



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

MÉTODO FPEIR APLICADO À GESTÃO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

Denise H. Lombardo Ferreira, lombardo@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

Lucas A. Gomes do Carmo, lucasagcarmo@gmail.com, PUC-Campinas

Cibele Roberta Sugahara, cibelesu@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

Jakeline Pertile Mendes, jakeline.pm@puc-campinas.edu.br, PUC-Campinas

Débora Akemi Ide Zancanela, deh_ide@hotmail.com, PUC-Campinas

Maria Luisa Damas Silva, marialuisa_damas@hotmail.com, PUC-Campinas

Resumo

De modo geral, as bacias hidrográficas brasileiras vêm sofrendo várias ameaças provenientes da ação antrópica, podendo afetar a disponibilidade da água para diversos usos. Os indicadores de sustentabilidade representam uma ferramenta poderosa para identificar e monitorar problemas de água. Nesse contexto, a pesquisa visa estudar o método FPEIR (Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) aplicado à gestão de bacias hidrográficas, a fim de verificar como subsidiar a gestão das bacias. Para isso foi realizado um estudo sobre o método FPEIR aplicado às bacias hidrográficas, no sentido de estudar os parâmetros utilizados nas bacias hidrográficas. O estudo realizado sobre os indicadores ambientais de sustentabilidade relacionados ao método FPEIR aplicados às bacias hidrográficas permitiu uma visão integrada dos parâmetros utilizados na gestão das bacias hidrográficas.

Palavras-chave: Recursos hídricos, Indicadores de sustentabilidade, Modelo FPEIR.

1. Introdução

A atividade humana impacta o ecossistema e seus recursos ambientais desde os primórdios da industrialização na Inglaterra, no século XVIII. Este cenário vem se intensificando, juntamente com os avanços tecnológicos e o crescimento populacional, adicionado à falta de conscientização da sociedade.

Conforme Hawken, Lovis e Lovis (2007), o processo de produção e de consumo em massa no mundo atual, e os fatores decorrentes, como industrialização acelerada, concentração



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

espacial, modernização agrícola, expressivo crescimento populacional e crescente urbanização, alterações climáticas, esgotamento de recursos produtivos, escassez de água, poluição do solo, água e ar, compõem os principais pontos de pressão e conscientização humana sobre a problemática ambiental global.

A inquietação com o consumo desenfreado que vem ocorrendo nos últimos anos culminou, em setembro de 2015, no encontro de mais de 150 líderes mundiais em Nova York, na sede da Organização das Nações Unidas (ONU) para definir uma nova agenda de Desenvolvimento Sustentável. A nova Agenda é composta por 17 objetivos que devem ser implementados até o ano 2030 com a finalidade de corrigir os problemas causados pelo homem. Tais objetivos buscam um equilíbrio entre as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental.

O recurso água é fundamental para a permanência da vida humana, no entanto, esse recurso tem sofrido um processo acelerado de deterioração. Em 1993 foi criado o Comitê das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (CBH- PCJ), e com uma equipe especializada, tem cada vez mais se esforçando para atender seus objetivos. O Comitê de Bacia Hidrográfica é "um fórum em que um grupo de pessoas se reúne para discutir sobre um interesse comum - o uso d'água na bacia" (ANA, 2011, p. 11).

As Bacias Hidrográficas representam importância na relevância da tomada de decisões para elaboração de políticas públicas, de planejamento e de gestão territorial. De acordo com Soares et al. (2011), o processo de tomada de decisão da gestão de comitês de gerenciamento de bacias hidrográficas ao usar o modelo DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact and Response), ou FPEIR (Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta), proposto pela European Environmental Agency (EEA) e adotado pela Water Framework Directive (WFD) da União Europeia (EU) abrange o conceito de sustentabilidade amplo, baseado no tripé da sustentabilidade - ambiental, econômico e social.

Nesse contexto, a pesquisa proposta consiste em estudar o método FPEIR aplicado à gestão de bacias hidrográficas, a fim de verificar como subsidiar a gestão das bacias.

2. Metodologia



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

O método FPEIR (Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta) ou DPSIR (em inglês, *Driving Forces, Pressures, State, Impact and Response*) tem sido aplicado à gestão das bacias hidrográficas. Soares et al. (2011) destacam que o modelo de avaliação integrado do meio ambiente define valores para as atividades humanas, os indicadores de Força Motriz refletem as influências do homem e das atividades humanas que, quando combinadas com as condições ambientais, provocam mudanças no meio ambiente; de Pressão descrevem as variáveis que diretamente causam (ou podem causar) problemas ambientais; de Estado mostram a qualidade, ou seja, a atual condição do ambiente; de Impacto descrevem os efeitos das mudanças de estado; e de Resposta descrevem o esforço da sociedade para resolver os problemas, sejam eles na forma de políticas, leis, tecnologias limpas, dentre outros.

De acordo com Comitês PCJ (2019), a partir de 2007, os relatórios passaram a ser publicados de acordo com um conjunto de indicadores organizados na matriz FPEIR (Força-Motriz, Pressão, Estado, Impacto e Resposta).

O modelo FPEIR em geral é usado para descrever as relações entre as origens e as consequências dos problemas ambientais (EEA, 1999). Para Felinto *et al.* (2019), o modelo FPEIR representa a união entre as perspectivas econômica e ambiental do desenvolvimento sustentável.

Os indicadores de **Força-Motriz** abrangem aspectos relativos às atividades humanas, como: Taxa Geométrica de Crescimento Anual, Densidade Demográfica e Índice Paulista de Responsabilidade Social.

Os indicadores de **Pressão** tratam dos fatores decorrentes do desenvolvimento das atividades que podem afetar a qualidade e/ou a quantidade dos recursos hídricos, como por exemplo: consumo de água, produção de esgoto e produção de resíduos sólidos e áreas contaminadas. Os parâmetros considerados são: demanda de água; usos múltiplos da água; saneamento urbano e rural; erosão e assoreamento; áreas contaminadas.

Os indicadores de **Estado** abrangem os critérios associados à quantidade e à qualidade dos recursos hídricos. Os parâmetros considerados são: qualidade das águas superficiais, subterrâneas, litorâneas e para abastecimento; desconformidade em relação ao enquadramento; déficits dos sistemas de saneamento; enchentes e estiagem.



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

Os indicadores de **Impacto** expressam os problemas que decorrem da situação do estado dos recursos hídricos. Os parâmetros considerados são: doenças de veiculação hídrica e restrição de balneabilidade; danos à vida aquática; conflitos na exploração e uso da água; custo de interrupção no fornecimento da água.

Os indicadores de **Resposta** agrupam as respostas da sociedade aos problemas existentes, apontando os índices de cobertura de rede coletora e de redução da carga orgânica, bem como as condições de disposição final de resíduo sólido domiciliar e de áreas contaminadas. Os parâmetros considerados são: melhorias e ampliação dos sistemas de saneamento; remediação de áreas contaminadas; outorgas, monitoramento e fiscalização dos usos da água; recuperação de áreas degradadas.

3. Indicadores de Sustentabilidade

Um indicador é definido como “um parâmetro, ou valor derivado de parâmetros, capaz de transmitir informação ou descrição do estado de determinado fenômeno” (OECD, 2003, p. 5).

Os indicadores devem ser relevantes para a sociedade, mensuráveis, apresentar dados confiáveis, ser de fácil entendimento e ser transparentes. Segundo Siena (2002), os indicadores são aplicados para acompanhar sistemas complexos, são sinais de eventos, são dados que apontam as características ou o que está acontecendo com o sistema podendo ser uma variável ou uma função de variáveis.

Meadows (1998) postula que indicadores são parte do fluxo de informação usados para compreender o mundo, planejar ações e tomar decisões, sendo possível monitorar e exercer algum controle nos sistemas complexos que são socialmente relevantes.

Conforme Waas et al. (2014) um indicador é considerado como uma representação operacional de um atributo do sistema que pode ser uma variável quantitativa ou qualitativa com um nível de referência comparável.

Para o IBGE (2015), os indicadores ambientais, sociais, econômicos e institucionais podem auxiliar no monitoramento da sustentabilidade, e como consequência fornecer subsídios para planejar e formular políticas públicas em direção ao desenvolvimento sustentável.



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

Os indicadores ambientais, segundo o EEA (1999) propõem três principais objetivos para o monitoramento: 1. fornecimento de informações sobre problemas ambientais para permitir que os formuladores de políticas valorizem a seriedade; 2. apoio no desenvolvimento de políticas, estabelecendo prioridades, identificando os principais fatores que pressionam o meio ambiente; 3. monitoramento dos efeitos das respostas políticas.

A seleção correta de indicadores é uma etapa importante para a eficácia de qualquer uso subsequente. Para indicadores ambientais, esperam-se certas características de acordo com OECD (2003), apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características desejáveis para indicadores ambientais

Características desejáveis	Descrição
Relevância política e utilidade:	Representa as condições ambientais, pressão sobre o ambiente e respostas social associada
	Simple, fácil de interpretar e capaz de refletir tendências temporais
	Reflete mudança ambiental
	Afetada por atividades antrópicas
	Fornecer bases para comparação internacional
	Âmbito nacional
	Âmbito regional com importância nacional
Clareza analítica:	Possível determinar níveis de referência para comparação
	Baseado em aspectos teóricos, técnicos e/ou científicos
	Baseado em regras e/ ou acordos, possuindo validade internacional
	Conectados a modelos econômicos
Medidas e dados:	Conectados a sistemas de previsão e informação
	Disponível com razão custo-benefício adequada
	Documentado com qualidade
	Dados atualizados disponíveis em intervalos regulares
	Dados coletados com procedimento estabelecido

Fonte: OECD (2003).



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 OECD (2008) propõe critérios de seleção de indicadores e destaca que estes devem guiar a tomada de decisão sobre se um indicador poder ou não ser incluído em um índice. Um indicador deve ser o mais preciso possível e descrever o fenômeno em análise em termos de entrada, saída ou processo.

De acordo com Meadows (1998), os indicadores de sustentabilidade devem ir além dos indicadores ambientais na capacidade de informar a respeito do futuro e limites do ambiente biofísico. Todavia, devido à relevância dos indicadores de desenvolvimento sustentável, é necessário evitar vieses que possam falhar na identificação de tendências sistêmicas. Devem-se considerar pontos fortes e fracos, quando os indicadores puderem levar a reações superficiais ou extremas por partes dos tomadores de decisão.

Segundo Silva et al. (2020, p. 7) os exemplos de vieses a serem evitados são:

- 1) Excessiva agregação de fatores, que podem levar a mensagens ocultas;
- 2) Medição, que pode ocorrer quando o foco está mais nos aspectos mensuráveis que nos aspectos importantes;
- 3) Base conceitual errada, se uso do indicador for guiado por um modelo falso;
- 4) Falsificação, que é a alteração deliberada de resultados;
- 5) Alienação, se um indicador desvia a atenção ou altera a condição real;
- 6) Confiança excessiva, quando um indicador gera pensamento positivo sobre o que está em estudo, apesar dos problemas existentes;
- 7) Incompletude, quando os indicadores não refletem todas as características do sistema;

Meadows (1998) propôs que a seleção de indicadores deve utilizar um processo racional de identificação de características, para evitar a ocorrência e o efeito de tais vieses. Demonstram-se no Quadro 2, as seguintes características a serem evitadas, a ocorrência e o efeito de vieses nos indicadores.



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

Quadro 2 – Características desejáveis a serem evitadas na ocorrência e no efeito de vieses nos indicadores.

Características desejáveis	Descrição
Claro em valor:	Permite a identificação de bons e maus resultados
Claro em conteúdo:	Compreensível, expresso em unidades que fazem sentido
Convincente:	Permite a compreensão
Relevância política:	Relevante para os acionistas
Factível:	Mensurável a um custo razoável
Suficiente:	Informa adequadamente
Apropriado no tempo:	Compilado de maneira atualizad
Adequado em escala:	Nível de agregação adequado
Democrático:	Participação na seleção e acesso aos resultados
Suplementar:	Mede o que os indivíduos não conseguem medir por si próprios
Participação:	Usa o que é mensurável de forma a fornecer uma visão geográfica e temporal
Hierárquico:	Permite análises aprofundadas subsequentes, fornecendo informações gerais de forma relativamente rápida
Físico:	Mensurável em unidades físicas ou com significado físico
Direta:	Fornecer informações em tempo hábil para agir
Experimental:	Pode ser debatido e sujeito a investigação e refinamento

Fonte: Meadows (1998).

Sachs (2009) e Veiga (2010a) partem da hipótese da necessidade de relacionar o consumo com a manutenção e preservação dos recursos naturais, de modo a não comprometer a disponibilidade desses recursos para as gerações futuras. Para alcançar o desenvolvimento sustentável, Veiga (2010b) esclarece a importância de se estabelecer bons indicadores, que atendam as dimensões econômicas, ambientais e sociais.

A ONU (2007) utilizou os seguintes critérios de seleção para sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável, disponíveis no Quadro 3.



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

Quadro 3 - Critérios de seleção para sistemas de indicadores de desenvolvimento sustentável.

Critérios	Descrição
Contexto:	Escala nacional
Relevância:	Capaz de avaliar o progresso do desenvolvimento sustentável
Número:	Limitado (aberto e adaptável)
Especificidade:	Ampla alcance em termos dos aspectos da Agenda 21
	Ampla alcance em termos de aspectos de desenvolvimento sustentável
Compreensível:	Claro e inequívoco
Conceito:	Possui uma base conceitual
	Capacidade de capturar fenômenos relevantes
	Não distorce os resultados
Consenso:	Representa consenso internacional
Capacidade governamental:	Permite o monitoramento e coleta, análise, síntese e interpretação de dados
Dados:	Custo-efetividade da medição;
	Qualidade

Fonte: ONU (2007).

Segundo Booyesen (2002) e Singh et al. (2012), a seleção de indicadores deve ser feita baseada na capacidade de medir um aspecto relevante do problema numa maneira intertemporal e transversal, seja em termos absolutos ou relativos. Isso pode envolver entradas e saídas, porém deve ser simples e claro no conteúdo, propósito, método de aplicação, capacidade de comparação e foco.

Baseado nos debates sobre a seleção de indicadores é possível concluir alguns critérios propostos para a seleção de indicadores como apresentados no Quadro 4.



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

Quadro 4 - Critérios propostos para a seleção de indicadores

Critérios de seleção	Definição
Relevância política:	Gerar engajamento social
Confiabilidade dos dados:	Dados disponíveis e validados
Relevância para gestão:	Útil para planejar, executar e monitorar o desenvolvimento sustentável
Econômico:	Disponível em uma relação custo-benefício adequada

Fonte: Silva et al. (2020, p. 8).

4. Resultados

A seguir são apresentados e discutidos os indicadores de cada categoria do modelo FPEIR.

4.1. Parâmetros da Categoria Força-Motriz

Os parâmetros utilizados na categoria Força-Motriz são: Taxa Geométrica de Crescimento Anual (TGCA), Crescimento Populacional, Densidade Demográfica e Índice Paulista de Responsabilidade Social.

A Taxa Geométrica de Crescimento Anual (TGCA) é usada para verificar se a demanda por água pode ser satisfeita. O cálculo da TGCA representa o crescimento médio populacional de uma região em um período de tempo e pode ser obtida pela Equação 1:

$$TGCA = [(Pt/Po)^{1/n} - 1] * 100 \quad (1)$$

onde Pt é a população total e Po a população no início do período considerado, n é o número de anos do intervalo escolhido (SEADE, 2020). Os dados da população podem ser obtidos no site do IBGE, assim como a área do município.

O indicador Densidade Demográfica possibilita saber se há uma concentração da população ou uma dispersão em determinada localidade. A obtenção da densidade demográfica (hab./km²) é obtida pela divisão da população total pela área da região analisada (país, cidades, municípios) (SEADE, 2020), Equação 2.

$$Densidade\ demográfica = n^{\circ}\ de\ habitantes/km^2 \quad (2)$$

O indicador Índice Paulista de Responsabilidade Social (IPRS) representa a utilização



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

dos recursos naturais e a degradação ambiental e podem estar associadas às características socioeconômicas de uma região. Para a composição do IPRS são utilizados os seguintes parâmetros: riqueza, longevidade e escolaridade. O IPRS é obtido a partir do site SEADE para os municípios do Estado de São Paulo para os anos de 2014, 2016 e 2018.

As Forças Motrizes representam as demandas humanas e os estilos de vida usados pela população que podem gerar Pressões no meio ambiente. O crescimento populacional e o Índice Paulista de Responsabilidade Social que agrega os parâmetros riqueza, longevidade e escolaridade, podem gerar maior demanda de água e conseqüentemente exercer Pressões nas bacias hidrográficas. As ações do poder público, privado e da sociedade podem atuar no sentido da prevenção dos parâmetros relacionados às Forças Motrizes.

4.2. Parâmetros da Categoria Pressão

Os parâmetros considerados para a categoria Pressão são: demanda por água; volume de água produzido; usos múltiplos da água; saneamento urbano e rural; erosão; áreas contaminadas.

O indicador Demanda de água é essencial para gerir os recursos hídricos, pois reflete a pressão direta sobre a disponibilidade hídrica, representa o consumo de água (m^3/s) superficial captados nos rios da União, calculado através da vazão outorgada pela ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (SEADE, 2020).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) possibilita obter informações sobre o Índice de Consumo de Água (%), código IN052, para os municípios brasileiros no período de 1995 a 2019, bem como informações do Indicador Volume anual de água consumido por todos os usuários ($1000 m^3/s$), código AG010 e o Volume de Água Produzido, código AG006, que representa o volume anual de água disponível para consumo ($1000 m^3/s$).

As Pressões representam as atividades humanas que afetam o meio ambiente, que por sua vez podem modificar o Estado do meio ambiente quanto às condições físicas, químicas e biológicas. As Pressões no meio ambiente que ocorrem devido à demanda por água, ao volume de água disponibilizado, ao saneamento urbano e rural, à erosão e às áreas contaminadas podem modificar o Estado do meio ambiente e conseqüentemente exigindo maior disponibilidade das



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

bacias hidrográficas como também a degradação dessas bacias. As ações do poder público, privado e da sociedade podem atuar no sentido da mitigação dos parâmetros relacionados as Pressões.

4.3. Parâmetros da Categoria Estado

Na categoria Estado os parâmetros considerados são: qualidade das águas superficiais, subterrâneas, litorâneas e para abastecimento; desconformidade em relação ao enquadramento; déficits dos sistemas de saneamento; enchentes e estiagem; disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas.

O parâmetro Índice de Qualidade das Águas (IQA) faz parte do indicador qualidade das águas superficiais, esse índice considera variáveis de qualidade que indicam o lançamento de efluentes sanitários em corpos d'água, possibilitando uma visão geral sobre as condições de qualidade das águas superficiais. O valor do IQA é calculado a partir de nove parâmetros considerados relevantes para a avaliação de qualidade das águas: pH, temperatura, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, *Escherichia coli*/coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e turbidez.

A Rede de Monitoramento da CETESB avalia as variáveis químicas, biológicas e físicas, fornecendo uma visão global da condição dos corpos hídricos do Estado de São Paulo. Além de permitir identificar áreas prioritárias para o controle da poluição das águas e elaborar diagnóstico das águas usadas para abastecimento público.

O IQA é obtido pelo relatório “Qualidade das águas interiores no Estado de São Paulo” e sua unidade é um valor entre 0 e 100, sendo que a pontuação 100 indica a qualidade da água com melhores condições (CETESB, 2020).

O Índice de Qualidade das Águas Brutas para fins de Abastecimento Público (IAP) justifica-se, pois além das variáveis consideradas no IQA, avalia também as substâncias tóxicas e as variáveis que afetam a qualidade organoléptica da água advinda principalmente de fontes difusas. Esse parâmetro é composto pelo Índice de Qualidade de Água (IQA) e o Índice de Substâncias Tóxicas e Organolépticas.



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

Esses indicadores possibilitam monitorar aportes significativos de compostos complexos oriundos de fontes difusas (agrotóxicos, industrialização). Esses compostos podem causar riscos à saúde humana, sendo de essencial importância o seu monitoramento.

A qualidade das águas subterrâneas utiliza a Concentração de Nitrato e o Indicador de Potabilidade das Águas Subterrâneas (IPAS). As águas subterrâneas para abastecimento público recebem apenas a cloração para tratamento da água, sendo de extrema importância que se monitore as concentrações de Nitrato. As concentrações de Nitrato acima de 10 mg/l podem causar metahemoglobinemia (cianose) e câncer gástrico. Esse índice pode ser obtido pelo “Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo”, a unidade é número de amostras/ponto monitorado *versus* valor de referência (CETESB, 2020).

O índice de perdas do sistema de distribuição é o percentual estimado de perdas do sistema público de abastecimento de água. Seu uso é justificado porque o controle do índice de perdas na distribuição de água é de grande importância para a gestão dos recursos hídricos, devido aos problemas de atendimento da demanda. O SNIS contém informações sobre esse indicador através dos códigos: IN049 – Índice de perdas na distribuição, IN050 – Índice bruto de perdas lineares e IN051 – Índice de perdas por ligação.

O indicador disponibilidade de água pode ser obtido no site do SNIS pelos códigos: AG006 – Volume de água produzido, AG007 – Volume de água tratada em ETAS e AG016 – Volume de água importado. Todos esses indicadores estão disponíveis na unidade 1000 m³/s.

O indicador enchente representa a ocorrência de enchentes ou inundações e como consequência resulta em perdas humanas e materiais, interrupção de atividade econômica e social nas áreas inundadas, contaminação por doenças de veiculação hídrica e contaminação da água. Esse indicador é obtido no “Diagnósticos dos Serviços de Águas Pluviais”, cuja unidade é n° de ocorrências/ano (SNIS, 2012).

O Estado representa a situação do meio ambiente quanto às condições físicas, químicas e biológicas dos recursos naturais que podem gerar Impactos nos efeitos e mudanças do meio ambiente. A qualidade e a disponibilidade de águas superficiais e subterrâneas, os déficits dos sistemas de saneamento e as enchentes ou estiagens podem prejudicar a gestão dos recursos



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

hídricos. As ações do poder público, privado e da sociedade podem atuar no sentido da restauração dos parâmetros relacionados ao Estado ao descrever e informar as condições físicas, químicas e biológicas dos recursos naturais.

4.4. Parâmetros da Categoria Impacto

Nesta categoria Impacto consideram-se: doenças de veiculação hídrica e restrição de balneabilidade; danos à vida aquática; conflitos na exploração e uso da água; custo de interrupção no fornecimento da água.

O indicador doenças de veiculação hídrica, dentre as várias doenças desta classe, utiliza-se comumente a incidência de esquistossomose autóctone. A esquistossomose é uma das parasitoses humanas mais difundidas no mundo e a sua ocorrência está relacionada à ausência ou precariedade de saneamento básico. Trata-se de uma doença transmitida pelo contato da pele com ambientes contaminados (águas poluídas). O aumento da incidência da esquistossomose autóctone está ligado com a esquistossomose importada, isto é, associada à precariedade de saneamento básico e migrações de pessoas.

O site DataSUS disponibiliza dados das doenças de veiculação hídrica para o período 2008 a 2020 para os municípios brasileiros.

Os Impactos representam os efeitos e as mudanças que ocorrem no meio ambiente que por sua vez exigem Respostas do poder público e privado e da sociedade. Os parâmetros doenças de veiculação hídrica, os conflitos na exploração e uso da água e os custos de interrupção no fornecimento da água podem dificultar a gestão dos recursos hídricos. As ações do poder público, privado e da sociedade podem atuar no sentido da adaptação dos parâmetros relacionados aos Impactos ao fornecer condições adequadas para a saúde e disponibilidade de recursos.

4.5. Parâmetros da Categoria Resposta

Os parâmetros considerados na Categoria Resposta são: melhorias e ampliação dos sistemas de saneamento; remediação de áreas contaminadas; outorgas, monitoramento e fiscalização dos usos da água; recuperação de áreas degradadas.



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 o indicador melhorias e ampliação dos sistemas de saneamento há dois parâmetros: área ocupada por parques lineares e reservação para amortecimento de cheias.

O uso da área ocupada por parques lineares deve-se à Lei Federal nº 11.445/2007, na qual a drenagem e manejo das águas pluviais urbanas representam o conjunto de infraestrutura, atividades e instalações operacionais de drenagem urbana de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas nas áreas urbanas. A área total do município ocupada por parques lineares pode ser obtida no “Diagnósticos dos Serviços de Águas Pluviais Urbanas” (em mil km²) (SNIS, 2012).

A reservação para amortecimento de cheias deve-se à Lei Federal nº 11.445/2007. Esse parâmetro representa o volume total dos reservatórios de amortecimento em relação à área urbana do município, possibilitando quantificar a capacidade de reservação para conter cheias. As informações do indicador podem ser obtidas no “Diagnóstico dos Serviços de Águas Pluviais” (em m³/km²) (SNIS, 2012).

O controle da contaminação ambiental utiliza o parâmetro áreas remediadas, representa o número de áreas remediadas em que a contaminação atingiu o solo ou a água. Ele é usado porque a remediação das áreas contaminadas é uma medida de diminuição da contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais, assim esse parâmetro permite dimensionar a resposta em relação à pressão exercida pela contaminação de solos e águas. Esse indicador pode ser obtido através dos dados sobre remediação que são encaminhados pela CETESB (em número de áreas remediadas) (CETESB, 2020).

A vazão total outorgada para captações superficiais é o volume total outorgado para a captação de água de fontes superficiais, esse parâmetro é utilizado porque o conhecimento da demanda superficial outorgada é de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos, pois a outorga é um instrumento que assegura o controle qualitativo e quantitativo dos diferentes tipos de uso da água. Essa outorga é obtida pelos dados do “Banco de Outorgas”, em m³/s (DAEE, 2012; CRH, 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

A vazão total outorgada para captações subterrâneas é o volume total outorgado para a captação de água de fontes subterrâneas, esse parâmetro é usado, pois o conhecimento da demanda subterrâneas outorgada é essencial para a gestão dos recursos hídricos, porque a outorga é um instrumento que assegura o controle qualitativo e quantitativo dos diferentes tipos de uso da água. Esse parâmetro é obtido pelos dados do “Banco de Outorgas”, em m³/s (DAEE, 2012; CRH, 2012).

As outorgas para outras interferências em cursos d’água em corpos d’água que não envolvam captação de água ou lançamento, denominadas conjuntamente de “outras interferências” permitem avaliar o grau de implementação de outorga, ou seja, do controle sobre os diferentes usos dos recursos hídricos. Esse parâmetro permite avaliar o grau de implementação do instrumento de outorga de uso da água, através da quantificação das interferências, assim, de fundamental importância para a gestão dos recursos hídricos. Sua unidade é n° de outorgas e é obtido pelo “Banco de Outorgas” (DAEE, 2012; CRH, 2012).

A vazão outorgada para uso urbano/volume estimado para abastecimento urbano por sua vez é uma relação entre a vazão total outorgada para captações de água destinada ao uso urbano e o volume de água estimado para atender ao abastecimento urbano. O uso desse parâmetro justifica-se pois permite avaliar o grau de implantação do instrumento de outorga para o uso urbano, utilizando a comparação da vazão outorgada para este fim com a demanda urbana estimada, em % (DAEE, 2012; CRH, 2012; SNIS, 2012).

A densidade da rede de monitoramento fluviométrico é número de estações de monitoramento fluviométrico do DAEE, por 1.000 km² de área da bacia. O motivo de incluir esse parâmetro é que o índice fluviométrico abrange as medições de vazões e cotas dos rios. A densidade do monitoramento fornece informações relevantes para qualificar os dados referentes à pluviosidade e ao grau de resposta que o órgão responsável exerce em seu monitoramento. Esse parâmetro é encontrado nos dados encaminhados pelo DAEE, através da Diretoria de Recursos Hídricos, dado em n° de estações/1.000 km² (DAEE, 2012).

O Índice de Abrangência Espacial do Monitoramento (IAEM) avalia a representatividade da rede de monitoramento da qualidade da água. Consistindo numa análise multicriterial



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

composta basicamente por dois grupos de variáveis, ambientais e antrópicas fazendo uma correlação espacial baseada em cinco fatores, não avaliando somente a densidade de monitoramento. Esse parâmetro é utilizado porque a densidade de pontos de monitoramento (n° de pontos/km²) não abrange a pressão antrópica, e nem mesmo os resultados obtidos pelos pontos monitorados. Dessa forma, torna-se importante uma avaliação capaz de verificar a abrangência da rede de qualidade de forma espacial levando em consideração outros fatores além da extensão territorial, por exemplo, a pressão populacional, macro usos do solo agrupados no critério pressão antrópica, e correlacionado com as informações de qualidade da água disponíveis para a gestão das águas paulistas.

Os dados desse critério são obtidos pelo relatório de “Qualidade das águas superficiais no Estado de São Paulo”, fornecidos anualmente pela CETESB, e a classificação do parâmetro é entre 0 e 1 (CETESB, 2020).

As Respostas representam as melhorias e ampliação dos sistemas de saneamento, a remediação de áreas contaminadas, as outorgas, monitoramento e fiscalização dos usos da água e a recuperação de áreas degradadas. As Respostas podem aumentar a eficiência dos produtos e processos, e conseqüentemente beneficiando a gestão das bacias hidrográficas.

5. Considerações Finais

Os indicadores de sustentabilidade representam uma ferramenta poderosa para identificar e monitorar problemas de água, definir soluções e avaliar os resultados ou falhas de políticas, planos e programas. Esses indicadores contribuem com o monitoramento de questões, como o crescimento da população sem acesso à água potável e/ou saneamento básico, a demanda, exposição de águas poluídas e doenças de veiculação hídrica, relacionados aos desequilíbrios no acesso à água segura e limpa.

Tendo em vista a crescente ação antrópica e a escassez de água iminente, o modelo FPEIR apresenta-se de forma relevante na gestão de bacias hidrográficas, posto que ele agrega parâmetros, indicadores, informações e também dados acerca de categorias inerentes ao modelo e ao espaço geográfico, sendo de utilidade na gestão e avaliação dos recursos hídricos.



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

6. Agradecimentos

Esse estudo foi financiado parcialmente pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001.

7. Referências bibliográficas

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2011). **O Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é e o que faz?** Agência Nacional de Águas, Brasília: SAG, 2011.

BOOYSEN, F. An overview and evaluation of composite indices of development. **Soc. Indic. Res.**, v. 59, p. 115–151, 2002. <https://doi.org/10.1023/A:1016275505152>.

CETESB. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relação de áreas contaminadas e Reabilitadas**. Base de dados. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/>>. Acesso em: 30 out. 2020.

COMITÊS PCJ. **Relatório de Situação dos Recursos Hídricos**: versão simplificada (Ano Base 2018). Piracicaba: Fundação Agência das Bacias PCJ, 2019.

CRH. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação CRH nº 146 de 2012. Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, 2012.

DAEE. Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Cadastramento de pontos de erosão e inundação no Estado de São Paulo**, 2012. Disponível em: <<http://www.sigrh.sp.gov.br/planodebacias hidrograficas>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

EEA. European Environment Agency. Environmental indicators: Typology and overview. Luxembourg: **Technical report** n. 25, 1999. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>>. Acesso em: 15 mar. 2021.

FELINTO, C. M. R.; RIBEIRO, M. M. 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, p. 118-136, 2019. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.038>

HAWKEN, P.; LOVINS, A.; LOVINS, H. **Capitalismo Natural**: criando a próxima revolução industrial. São Paulo: Cultrix, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. E-book. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2020.



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

352p.

MEADOWS, D. **Indicators and information systems for sustainable development**: A report to the Ballaton Group. Hartland, VT, USA: The Sustainability Institute, 1998.

OECD. Organization for Economic Co-operation and Development. **Environmental Indicators: Development, Measurement and Use**. Organization for Economic Co-operation and Development. Reference Paper, 2003. Disponível em: <<http://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/24993546.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

OECD. Organisation for economic Co-operation and development. Handbook on constructing composite indicators. **Methodology and user guide**. OECD and joint research centre (JRC), 2008. Disponível em: <<https://www.oecd.org/sdd/42495745.pdf>>. Acesso em: 12 nov. 2020.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Indicators of sustainable development**: Guidelines and methodologies. New York: UN, 2007.

SACHS, I. **Caminhos para o desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009. 96p.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Informações dos Municípios Paulistas**. Disponível em: <<http://www.imp.seade.gov.br>>. Acesso em: 15 out. 2020.

SIENA, O. **Método para avaliar progresso em direção ao desenvolvimento sustentável**. Florianópolis. Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção (PPGEP). Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 2002.

SILVA, J. da.; FERNANDES, V.; LIMONT, M.; RAUEN, W. B. Sustainable development assessment from a capitals perspective: Analytical structure and indicator selection criteria. **Journal of Environmental Management**, v. 260, p. 110-147, 2020.

SINGH, R. K., MURTY, H. R., GUPTA, S. K., DIKSHIT, A. K. An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecol. Indicat.**, v. 15, n. 1, p. 281–299, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.01.007>.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Secretaria Nacional de Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto**, 2012. Brasília: MCIDADES. SNSA. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em: 12 nov. 2020.



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

SOARES, A. B. et al. 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.

VEIGA, J. E. da. **Desenvolvimento sustentável o desafio do século XXI**. 1. ed. Rio de Janeiro: Garamond, 2010a. 220p.

_____. Indicadores de Sustentabilidade. **Estud. Av.**, v. 24, n. 68, p. 39-52, 2010b.

WAAS, T.; HUGE, J., BLOCK, T.; WRIGHT, T.; CAPISTROS-BENITES, F.; VERBRUGGEN, A. Sustainability assessment and indicators: tools in a decision-making strategy for sustainable development. **Sustainability**, v. 6, p. 5512–5534, 2014. <https://doi.org/10.3390/su6095512>.