



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

## **INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE PARA A SEGURANÇA HÍDRICA**

Cibele Roberta Sugahara  
Professora e Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas-São Paulo/Brasil.  
cibelesu@puc-campinas.edu.br

Bruna Angela Branchi  
Professora e Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas-São Paulo/Brasil.  
bruna.branchi@puc-campinas.edu.br

Denise Helena Lombardo Ferreira  
Professora e Pesquisadora do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas-São Paulo/Brasil.  
lombardo@puc-campinas.edu.br

Jakeline Pertile Mendes  
Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade  
Pontifícia Universidade Católica de Campinas-São Paulo/Brasil.  
jakelinepertilemendes@gmail.com

### **RESUMO**

O presente estudo tem por objetivo evidenciar a importância da gestão eficiente da água a partir da escolha de indicadores de sustentabilidade baseada em um modelo de avaliação ambiental integrada. O método caracteriza-se como descritivo com abordagem qualitativa, com a coleta de dados foi realizada a partir de documentos publicados pela ANA e OCDE. O trabalho indica que os indicadores selecionados com o modelo FPEIR são apropriados para a gestão de recursos hídricos, porém há limitações. A aplicação da abordagem FPEIR confirmou sua utilidade na gestão dos recursos hídricos e da segurança hídrica, orientando na identificação de um conjunto de indicadores. A discussão das propriedades dos indicadores de sustentabilidade revela que os indicadores elaborados a partir do modelo FPEIR atendem ao quarto princípio dos Bellagio STAMP. O modelo FPEIR aplicado à gestão de recursos hídricos pode contribuir para o monitoramento e segurança da água.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

**Palavras-chave:** Indicadores de sustentabilidade. Indicadores ambientais, Segurança hídrica, Recursos hídricos, Modelo FPEIR.

## 1 Introdução

A água é um recurso naturalmente produzido pelo ecossistema terrestre fundamental para a sobrevivência humana, e determinante para o desenvolvimento sustentável.

Conforme Porto, Basso e Strohaecker (2019), cerca de 97% da água do planeta Terra encontra-se nos oceanos, 2,2%, nas geleiras e apenas 0,8% está na forma de água doce, propícia para consumo humano. E dessa, cerca de 97% encontram-se no subsolo e apenas 3% na superfície, onde a extração é mais fácil. Esse recurso, cada vez mais escasso pois está sujeito às mais variadas formas de interferências antrópicas, influencia a qualidade de vida e a organização das atividades produtivas.

A preocupação com o uso sustentável e racional da água no Brasil é recente. Embora no período do Brasil Colônia tenham ocorrido intensas atividades agrícolas e de mineração, como destacam Nunes *et al.*, (2019), os conflitos sobre o uso da água estavam prevalentemente relacionados às questões de vizinhança e empecilhos à navegação. Os mesmos autores complementam que a industrialização e o crescimento acelerado da população durante o século XIX provocaram o aumento da demanda de água, maior regularidade no seu fornecimento e a construção de instrumentos legais mais complexos para seu gerenciamento.

O desafio é evitar o esgotamento e a contaminação dos mananciais de recursos hídricos a fim de assegurar a continuidade de fornecimento de água com boa qualidade e em quantidade suficiente para todos os usuários, por meio da preservação, conservação e manutenção desses mananciais. Como Soares *et al.*, (2011) assinalam, os desafios da questão hídrica vão além da hidrologia e das ciências exatas, há que se considerar o gerenciamento urbano integrado das águas e o gerenciamento de bacias hidrográficas, além da conservação ambiental e a capacitação de recursos humanos.

As bacias hidrográficas desempenham um papel fundamental na tomada de decisões para elaboração de políticas públicas, de planejamento e de gestão territorial. De modo geral,



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

as bacias hidrográficas brasileiras mostram-se degradadas com possibilidade de estresse hídrico, e como consequência comprometendo diversos setores da sociedade. Lelis *et al.*, (2012) afirmam que o processo erosivo das bacias hidrográficas está relacionado direta ou indiretamente com uma gestão ambiental eficiente das bacias.

No Brasil, a proteção e gestão dos recursos hídricos têm como marcos legislativos a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a criação do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) em 1997. Para implementar a gestão da água no Brasil foi criada a Agência Nacional de Águas (ANA) em 2000. (PORTO; BASSO; STROHAECKER, 2019). A PNRH é um instrumento que visa “promover o planejamento e promoção de ações destinadas a prevenir ou minimizar os efeitos de secas e cheias e à elaboração de estudos para subsidiar a aplicação de recursos financeiros da União em infraestrutura hídrica” (ANA, 2019a, p. 17).

Segundo a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) a preocupação com a pressão das atividades humanas sobre os recursos hídricos, demanda e produção de resíduos, tem relação com sustentabilidade e qualidade da água (OCDE, 2001; 2019).

A gestão dos recursos hídricos pode ser realizada considerando os objetivos domésticos, compromissos internacionais e os princípios da sustentabilidade, e tem ganhado espaço nas discussões políticas entre os países, pois conforme os relatórios da OCDE (2001; 2019) essa gestão pode trazer impactos para a saúde humana e a sustentabilidade das atividades em diversos setores. Segundo a OCDE (2019, p. 2) os recursos hídricos podem ser monitorados levando em conta os objetivos domésticos e os compromissos internacionais. Neste contexto, considera como exposto na Agenda 2030 a preservação dos recursos hídricos e a promoção do gerenciamento de águas residuais para todos como apresentado no ODS 6 – “Garantir a disponibilidade e o gerenciamento sustentável da água e saneamento para todos” - e o ODS 3 “Garantir uma vida saudável e promover bem-estar para todos em todas as idades” (ONU, 2015, s/p).

A gestão da sustentabilidade das bacias hidrográficas envolve "um conjunto mínimo de instrumentos principais: uma base de dados e informações socialmente acessível, a definição clara dos direitos de uso, o controle dos impactos sobre os sistemas hídricos e o processo de tomada de decisão” (PORTO; PORTO, 2008, p. 50).



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

Diante deste cenário, partindo do pressuposto de que o uso eficiente da água é o fator decisivo para o equilíbrio entre a oferta e a demanda, surge a pergunta sobre a importância da escolha de indicadores de sustentabilidade a partir de um modelo de avaliação ambiental integrada para a segurança hídrica.

Um dos modelos de avaliação mais usado, nacionalmente e internacionalmente, quando se trata de discutir o tema de segurança hídrica é o modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR).

O objetivo deste artigo é apresentar uma reflexão sobre a aplicação da abordagem FPEIR na identificação de um conjunto de indicadores de sustentabilidade que possam contribuir para a gestão da segurança hídrica em bacias hidrográficas.

## **2 Metodologia**

Para atender ao objetivo deste estudo o método adotado caracteriza-se como descritivo com abordagem qualitativa. Segundo Creswell (2010, p. 43) a abordagem qualitativa é “um meio para explorar e para entender o significado que os indivíduos ou os grupos atribuem a um problema social ou humano”.

Os dados foram coletados a partir de documentos públicos. De acordo com Gil (1999, p. 66) o procedimento técnico do levantamento pode ser realizado em “[...] documentos de primeira mão, que não receberam qualquer tratamento analítico, tais como: documentos oficiais, reportagens de jornal, [...] etc.”. Neste artigo as fontes são os documentos da ANA e OCDE que versam sobre indicadores ambientais para gerenciar recursos hídricos.

## **3 Segurança hídrica e governança dos recursos hídricos**

As questões ambientais revelam um movimento de ações para o gerenciamento do recurso água. Segundo a OCDE (2001; 2019) é importante administrar os recursos hídricos e serviços hídricos de forma sustentável. Para a OCDE (2019, p. 1) um dos maiores desafios é garantir o suprimento adequado de água doce preservando a qualidade e que possa atender às “atividades econômicas, uso e bem-estar humano, apoiar os ecossistemas aquáticos e outros e abordar as ameaças associadas a secas e inundações resultantes de mudanças climáticas”, em



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

outras palavras garantir a segurança hídrica. Uma alta prioridade deve ser conferida à abordagem integrada para o gerenciamento da água e de seus ecossistemas que têm papel decisivo na transformação do ciclo hidrológico e nas bacias hidrográficas.

Internacionalmente, o conceito de segurança hídrica surgiu com o intuito de “designar um modelo de gestão focado no resultado e na efetividade da política de água” (MELO, 2016, p. 8). A segurança hídrica é definida através de um nível aceitável de riscos relacionados a água para seres humanos e ecossistemas, junto à disponibilidade de água em qualidade e quantidade para os meios de subsistência (BAKKER, 2012).

Apesar de ter havido algumas adaptações, para abranger e atender de maneira mais sistêmica e adequada os problemas atuais referentes à questão hídrica, o conceito de segurança hídrica foi oriundo da Declaração Ministerial do 2º Fórum Mundial da Água, que instituiu à segurança hídrica sete desafios, conforme segue: 1. Satisfação das necessidades básicas; 2. Garantia do abastecimento de alimentos; 3. Proteção aos ecossistemas; 4. Compartilhamento de recursos hídricos; 5. Gerenciamento de riscos; 6. Valorização da água; 7. Controle racional da água (INPE, 2012).

A ANA em 2011 criou o Pacto Nacional pela Gestão das Águas que contou com a adesão de todos os estados. O seu objetivo era promover a integração entre os sistemas de recursos hídricos nacional e estaduais, articular a convergência entre o desempenho dos sistemas estaduais e minimizar as divergências regionais de governança da água (OCDE, 2015).

Diante das divergências existentes entre as regiões brasileiras quanto a escassez e abundância de água, poluição da água e acesso aos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário é relevante considerar as especificidades quando se trata da gestão dos recursos hídricos (OCDE, 2015).

A partir de 2014 o conceito de segurança hídrica ocupou espaço no debate e foi colocado como pauta nacional, principalmente após a crise hídrica assolar o Sudeste brasileiro e afetar as principais capitais, entre elas São Paulo. O assunto foi estendido aos demais estados através de diversas reuniões, o culminando na construção do Plano Nacional de Segurança Hídrica



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

(PNSH) que reconhece a segurança hídrica como “condição indispensável para o desenvolvimento social e econômico, especialmente quando se verificam os impactos causados pelos eventos hidrológicos extremos ocorridos na atual década no Brasil” (ANA, 2019a, p. 7).

Atualmente, conforme definido pela Organização das Nações Unidas (ONU), a segurança hídrica acontece quando há disponibilidade de água suficiente em quantidade e qualidade, que possibilita atender às necessidades humanas, bem como as práticas das atividades econômicas, além da conservação dos ecossistemas aquáticos, seguido de um aceitável nível de risco quanto às secas e cheias (ANA, 2019a). Para isso, são identificadas quatro dimensões norteadoras no planejamento e gestão da oferta e do uso da água no país (ANA, 2019a).

Dentre as dimensões da segurança hídrica, a dimensão humana que tem por objetivo averiguar e garantir a oferta de água para abastecer todo o país, quantificando as populações mais vulneráveis aos riscos de não atendimento e as regiões mais críticas. A dimensão econômica foca no setor agropecuário e industrial para aferir os riscos de produção desses setores por conta da variação da oferta hídrica, pois são os setores que mais utilizam recursos hídricos no país. A dimensão ecossistêmica engloba alguns indicadores de qualidade de água no que tange a vulnerabilidade de mananciais para abastecimento humano e usos diversos. São eles: água em quantidade suficiente para usos ecossistêmicos; água com qualidade adequada para manutenção da vida aquática; e riscos ambientais decorrentes de rompimentos de barragens de rejeitos de mineração. Já a dimensão de resiliência refere-se ao potencial de estoques de águas naturais e artificiais no Brasil para suprir demandas em caso de estiagem severa e secas (ANA, 2019a).

Segundo a UNESCO (2020), para alcançar a segurança hídrica, é necessário proteger os sistemas hídricos que são vulneráveis, com o intuito de mitigar os impactos de riscos relacionados à água, como por exemplo inundações e secas, adotar medidas de proteção quanto ao acesso às funções e serviços hídricos, e realizar a gestão dos recursos hídricos de maneira integrada e equitativa. Além disso, deve-se providenciar um cenário ideal de segurança hídrica, onde a infraestrutura esteja planejada, dimensionada, implantada e gerida de forma adequada, equilibrando o atendimento da oferta e da demanda de água, incluindo as situações eventuais, fruto da vulnerabilidade a eventos climáticos extremos (ANA, 2019a).



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

A segurança hídrica está relacionada com a garantia de água em quantidade e qualidade para os usos múltiplos, antrópicos e naturais (MELO, 2016). Em complemento, Machado (2018, p. 33) ressalta que a segurança hídrica está relacionada com “ações voltadas a melhoria da gestão dos recursos hídricos”.

Portanto, a segurança hídrica é imprescindível para todos os setores da sociedade, econômicos e sociais (INPE, 2012). O intuito é garantir à sociedade disponibilidade hídrica aos variados usos, atendendo suas expectativas, e protegendo-a quanto aos possíveis impactos negativos causados pelos eventos hidrológicos extremos (MELO; JOHNSON, 2017).

## 4 Indicadores

### 4.1 Indicadores de Segurança Hídrica

A OCDE (2001) em estudo realizado sobre indicadores de meio ambiente advertiu que a demanda global de água aumentou mais que o dobro da taxa de crescimento populacional do século passado. Nos anos 70, esse aumento foi motivado principalmente em virtude da demanda dos setores agrícola e energético. A partir da década de 80, houve diminuição na demanda de água por parte dos países da OCDE tendo em vista a adoção de novas técnicas de irrigação, tecnologias limpas e queda no uso de água por parte de setores industriais que apresentavam alta demanda do uso de água (exemplo, mineração e aço).

Os indicadores sugeridos por esta organização, a partir do modelo Pressão-Estado-Resposta, para gerenciar os recursos hídricos são: (1) Captações de água: estresse hídrico, captações totais de água (níveis e intensidades), captações de água para abastecimento público, captações de água para irrigação e superfície de terras irrigadas; (2) Tratamento de águas residuais: taxas de conexão de tratamento de esgoto (OCDE, 2011; 2019).

A intensidade do uso dos recursos de água doce ou estresse hídrico que se refere à “captação bruta de água doce em porcentagem do total de recursos renováveis de água doce disponível ou em porcentagem de recursos internos de água doce (ou seja, precipitação, evapotranspiração)” sofreu alteração resultando em estresse hídrico médio menor em vários países da OCDE desde 2000 (OCDE, 2019). Isso se deve ao uso de tecnologias aplicadas à gestão de



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

recursos hídricos. Porém, em todo o mundo o principal responsável pelo uso de água doce é a agricultura.

Em relação às captações de água em grande parte dos países da OCDE observou-se declínio nas captações médias per capita desde 2000. Porém, em todo o mundo, “as captações de água doce continuam a crescer a uma taxa mais rápida do que o crescimento da população, com a agricultura usando cerca de 70% de todas as captações” (OCDE, 2019, p. 2). Esse resultado é confirmado pela ANA no caso do Brasil (ANA, 2019a).

O Pacto Nacional pela Gestão das Águas da ANA prevê a avaliação do impacto sobre a governança da água a partir de uma proposta coletiva de indicadores de monitoramento e com metas de desempenho (OCDE, 2015). Para tanto, o Pacto ressalta a necessidade de um “sistema de indicadores homogêneos, comparáveis e replicáveis poderia ser previsto para monitorar a evolução de cada estado contratado após o quinto ano de implementação, e comprometê-los a prosseguir com os esforços, após esse período” (OCDE, 2015, p. 129).

Nos instrumentos de gestão, os indicadores apresentados pela ANA podem apoiar a tomada de decisão em relação à cobrança pelo uso da água e à emissão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos pelos órgãos gestores do setor, entre outros fatores (ANA, 2019b).

A rigor, os indicadores de governança da água contribuem com o mapeamento de necessidades, auxiliam a capacitação, explicitam a necessidade ou não de recursos adicionais, e indicam se um contrato deve ser renovado (OCDE, 2015).

De acordo com Silva (2012) é importante o uso de indicadores na aplicação de estudos ambientais. Niemeijer e De Groot (2008) complementam ao afirmarem que o uso de indicadores é fundamental para demonstrar o estado do meio ambiente. O estabelecimento de indicadores pode auxiliar em tomadas de decisão mais assertivas, podendo auxiliar e interpretar as transformações no meio ambiente decorrentes da ação do homem. Como destacam Chang (2008) e Tanaka *et al.*, (2016), os indicadores são úteis para estabelecer diagnósticos e auxiliar na definição de diretrizes.

Em relação ao recurso água, os Indicadores de Segurança Hídrica (ISH) facilitam a gestão das Bacias Hidrográficas, norteando as tomadas de decisões. Busca-se um cenário ideal





III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

para atender a Segurança Hídrica no que tange a oferta e demanda de água, inclusive em questões de vulnerabilidade referentes a eventos climáticos extremos (ANA, 2019a). Devido ao fato do Brasil possuir diversidade climática, de ecossistemas e de uso e ocupação da terra, também possui um maior desafio para estabelecer ISH de fácil interpretação e aplicabilidade pelas políticas públicas de gestão da água (ANA, 2019b).

A literatura internacional apresenta diversos indicadores de segurança hídrica existentes nos relatórios da *World Water Development Report (UN-Water)* e *Global Water Partnership (GWP)* (BEEK; ARRIENS, 2014). Machado (2018) salienta que na literatura nacional, indicadores relacionados à segurança hídrica são apresentados no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, n. d.); indicadores ambientais são mostrados pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA-SP, 2009) e pelo Painel Nacional de Indicadores Ambientais (BRASIL, 2014); os indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas são encontrados em Carvalho, Curi e Lira (2013) e em Corrêa e Teixeira (2013).

#### 4.2 Indicadores de sustentabilidade e o método FPEIR

A escolha de indicadores de sustentabilidade pode ser orientada por uma abordagem temática do desenvolvimento sustentável, refletindo as recomendações da Agenda 21, considerando as dimensões ambiental, econômica, social e institucional ou pode ser dirigida por modelos de avaliação ambiental integrada. Na revisão de 36 exemplos de indicadores de sustentabilidade, Malheiros, Coutinho e Philippi Jr. (2012) identificaram 15 estudos que utilizavam a abordagem temática e sete o modelo de avaliação integrada. Desses, quatro escolheram o modelo Pressão-Estado-Resposta (PER), os outros eram aplicações do modelo Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR), do modelo Força Motriz-Estado-Resposta (FER), e do modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR). Os restantes eram exemplos de índices monetário e não monetário de sustentabilidade.

O modelo FPEIR e suas variantes têm sua origem no relatório do Instituto Oficial de Estatística do Canadá, elaborado por Rapport e Friend em 1979 como proposta de um sistema de contabilidade ambiental a partir de uma visão integrada, - o Sistema de Estatística Ambiental Estresse – Resposta (Stress-Response Environmental Statistical System, S-RESS).



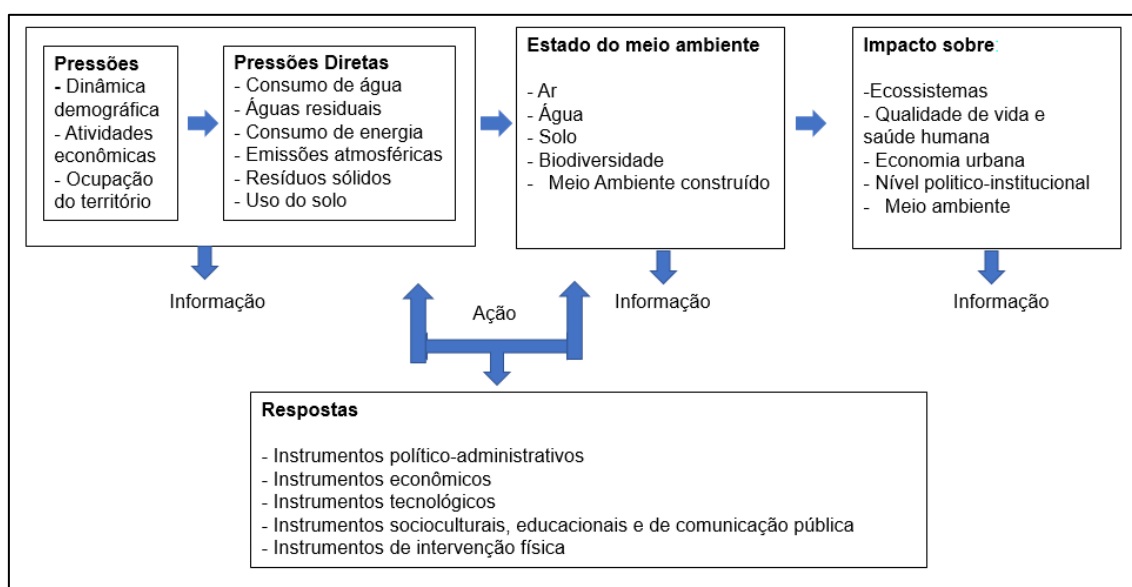
III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

Trata-se de um modelo que descreve o estado do meio ambiente e os processos dinâmicos (forças estressantes) que o modificam, assim como a dinâmica das respostas. Os autores definem como Estresse-Resposta (ou Pressão-Resposta) a abordagem que examina os impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente. O termo Estressor identifica as variáveis independentes, ou seja, o conjunto de atividades ambientais e antrópicas que podem degradar o meio ambiente, enquanto estresses (elementos de pressão sobre os recursos naturais) e respostas (ambientais e políticas) são as variáveis dependentes do sistema.

O modelo Pressão-Resposta inspirou algumas abordagens para a seleção de indicadores ambientais adotadas por organizações internacionais.

Em 1995 o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) elaborou a matriz PEIR para o projeto *Global Environment Outlook-Cidade* (GEO-Cidade). Este marco analítico, sintetizado na Figura 1, descreve como avaliar o estado do meio ambiente, incluindo os fatores que descrevem as pressões sobre o mesmo e que modelam seu estado atual, assim como as respostas locais para lidar com os diversos problemas.

**Figura 1** – Matriz PEIR e as interações dos componentes urbano-ambientais



Fonte: PNUMA (2004, p. 16).

A Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (UNCSD) de 1996 até 2001 utiliza o modelo Força Motriz – Estado – Resposta (*Driving Force- State- Response*)



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

para elaborar indicadores de desenvolvimento sustentável que sucessivamente classifica de acordo com as quatro dimensões do desenvolvimento sustentável: ambiental, econômica, social e institucional (UN, 2007).

Os indicadores de Força Motriz descrevem as atividades que impactam no desenvolvimento sustentável (ambientais ou não ambientais). Os indicadores de Estado identificam a situação, ambiental ou social, corrente. Enquanto os indicadores de Resposta identificam as ações tomadas pela sociedade para atingir o desenvolvimento sustentável. Dada a ênfase em indicadores de sustentabilidade, e não somente ambientais, em 2001 a UNCSO adotou uma abordagem temática para escolher os indicadores.

A OCDE promove o modelo Pressão-Estado-Resposta (*Pressure-State-Response*, PSR) nas avaliações ambientais. Nesta abordagem as atividades humanas geram pressões sobre o meio ambiente e influenciam a quantidade e qualidade dos recursos naturais (Estado). A sociedade responde a estas mudanças através de políticas ambientais e econômicas e com mudanças de comportamento (OCDE, 2003). Trata-se de um modelo que reconhecendo as relações de causa e efeitos (ou causalidade) identifica critérios de seleção e organização dos indicadores ambientais.

A European Environment Agency (EEA, 1999) desenvolveu o modelo FPEIR a partir do modelo da OCDE, um novo marco analítico para a elaboração de indicadores ambientais facilmente interpretáveis, úteis na formulação de políticas e monitoramento das respostas.

Novamente a ênfase é dada à capacidade de identificar as relações de causa-efeito de problemas ambientais, num ambiente dinâmico e permite classificar os indicadores em quatro classes: descritivos, de performance, de eficiência e de bem-estar global (EEA, 1999, p. 8).

O FPEIR é um instrumento relevante no processo dinâmico de tomada de decisão, começando com identificação dos problemas (impactos), sugerindo então indicadores que permitem simplificar fenômenos complexos, de natureza heterogênea, econômica, social e ambiental. Ele é um dos modelos mais usados, por exemplo, na gestão de bacias hidrográficas (BORJA *et al.*, 2006; NIEMEIJER; GROOT, 2008; SOARES *et al.*, 2011; ZARE *et al.*, 2019).

Uma pesquisa das publicações disponíveis na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações permitiu encontrar onze trabalhos entre teses e dissertações defendidas no período



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

2006-2018 que aplicavam o método FPEIR nos estudos de bacias hidrográficas (ALTOÉ, 2018; AVELINO, 2018; SALES, 2018; FELINTO, 2016; LANDIM NETO, 2016 e 2013; TEUBNER JÚNIOR, 2016; GONÇALVES, 2015; CALDAS, 2012; SILVA, 2012; AZEVEDO, 2006).

Um exemplo de aplicação do modelo FPEIR à gestão de recursos hídricos permite identificar os seguintes grupos de indicadores: Indicadores de Força Motriz - possibilitam identificar a influência das ações antrópicas e das mudanças ambientais nos recursos hídricos (Quadro 1); Indicadores de Pressão - descrevem como as transformações nos padrões de consumo e produção causam problemas ambientais (Quadro 2); Indicadores de Estado - definem as condições atuais dos recursos naturais (Quadro 3); Indicadores de Impacto - permitem medir as variações que ocorrem nos recursos naturais por efeitos das pressões ocorridas (Quadro 4) e Indicadores de Resposta - resumem as ações sociais e políticas que visam compensar ou reduzir as variações ocorridas no meio ambiente (Quadro 5).

**Quadro 1** Indicadores de Força Motriz

Variável	Indicadores
Dinâmica demográfica	Densidade demográfica
	Taxa de crescimento da população urbana
Dinâmica econômica	Produção agrícola (ou industrial) em relação à água usada pelo setor
Uso e ocupação do solo	Proporção da área total destinada ao uso agrícola, silvicultura e residencial

Fonte: Elaborado a partir de Malheiros et al., (2019); Felinto, Ribeiro e Braga (2019); CB-PCJ (2019).

**Quadro 2** Indicadores de Pressão

Variável	Indicadores
Consumo de água	Demanda de água
	Captações de águas subterrâneas e superficiais
	Uso da água (doméstico, industrial, irrigações, etc.)
Produção de resíduos sólidos e efluentes	Resíduos sólidos domésticos
	Efluentes industriais e sanitários
Interferências em corpo d'água	Erosão e assoreamento
	Barramentos



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

	Desmatamento
--	--------------

Fonte: Elaborado a partir de Malheiros et al., (2019); Felinto, Ribeiro e Braga (2019); CB-PCJ (2019).

### Quadro 3 Indicadores de Estado

Variável	Indicadores
<i>Disponibilidade hídrica</i>	Disponibilidade de águas superficiais
	Disponibilidade de águas subterrâneas
Qualidade da água superficial e subterrânea	Taxa de conformidade da água em relação à Demanda Biológica de Oxigênio (DBO)
	Taxa de conformidade da água em relação ao Oxigênio Dissolvido (OD)
	Índice de toxicidade das águas superficiais
	Índice de Qualidade de Água

Fonte: Elaborado a partir de Malheiros et al., (2019); Felinto, Ribeiro e Braga (2019); CB-PCJ (2019).

### Quadro 4 Indicadores de Impacto

Variável	Indicadores
<i>Contaminação dos recursos hídricos</i>	Danos à vida aquática (mortalidade de peixe, proliferação de algas)
Doenças de veiculação hídrica	Incidência anual das doenças
	Quantidade de óbitos decorrentes das doenças de veiculação hídrica (por ano)
Uso da água	Interrupção do fornecimento
	Conflitos no uso e exploração das águas
Finanças públicas	Custo de tratamento de água

Fonte: Elaborado a partir de Malheiros et al., (2019); Felinto, Ribeiro e Braga (2019); CB-PCJ (2019).

### Quadro 5 Indicadores de Resposta

Variável	Indicadores
Plano Estadual de Recursos Hídricos	Grau de enquadramento dos corpos de água em classes



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
 VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
 16 a 18 de novembro de 2021

Coleta e tratamento das águas residuais	Índice de tratamento de esgotos coletados
	Índice de tratamento de esgostos em relação à água consumida
	Índice de coleta de esgotos

Fonte: Elaborado a partir de Malheiros et al., (2019); Felinto, Ribeiro e Braga (2019); CB-PCJ (2019).

A aplicação da abordagem FPEIR orienta na identificação de um conjunto de indicadores definidos a partir de um sistema dinâmico de relações de causas e efeitos. Estes indicadores permitem atender às demandas dos usuários de dados ambientais, quais cientistas, formuladores de políticas e a sociedade civil em geral. Cada grupo tem diferentes perspectivas e objetivos. Rapport e Friend (1979, p. 19-30) reconheceram a existência de uma estrutura hierárquica das informações associadas aos três grupos: os cientistas cuja demanda refere-se à dados mais técnicos de forma a acompanhar as reações do meio ambiente às pressões derivantes da atividade humana; os responsáveis para a elaboração de políticas públicas que podem se beneficiar de índices calculados a partir dos dados técnicos; e o público em geral que necessita de informações sobre qualidade, aparências, etc. da água, para perceber os efeitos das suas ações sobre o meio ambiente. Pode-se concluir que além, de dispor de um modelo de seleção de indicadores ambientais, é importante definir algumas propriedades desses indicadores.

## 5 Discussão e análise das propriedades dos indicadores

A discussão das propriedades de indicadores de sustentabilidade pode ser sintetizada nas contribuições de Meadows (1998), Agenda 21 e os *Bellagio Sustainability Assessment and Measurement Principles* – (Bellagio STAMP).

Sobre as propriedades dos indicadores Meadows (1998) discute quais elementos que a sociedade usa para identificar problemas, planejar ações e monitorar os resultados. Os bons indicadores devem ser: de fácil interpretação; efetivos, ou seja, devem ser apropriados para a tomada de decisão; viáveis, isto é, baixos custos; apropriados, de baixa agregação e desagregação; expressos em termos físicos e não monetários; de fácil atualização para garantir o uso efetivo; sujeitos a revisão e melhoria. Além disso, os indicadores devem ser o resultado de uma



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

ampla participação na fase da seleção para evitar um excesso de tecnicismo por parte dos especialistas.

No capítulo 40 “Informação para a tomada de decisão” da Agenda 21 é ressaltada a necessidade de melhorar a disponibilidade da informação assim como de reduzir as diferenças de acesso aos dados (ONU, 1992).

Segundo a ONU (1992, s.p.) “é preciso desenvolver indicadores do desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para a tomada de decisões em todos os níveis e que contribuam para uma sustentabilidade autorregulada dos sistemas integrados de meio ambiente e desenvolvimento”. Ou seja, os indicadores, quais elementos fundamentais da tomada de decisão, devem estar disponíveis para todos, permitindo uma participação ativa na formulação e no acompanhamento de ações rumo ao desenvolvimento sustentável (VAN BELLEN, 2006; VEIGA, 2010; MALHEIROS; COUTINHO; PHILIPPI, 2012a, 2012c).

Os Bellagio STAMP definem oito princípios que devem orientar a avaliação do progresso rumo ao desenvolvimento sustentável (PINTÉR *et al.*, 2009). Desses, três são relevantes neste estudo:

Princípio 4 – A avaliação deve estar fundamentada em um sistema conceitual que permita identificar os indicadores. Eles devem ser elaborados com metodologias padronizadas para facilitar as comparações e, eventualmente, definir valores de referência para facilitar a avaliação.

Princípio 5 – O processo de avaliação deve ser transparente, deixando disponíveis para todos os dados, indicadores e avaliações, assim como devem ser explicitadas as hipóteses, escolhas e incertezas dos resultados.

Princípio 6 – Os indicadores devem ser elaborados para facilitar a comunicação. Para alcançar este objetivo deve ser usada uma linguagem clara e simples. As informações devem ser apresentadas em modo objetivo e com um suficiente grau de detalhe.

No processo de seleção dos indicadores relacionados aos recursos hídricos, é relevante considerar algumas de suas propriedades, tais como as apresentadas por Dunn e Bakker (2009) e Gomes e Malheiros (2012): fácil entendimento e acesso; representativo da área de estudo;



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

comparável/replicável; relevante; confiável e consistente; sensível às mudanças do meio; transparente e preciso; *ter* validade científica; ser desenvolvido tendo como foco os usuários finais; dentre outros.

Considerando as propriedades ressaltadas na revisão, os indicadores elaborados a partir do modelo FPEIR atendem ao quarto princípio dos Bellagio STAMP pela natureza abrangente do método de avaliação integrada FPEIR. Em geral trata-se de indicadores cuja metodologia é bem estabelecida, favorecendo a replicabilidade das análises e a comparabilidade dos resultados. Atendem, portanto, às propriedades evidenciadas por Dunn e Bakker (2009) e por Gomes e Malheiros (2012). Enfim, todos são medidos em unidades físicas, não monetárias, e são objetivos, satisfazendo quanto ressaltado por Meadows (1998) como qualidades de indicadores para a tomada de decisão.

Além disso, supõe-se que a propriedade - sensibilidade às mudanças do meio - pode afetar significativamente os Indicadores de Força Motriz aplicados no contexto da segurança hídrica. Uma vez que as ações antrópicas e mudanças ambientais interferem por exemplo, na dinâmica demográfica e econômica e no uso e ocupação do solo. Por isso, a abordagem integrada no desenvolvimento dos indicadores envolvendo diversos indivíduos vinculados ao uso da água influenciam o padrão de uso.

Dada a necessidade de detalhamento das informações para elaborar os Indicadores de Pressão no caso dos recursos hídricos, uma base de dados fidedigna pode assegurar o aperfeiçoamento da capacidade de mitigar problemas ambientais derivados de mudanças nos padrões de consumo e produção. Como proposto por Dunn e Bakker (2009) essa prática contribui para elaborar um quadro comparativo a fim de indicar como estão as diferentes localidades em termos de segurança da água.

Também dada a complexidade para especificar e precisar as informações que definem as condições atuais dos recursos naturais, sendo este um requisito dos Indicadores de Estado, evidencia-se a importância em determinar os mecanismos de gestão que geram impacto positivo para a disponibilidade hídrica e qualidade da água superficial e subterrânea e lhes garantam sustentação e segurança hídrica. Isso remete à importância da propriedade - ser de fácil atualização para garantir o uso efetivo - que os indicadores devem ter para que possam ser geridos.





III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

Cabe enfatizar que a segurança hídrica está estritamente vinculada a gestão de risco (OCDE, 2013).

Quanto aos Indicadores de Impacto a propriedade - ser de fácil entendimento e acesso - adquire importância para o monitoramento constante das variações que ocorrem nos recursos naturais por efeitos das pressões, isto porque o acompanhamento pode apontar, como relatam Tucci e Chagas (2017), para a necessidade de medidas preventivas aos corpos de água e preservação da vida aquática.

Com relação aos Indicadores de Resposta por representarem as ações sociais e políticas de compensação, mitigação de variações geradas no meio ambiente e redução de problemas causados nos ecossistemas, o desenvolvimento desses indicadores pressupõe que sejam norteados por dados e informações confiáveis e consistentes, bem como foco na aplicação e uso pelos usuários finais. Os Indicadores de Resposta são úteis para a formulação de políticas com o intuito de promover mudanças de comportamento e apoio à tomada de decisão para a gestão ambiental.

Neste sentido, ao discutir os indicadores do modelo FPEIR aplicados à gestão de recursos hídricos deve-se considerar os riscos apontados pela OCDE (2013, p. 4): “da escassez da falta de água para atender a demanda; da qualidade da água pela deterioração por contaminação dos sistemas hídricos; de excessos das inundações; e da sustentabilidade de sistemas hídricos e ambientais”.

O modelo FPEIR é potencialmente útil na gestão de recursos hídricos e da segurança hídrica. Lembrando que a segurança hídrica tem uma abrangência maior da gestão de recursos hídricos: além de garantir o atendimento dos diferentes tipos de demanda de água, de garantir a qualidade da água ou prevenir contra inundações em cenário de riscos determinados. A segurança hídrica tem o objetivo de garantir a sustentabilidade dos sistemas hídricos e ambientais, ou seja, de envolver também os riscos oriundos da vulnerabilidade a eventos extremos (TUCCI; CHAGAS, 2017).

Vale ressaltar que os indicadores selecionados com o modelo FPEIR apresentam limitação, são bastante numerosos e técnicos. Embora esses indicadores sejam apropriados para a gestão dos recursos hídricos, podem apresentar dificuldades por parte de alguns grupos de



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

usuários. No sentido de contornar essa situação, poderiam ser selecionados subgrupos para serem usados na comunicação com a sociedade na forma de gráficos, mapas ou quadro, ou agregando em índices compostos.

## 6 Considerações finais

A gestão de recursos hídricos pressupõe a intencionalidade de ações orientadas para uma abordagem integrada num ambiente marcado pela mudança. A necessidade de envolvimento de atores da sociedade para o desenvolvimento, disseminação e implementação de indicadores relacionados à água, tem a finalidade de moldar novas iniciativas e subsidiar o processo de gestão dos recursos hídricos.

A proposta de considerar as propriedades dos indicadores que compõem o modelo FPEIR segue no esforço de estabelecer uma condição que leve em consideração a gestão sustentável da água, tendo em vista o reconhecimento desse recurso como escasso. A esse respeito, o modelo FPEIR como instrumento de avaliação integrada e os seus indicadores são de fundamental importância por permitir uma visão integrada e holística. Aplicado à gestão de recursos hídricos pode contribuir para o monitoramento e segurança da água levando em conta as externalidades, para a elaboração de diretivas propositivas que garantam uso eficiente, qualidade, tratamento e práticas de proteção e conservação da água.

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## Referências

ALTOÉ, P. S. **Agrotóxicos no Estado do Espírito Santo**: uma análise das questões legais e dos efeitos nas águas superficiais do Rio Jucu causados pelo herbicida glifosato. 121 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia e Desenvolvimento Sustentável) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2018.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

- ANA. Agência Nacional de Águas. **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília: ANA, 2019a. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>>. Acesso em: 26 mar. 2020.
- ANA. Agência Nacional de Águas. **Coeficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada**. Brasília, DF, 2019b. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/1iPWoiUkjd-gBfS6-ZRzEg2zWmxRs1Ibov/view>. Acesso em: 29 jul. 2020.
- AVELINO, I. I. F. **Estudos ambientais em Bacias Hidrográficas**: A utilização do modelo Força Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta. 81 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.
- AZEVEDO, J. **Ferramenta para Análise de Dados Socioeconômicos e Ambientais para Definição de Políticas Públicas**. Estudo de Caso: Bacia Ambiental do Rio Imboassú, Município de São Gonçalo/RJ. 200 f. Tese (Doutorado em Geociências - Geoquímica) - Universidade Federal Fluminense, 2006.
- BAKKER, K. **Water security**: research challenges and opportunities: *Science*, v. 337, ed. 6097, p. 914-915, 2012.
- BEEK, E.; ARRIENS, W. L. **Water security**: putting the concept into practice. Tecbackground papers nº 20. Global Water Partnership Technical Committee (TEC). Stockholm: Global Water Partnership (GWP), 2014.
- BORJA, A.; GALPARSORO, I.; SOLAUN, O.; MUXIKA, I.; TELO, E. M.; URIARTE, A.; VALENCIA, V. The European Water Framework Directive and the DPSIR, a methodological approach to assess the risk of failing to achieve good ecological status. **Estuarine - Coastal and Shelf Science**, v. 66, n.1-2, p. 84-96, 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Painel nacional de indicadores ambientais: referencial teórico, composição e síntese dos indicadores da versão-piloto, PNIA 2012. **Secretaria Executiva - SECEX, Departamento de Gestão Estratégica - DGE**. Brasília: MMA, 2014.
- CALDAS, A. L. R. **Método de diagnóstico para gestão participativa de recursos hídricos**: Estudo de caso e modelagem conceitual com enfoque DPSIR. 190 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, 2012.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F.; LIRA, W. S. **Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas**. In: Lira, W. S.; Cândido, G. A. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa. Campina Grande: EDUEPB, 31-80, 2013.

CHANG, H. Spatial analysis of water quality trends in the Han River basin, South Korea. **Water Research**, v. 42, n. 13, p. 3285-3304, 2008.

CORRÊA, M. A.; TEIXEIRA, B. A. N. Developing sustainability indicators for water resources management in Tietê-Jacaré basin, Brazil. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 7, n. 1, p. 8-14, 2013.

CRESWELL, J. W. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

CB-PCJ. Comitê das bacias PCJ. **Relatório Final – R8. Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010 a 2020 com propostas de atualização de enquadramento dos corpos d'água e de Programa para Efetivação do Enquadramento dos corpos d'água até o ano de 2035**. Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2019.

DUNN, G.; BAKKER, K. Canadian approaches to assessing water security: an inventory of indicators. **Policy Report**, 2009. Disponível em: <http://watergovernance.ca/files/2010/03/IndicatorsReportFINAL1.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2020.

EEA. European Environment Agency. Environmental indicators: Typology and overview. **Technical Report**, n. 25, 1999.

FELINTO, C. M. R. **Aplicação do sistema de indicadores de sustentabilidade força motriz-pressão-estado-impacto-resposta (FPEIR) para a gestão de recursos hídricos em João Pessoa – PB**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, 2016.

FELINTO, C. M. R.; RIBEIRO, M. M. R. R.; BRAGA, C. F. C. Aplicação do Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR) para Gestão dos Recursos Hídricos em João Pessoa-PB. **Revista DAE**, v. 67, n. 218, 118-136, 2019.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1999.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

GOMES, P. R.; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 8, n. 2, p. 151-169, 2012.

GONÇALVES, M. A. **Ecohidrologia e gestão integrada de recursos hídricos em uma bacia lacustre costeira (Lago Nova, Linhares, ES)**. 180 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Segurança hídrica para um planeta sob pressão: transição para a sustentabilidade: desafios interligados e soluções**. Transição para a sustentabilidade: desafios interligados e soluções. The International Project Office of the Global Water System Project, 2012. Disponível em: <[http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water\\_FINAL\\_LR-portugues.pdf](http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water_FINAL_LR-portugues.pdf)>. Acesso em: 10 jun. 2020.

LANDIM NETO, F. O. **Aplicação do modelo DPSIR na bacia hidrográfica do Rio Guaribas, Ceará, Brasil**: Subsídios para a gestão ambiental local. 173 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará, 2013.

LANDIM NETO, F. O. **Aplicação de indicadores de modelo força motriz pressão, estado, impacto, resposta – DPSIR**: Subsídios para o planejamento e gestão de bacia hidrográfica do Rio São Gonçalo- CE. 247 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Ceará, 2016.

LELIS, T. A.; CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; LIMA, D. C. DE; ROCHA, E. O. Análise de sensibilidade e calibração do modelo SWAT aplicado em bacia hidrográfica da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 2, p. 623-634, 2012.

MACHADO, F. H. **Proposição de Indicadores de Segurança Hídrica: Seleção, Validação e Aplicação na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim, Jundiá – SP, Brasil**. 255 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2018. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/153669>. Acesso em: 10 abr. 2020.

MALHEIROS, T. F.; CORTES, A. D. M.; COELHO, B.L.; MOREIRA, R. M. **Indicadores de sustentabilidade aplicados à gestão de recursos hídricos**. In: PHILIPPI JR., A.; SOBRAL, M.C. *Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade*. Barueri, SP: Manole, p. 879-907, 2019.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

MALHEIROS, T. F.; COUTINHO, S. M. V.; PHILIPPI JR, A. **Indicadores de sustentabilidade**: uma abordagem conceitual. In: PHILIPPI JR., A.; MALHEIROS, T.F. Indicadores de sustentabilidade e gestão ambiental. Barueri, SP: Manole, p. 31-76, 2012.

MEADOWS, D. **Indicators and Information Systems for Sustainable**: A Report to the Balaton Group. The Sustainable Institute, 1998. Disponível em: [http://www.biomimicryguild.com/alumni/documents/download/Indicators\\_and\\_information\\_systems\\_for\\_sustainable\\_development.pdf](http://www.biomimicryguild.com/alumni/documents/download/Indicators_and_information_systems_for_sustainable_development.pdf). Acesso em: 15 jun. 2018.

MELO, M. C. DE. **Segurança Hídrica para Abastecimento Urbano**: Proposta de modelo analítico e aplicação na Bacia do Rio das Velhas, Minas Gerais. 525 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/doutorado/2016-1/2874-melo-mc-td-16-2>. Acesso em: 08 jun. 2020.

MELO, M. C.; JOHNSON, R. M. F. O Conceito Emergente de Segurança Hídrica. **Sustentare**, v. 1; n. 1, p. 72-92, 2017. Disponível em: [http://periodicos.unincor.br/index.php/sustentare/article/view/4325/pdf\\_5](http://periodicos.unincor.br/index.php/sustentare/article/view/4325/pdf_5). Acesso em: 01 jun. 2020.

NIEMEIJER, D.; DE GROOT, R. S. Framing environmental indicators: moving from causal chains to causal networks. **Environment, Development and Sustainability**, v. 10, n. 1, p. 89-106, 2008.

NUNES, E.; FADUL, E.; SANTOS CERQUEIRA, L. Descentralização na gestão das águas: um processo ainda em construção? **Administração Pública e Gestão Social**, v. 11, n. 3, 2019. Universidade Federal de Viçosa, Brasil. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=351559268002>. Acesso em: 05 out. 2019.

OCDE. Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico. **Environmental Indicators**: towards sustainable development. OECD Publishing, 2001. Disponível em: <https://www.OCDE.org/site/worldforum/33703867.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2020.

OCDE. Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico. **OECD environmental indicators**: development, measurement and use. Reference Paper. OECD Publishing, 2003. Disponível em: <http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2019.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

OCDE. Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico. **Water security for better lives: a summary for policymakers**. OECD Publishing, 2013. Disponível em: <https://www.oecd.org/publications/water-security-9789264202405-en.htm>. Acesso em: 18 jul. 2020.

OCDE. Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico. **Governança dos Recursos Hídricos no Brasil**, OCDE Publishing, 2015. Disponível em: <https://www.OCDE.org/publications/governanca-dos-recursos-hidricos-no-brasil-9789264238169-pt.htm>. Acesso em: 18 jul. 2020.

OCDE. Organização de Cooperação e de Desenvolvimento Econômico. **Freshwater resources in environment at a glance indicators**. OCDE Publishing, 2019. Disponível em: <https://www.OCDE-ilibrary.org/sites/9e25b016-en/index.html?itemId=/content/component/9e25b016-en#section-d1e2946>. Acesso em: 18 jul. 2020.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Agenda 21- Capítulo 40: Informação para a tomada de decisões**, 1992. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global/item/720.html>. Acesso em: 22 set. 2019.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development**. 2015. Disponível em: [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030 Agenda for Sustainable Development web.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf). Acesso em: 22 nov. 2017.

PINTÉR, L.; HARDI, P.; MARTINUZZI, A.; HALL, J. Bellagio STAMP: Principles for sustainability assessment and measurement. **Ecological Indicators**, v. 17, p. 20–28, 2011. Disponível em: <http://www.envsci.ceu.hu/>. Acesso em: 6 mar. 2019.

PNUMA. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. **Metodologia para a elaboração de Relatórios GEO Cidades**. Manual de Aplicação. Versão 2. Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente Escritório Regional para a América Latina e o Caribe. Rio de Janeiro: PNUMA, 2004.



III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

PORTO, D. T.; BASSO, L. A.; STROHAECKER, T. M. Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Mampituba, Região Sul do Brasil, utilizando a matriz FPEIR. **Geosul**, v. 34, n. 72, p. 28- 50, 2019.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. LA L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estud. av.**, v. 22, n. 63, p. 43- 60, 2008.

RAPPORT, D.; FRIEND, A. **Towards a comprehensive framework for environmental statistics: A stress-response approach**. Catalogue (Statistics Canada). Ottawa: Minister of Supply and Services Canada, 1979.

SALES, J. C. A. **Metodologia de análise integrada de indicadores ambientais em bacias hidrográficas**. 210 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2019.

SILVA, L. M. **Indicadores ambientais e a gestão de bacias hidrográficas de economia agrícola: diagnóstico e reflexões sobre o caso da bacia do rio Preto, noroeste de Minas Gerais**. 249 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

SMA-SP. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. **Situação dos recursos hídricos no estado de São Paulo: ano base 2007**, Governo do Estado de São Paulo; Secretaria do Meio Ambiente; Coordenadoria de Recursos Hídricos. São Paulo: MA/CRH, 2009. Disponível em: [goo.gl/ZfQGsO](http://goo.gl/ZfQGsO). Acesso em: 15 mai. 2020.

SINIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **SNIS - Série Histórica**, [banco de dados on line]. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, Ministério das Cidades - MCID. Brasília: SNIS, n. d. Disponível em: <http://app.cidades.gov.br/serieHistorica/>. Acesso em: 25 jun. 2019.

SOARES, A. B.; SILVA FILHO, J. C. L.; ABREU, M. C. S.; SOARES, F. DE A. Revisando a estruturação do Modelo DPSIR como Base para um Sistema de Apoio à Decisão para a Sustentabilidade de Bacias Hidrográficas. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 4, n. 3, p. 521–545, 2011. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/1922/1300>. Acesso em: 14 nov. 2019.





III *Sustentare* – Seminários de Sustentabilidade da PUC-Campinas  
VI WIPIS – Workshop Internacional de Pesquisa em Indicadores de Sustentabilidade  
16 a 18 de novembro de 2021

- TANAKA, M. O.; SOUZA, A. L. T. DE; MOSCHINI, L. E.; OLIVEIRA, A. K. DE. Influence of watershed land use and riparian characteristics on biological indicators of stream water quality in southeastern Brazil. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 216, p. 333-339, 2016.
- TEUBNER JUNIOR, F. J. **Aportes de água e nutrientes para o sistema estuarino da Baía de Vitória (ES)**: Subsídios para a gestão ambiental integrada. 304 f. Tese (Doutorado em Oceanografia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, 2016.
- TUCCI, C. E. M.; CHAGAS, M. DE F. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina**. Porto Alegre, v. 1 e12, 1-16, 2017.
- UN. United Nations. **Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies**. 3 ed., New York: United Nations, 2007.
- UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura. **Water Security**, 2020. Disponível em: <https://en.unesco.org/themes/water-security>. Acesso em: 10 jun. 2020.
- VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. 2. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- VEIGA, J. E. DA. **Desenvolvimento Sustentável: O desafio do século XXI**. Rio de Janeiro, RJ: Ed. Garamond, 2010.
- ZARE, F.; ELSAWAH, S.; BAGHERI, A.; NABAVI, E.; JAKEMAN, A. J. **Improved integrated water resource modelling by combining DPSIR and system dynamics conceptual modelling techniques**. **Journal of Environmental Management**, v. 246, p. 27-41, 2019.