez, bem como aos eventos de cheias e inundações.

Posteriormente, após a etapa de criação, simulação e análise dos cenários de referência alternativos, pesquisadores e tomadores de decisão necessitam de abordagens métricas, tais como a aplicação de índices de eficiência para a avaliação do desempenho e sustentabilidade de sistemas de recursos hídricos (Goharian *et al.*, 2016; Ashofteh *et al.*, 2017). Com a finalidade de propor medidas com enfoque na minimização da insegurança de recursos naturais, o uso de metodologias baseadas em cenários proporciona uma melhor adaptação e melhoria quanto à gestão destes, e a criação de índices de sustentabilidade, a fim de mensurar o quão sustentável é determinada medida pode auxiliar a tomada de decisão no desenvolvimento de um projeto, ou ainda, a que riscos os mesmos podem se relacionar (Vieira; Sandoval-Solis, 2018; Daher; Mohtar, 2015).

Observa-se que a metodologia proposta integra as prioridades de ação do Marco de Sendai para Redução de Risco de Desastres (UNDRR, 2015) no processo de planejamento, pois os passos permitem:

- i. Entender o risco: Projeções climáticas de alta resolução e modelagem hidrológica identificam vulnerabilidades e perigos em cada bacia hidrográfica;
- ii. Fortalecer a governança de riscos: Mecanismos de governança multiescala são incorporados no desenvolvimento de cenários, garantindo a coordenação entre as partes interessadas e instituições;
- iii. Investir em resiliência: Cenários de gestão incluem medidas estruturais (por exemplo, atualizações de infraestrutura) e medidas não estruturais (por exemplo, reuso de água, redução de demanda) alinhadas às metas de RRD. Em geral, estas medidas já se encontram nos planos de bacia, porém, em alguns casos, os planos carecem de recursos para execução, prestígio político, ou ambos. Abordar os planos de bacia pelo viés da RRD pode ser uma estratégia importante para valorizar os sistemas de gestão de recursos hídricos;
- iv. Preparação e resposta: Planejamento adaptativo e sistemas de alerta precoce podem ser priorizados para responder efetivamente a eventos extremos e reduzir perdas.

A partir de uma abordagem Nexso, trabalhos realizados por Guan *et al.* (2020), Momblanch *et al.* (2018), Vieira e Sandoval-Solis (2018) e Liu *et al.* (2021) em regiões diversas destacam-se pela utilização da abordagem proposta por Daher e Mohtar (2015) e Daher *et al.* (2019) na elaboração de índices de sustentabilidade (IS) para análise da eficiência de cenários que podem abordar as prioridades de ação do Marco de Sendai (Zhong *et al.*, 2024). Partindo das características intrínsecas de cada local, os índices são calculados a partir de médias ponderadas segundo a importância de dado recurso para a região de estudo. Ao final, comparando todos os cenários propostos, aquele que apresenta o maior valor de IS em relação

ao cenário de referência resulta em uma maior eficiência e, portanto, seria o cenário mais sustentável, e de menor risco, tendo em vista a implementação das ações propostas no cenário. Estes índices quantificam compensações e sinergias entre setores, permitindo uma avaliação sistêmica de estratégias de gestão de recursos alinhadas com os princípios de RRD. Por fim, a utilização de índices na avaliação da sustentabilidade de cenários torna-se cada vez mais útil pois, além de avaliar os efeitos das medidas estabelecidas, também é possível a avaliação dessas medidas com o objetivo de alcançar situações mais sustentáveis (Vito *et al.*, 2017). Além do mais, possibilita a comparação entre as políticas e alternativas sugeridas, avaliando de forma quantitativa as dinâmicas envolvidas, contribuindo para análise sobre os efeitos negativos e como esses podem ser mitigados a fim de proporcionar a RRD, o suprimento dos recursos do Nexu, bem como a manutenção do meio ambiente (Sandoval-Solis *et al.*, 2011). O resumo para a metodologia aqui proposta pode ser observado na Figura 4.



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Figura 4. Metodologia proposta para o desenvolvimento de um estudo de RRD baseado em uma abordagem Nexu WEFC.

Conclusão

A abordagem Nexu é uma ferramenta poderosa a ser aplicada em planos de RRD. Infelizmente, o uso do Nexu WEFC tem sido restrito a identificar e avaliar as interligações dos pilares do Nexu e pouco tem sido feito para apoiar o desenvolvimento de políticas sociais e relevantes para alcançar o desenvolvimento sustentável e a RRD. Além disso, os diferentes setores governamentais continuam a formular políticas e projetos fragmentados. A definição de planos, programas e ações em RRD seguiu essa concepção fragmentada, negligenciando a necessária integração entre o governo, o ambiente, a sociedade e as políticas públicas. No entanto, os cenários climáticos futuros impactam significativamente a gestão do território

ressaltando a necessidade de abordagens integradas e multiescala para a redução do risco de desastres. As diferentes escalas territoriais (municípios, estados e transfronteiriça) podem ser conectadas pelo mesmo recurso hídrico. Desta forma, a bacia hidrográfica permanece como uma unidade fundamental de planejamento territorial. O alinhamento dos princípios do Nexo WEFC com o Marco de Sendai fornece um caminho abrangente para aumentar a resiliência e reduzir vulnerabilidades. Esta redução se dá em função da otimização da governança hídrica que minimiza os riscos de secas e inundações, garantindo a alocação eficiente de recursos nos demais pilares do Nexo. Outro aspecto relevante é o aprimoramento da preparação, visto o planejamento territorial que é possível ser atingido. Finalmente, a abordagem Nexo permite a integração sistêmica ao vincular os sistemas de água, energia e alimentos, face às projeções climáticas, que reduz os riscos em cascata e aumenta a capacidade adaptativa. Sintetizando, a RDD utilizando a abordagem WEFC Nexus proporciona a redução do risco sistêmico de diferentes formas, a saber: a) integração da governança multiescala: as diferentes escalas, locais, regionais e transfronteiriças, fazem parte do território de diferentes bacias hidrográficas. É necessário garantir a coerência entre as políticas municipais, estaduais e nacionais que abordam os riscos em várias escalas; b) aprimoramento da capacidade adaptativa: incorporar projeções climáticas no planejamento reduz as incertezas e melhora a prontidão para cenários futuros. A utilização de plataformas de projeções climáticas pode auxiliar municípios de diferentes portes a planejar suas ações; c) equilíbrio de trade-offs por meio de ajustes e negociações setoriais que minimizam conflitos e otimiza o uso de recursos; d) engajamento de stakeholders por meio da governança inclusiva que promove colaboração e distribuição equitativa de recursos, essenciais para os princípios do Marco de Sendai.

Referências

- AMARAL, M. H.; BENITES-LAZARO, L. L.; SINISGALLI, P. A. de A.; ALVES, H. P. da F.; GIATTI, L. L. Environmental injustices on green and blue infrastructure: Urban nexus in a macrometropolitan territory. **Journal of Cleaner Production**, v. 289, p. 01-13, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125829>>. Acesso em: 14 jan. 2025.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Hidroweb** – Séries Históricas de Estações. Brasília, 2024a. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- ANA – Agência Nacional de Águas. **Monitor das Secas**. Brasília, 2024b. Disponível em: <<https://monitordesecas.ana.gov.br/mapa?mes=11&ano=2024>>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Dados Abertos** – Agência Nacional de Energia Elétrica. Dados Abertos. Disponível em: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/>. Acesso em 13 jan. 2025.
- ANDREWS-SPEED, P.; BLEISCHWITZ, R.; BOERSMA, T.; JOHNSON, C.M.; KEMP, G.; VANDEVEER, S.D. **The Global Resource Nexus: The Struggles for Land**,

Energy, Food, Water, and Minerals. 2012. Disponível em: <<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:106626007>>

ASHOFTEH, P.S. et al. Assessment of water resources development projects under conditions of climate change using efficiency indexes (EIs). **Water resources management**, v. 31, n. 12, p. 3723–3744, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11269-017-1701-y>

BARROS, V. G.; RAPAGLIA, J.; RICHTER, M. B.; ANDRIGHI, J. F. Design process in the urban context-Mobility and health in Special Flood Hazard Area. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 59, 102170. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102170>

BARROS, V. G.; GONZÁLEZ-CAMEJO, J.; TOMBOLINI, L.; SGROI, M.; FOGLIA, A.; EUSEBI, A. L.; FATONE, F. Water-Energy-Food-Ecosystems-Climate Nexa in the Water Reuse Sector. Current State, Gaps, and Challenges for Practical Applications. In: **Water Reuse and Unconventional Water Resources: A Multidisciplinary Perspective** (pp. 565-590). 2024. Cham: Springer Nature Switzerland.

BRASIL. Ministério da Saúde. **DATASUS**: Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde. 2025a. Disponível em: <<http://www.datasus.gov.br>>. Acesso em: 07 jan. 2025.

BRASIL (1997). **Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 02 jan. 2025.

BRASIL. Governo Federal. **Portal Nacional de Dados Abertos**. 2025b. Disponível em: <<https://dados.gov.br>>. Acesso em: 07 jan. 2025.

C3S – Copernicus Climate Change Service. **ERA5 hourly data on single levels from 1940 to present**. 2023. Disponível em: <<https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=download>>. Acesso em: 07 jan. 2025.

CELESC – Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. **Dados de consumo**. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br/home/mercado-de-energia/dados-de-consumo>>. Acesso em: 13 jan. 2025.

COHEN, N. **Rain-induced hazards in remote, low-resource communities: a case study of flash flooding Usulután department, El Salvador**. 2023. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geologia, Michigan Technological University. Disponível em: <<https://digitalcommons.mtu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2724&context=etdr>>. Acesso em: 03 jan. 2025.

DAHER, B. *et al.* Towards bridging the water gap in Texas: a water-energy-food Nexa approach. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 647, p. 449-463, jan. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.398>

DAHER, B. T.; MOHTAR, R. H. Water–energy–food (WEF) Nexa Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. **Water International**, [S.L.], v. 40,

n. 5-6, p. 748-771, 14 ago. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2015.1074148>

DIAS, I. Y. P. et al. Watersheds governance optimizing water-energy-food Nexo approach across water users and watershed scales. **Water resources management**, 2024. <https://doi.org/10.1007/s11269-024-03984-9>

EBC – Empresa Brasil de Comunicação. **Nível do Cantareira continua em queda e registra 6,7%**. Reportagem da Agência Brasil. Disponível em: <<https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2014-12/sistema-cantareira-continua-em-queda-e-registra-67>>. Acesso em: 11 jan. 2025.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 13 jan. 2025.

FAO. **The Water-Energy-Food Nexus at FAO, Concept Note**. Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome. 2014.

FOGLIA, A.; GONZÁLEZ-CAMEJO, J.; RADINI, S.; SGROI, M.; LI, K.; EUSEBI, AL.; et al. **Transforming wastewater treatment plants into reclaimed water facilities in water-unbalanced regions**. An overview of possibilities and recommendations focusing on the Italian case. *J Clean Prod*. Elsevier Ltd; 2023.

GOHARIAN, ERFAN *et al.* Vulnerability Assessment to Support Integrated Water Resources Management of Metropolitan Water Supply Systems. **Journal Of Water Resources Planning And Management**, [S.L.], v. 143, n. 3, p. 04016080, mar. 152 2017. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000738](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000738)

GMAO – Global Modeling and Assimilation Office. **Merra-2 Data Access**. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), USA. 2015. Disponível em: <<https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets?project=MERRA-2>>. Acesso em: 07 jan. 2025.

Governo do Estado de Minas Gerais. **Decisões de Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), 2024. Disponível em: <<http://sistemas.meioambiente.mg.gov.br/licenciamento/site/lista-outorgas>>. Acesso em: 28 dez. 2024.

GIATTI, L.L.; JACOBI, P.R.; FAVARO, AKMDI.; EMPINOTTI, V.L. O nexo água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. **Estudos Avançados**. 2016;30:43–61.

GOVERNO DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. **Sistema de Outorga da Água do Rio Grande do Sul – SIOUT RS**. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul (SEMA RS), 2024. Disponível em: <<http://siout.aguas.sc.gov.br/>>. Acesso em: 28 dez. 2024.

GOSLING, S.N.; ARNELL, N.W. A global assessment of the impact of climate change on water scarcity. **Clim Change** [Internet]. 2016;134:371–85. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0853-x>

GUAN, Xin et al. A metropolitan scale water management analysis of the foodenergy-

- water Nexos. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 701, p. 134478, jan. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134478>
- HOFF, H. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn2011 Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus. Stockholm Environment Institute, Stockholm. 2011.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Mapa de Estações**. Brasília, 2024. Disponível em: <<https://mapas.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Dados Observacionais do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos – CPTEC**. São Paulo, 2024. Disponível em: <<https://bancodedados2.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 23 dez. 2024.
- IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **IPEADATA**: banco de dados de séries temporais do IPEA. Brasília, 2025. Disponível em: <<http://www.ipeadata.gov.br/>>. Acesso em: 03 jan. 2025.
- IPCC, 2023: 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, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001
- JRA – Japan Meteorological Agency. **JRA-55**: the Japanese 55-year Reanalysis. Disponível em: <https://jra.kishou.go.jp/JRA-55/index_en.html#reanalysis>. Acesso em: 07 jan. 2025. 2013.
- KONCAGÜL, E.; TRAN, M.; CONNOR, R. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2020**: água e mudança climática, fatos e dados. 2020.
- KUMMU, M.; GUILLAUME, J.H.A.; de MOEL, H.; EISNER, S.; FLÖRKE, M.; PORKKA, M. et al. The world's road to water scarcity: shortage and stress in the 20th century and pathways towards sustainability. **Sci Rep**. 2016;6:38495.
- LIU, Y. *et al.* A quantitative analysis framework for water-food-energy Nexus in an agricultural watershed using WEAP-MODFLOW. **Sustainable Production And Consumption**, [S.L.], v. 31, p. 693-706, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.spc.2022.03.032>
- MARKANTONIS, V.; REYNAUD, A.; KARABULUT, A.; EL HAJJ, R.; ALTINBILEK, D.; AWAD, I.M. et al. Can the Implementation of the Water-Energy-Food Nexus Support Economic Growth in the Mediterranean Region? The Current Status and the Way Forward. **Front Environ Sci**. 2019;7.
- MCLENNAN, M. **The Global Risks Report 2021**. 16th Edition. Cologny, Switzerland: World Economic Forum. 2021.
- MELO, F.P.L.; PARRY, L.; BRANCALION, P.H.S.; PINTO, S.R.R.; FREITAS, J.; MANHÃES, A.P. et al. Adding forests to the water–energy–food nexus. **Nat Sustain**. 2020;4:85–92.

MIDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. Brasília, 2025. Disponível em: <<https://basedosdados.org/dataset/2a543ad8-3cdb-4047-9498-efe7fb8ed697?table=df7cf198-4889-4baf-bb77-4e0e28eb90ca>>. Acesso em: 07 jan. 2025.

MOMBLANCH, A. et al. Untangling the water-food-energy-environment Nexo for global change adaptation in a complex Himalayan water resource system. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 655, p. 35-47, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.045>

NIKA, C.E.; VASILAKI, V.; EXPÓSITO, A.; KATSOU, E. Water Cycle and Circular Economy: Developing a Circularity Assessment Framework for Complex Water Systems. **Water Res.** 2020;187.

NIKA, C.E.; VASILAKI, V.; RENFREW, D.; DANISHVAR, M.; ECHCHELH, A.; KATSOU, E. Assessing circularity of multi-sectoral systems under the Water-Energy-Food-Ecosystems (WEFE) nexus. **Water Res.** 2022;221.

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. **CFS version 2 Downloads**. 2010. Disponível em: <<https://cfs.ncep.noaa.gov/cfsv2/downloads.html>>. Acesso em: 07 jan. 2025.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil (1985-2023)**. 2025. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 02 jan. 2025.

REZAEI, K. S.; CELICO, F. The Water–Energy–Food Nexus in European Countries: A Review and Future Perspectives. **Sustainability**. 2023;15:4960.

RITCHIE, HANNAH; ROSADO, PABLO; ROSER, MAX. **Natural Disasters**. Published online at OurWorldinData.org. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/natural-disasters>>. [Online Resource]. 2022.

SANDOVAL-SOLIS, S. et al. Sustainability Index for Water Resources Planning and Management. **Journal Of Water Resources Planning And Management**, [S.L.], v. 137, n. 5, p. 381-390, set. 2011. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)wr.1943-5452.0000134](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)wr.1943-5452.0000134)

SANTA CATARINA. **Sistema de Outorga da Água de Santa Catarina – SIOUT SC**. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SDE), 2024. Disponível em: <<http://www.sioutr.rs.gov.br>>. Acesso em: 28 dez. 2024.

SÃO PAULO. **SP Águas** - Visualizador de Atos de Outorgas e Cadastros. Agência de Águas do Estado de São Paulo, 2024. Disponível em: <<https://cth.dae.sp.gov.br/soe>>. Acesso em: 28 dez. 2024.

SEI – Stockholm Environment Institute. **Licença de Uso do WEAP**. 2025. Disponível em: <<https://www.weap21.org/index.asp?action=217>>. Acesso em: 03 jan. 2025.

SIDRA/IBGE – Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Banco de Tabelas Estatísticas**. 2025. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 02 jan. 2025.

SHAMS, S.; JUANI, R. H. M. Flow Assessment of Brunei River due to the Impact

- of Climate Change. **4th International Conference on Environmental, Energy and Biotechnology**. 2015. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Shahriar-Shams/publication/278783322_Flow_Assessment_of_Brunei_River_due_to_the_Impact_of_Climate_Change/links/56da2d3408aee1aa5f829c03/Flow-Assessment-of-Brunei-River-due-to-the-Impact-of-Climate-Change.pdf>. Acesso em 03 jan. 2025.
- SIEBER, JACK; PURKEY, DAVID. **Water Evaluation and Planning System – User Guide**. Stockholm Environment Institute – SEI. Disponível em: <https://www.weap21.org/downloads/WEAP_User_Guide.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2025.
- TZANAKAKIS, V.A.; PARANYCHIANAKIS, N. V.; ANGELAKIS, A.N. Water Supply and Water Scarcity. **Water (Basel)**. 2020;12:2347.
- UNECE. **Reconciling resource uses in transboundary basins: assessment of the water-food-energy-ecosystems nexus**. 2015.
- UNDRR, United Nations Office for Disaster Risk Reduction. **Sendai framework for disaster risk reduction 2015–2030**. United Nations Office for Disaster Risk Reduction: Geneva, Switzerland. 2015.
- VIEIRA, E. O.; SANDOVAL-SOLIS, S. Water resources sustainability index for a water-stressed basin in Brazil. **Journal Of Hydrology: Regional Studies**, [S.L.], v. 19, p. 97-109, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.08.003>
- VITO, Rossella de, et al. An index-based approach for the sustainability assessment of irrigation practice based on the water-energy-food Nexo framework. **Advances In Water Resources**, [S.L.], v. 110, p. 423-436, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.027>
- YATES, DAVID, et al. WEAP21—A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model. **Water International**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 487-500, dez. 2005a. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060508691893>
- YATES, David *et al.* WEAP21—A Demand-, Priority-, and Preference-Driven Water Planning Model. **Water International**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 501-512, dez. 2005b. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060508691894>
- ZHANG, Y. et al. Hydropower generation vulnerability in the Yangtze river in China under climate change scenarios: Analysis based on the WEAP model. **Sustainability**, v. 9, n. 11, p. 2085, 2017. <https://doi.org/10.3390/su9112085>
- ZHANG, Z. et al. Improvement of WEAP model considering regional and industrial water distribution priority and its application. **Journal of hydrology: Regional studies**, v. 47, n. 101414, p. 101414, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101414>
- ZHONG, D.; Lu, Q.; ZHANG, Y.; Li, J.; LEI, T.; LIU, C. How a poverty alleviation policy affected comprehensive disaster risk reduction capacity: Evidence from China's great western development policy. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, 111, 104656. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.104656>