



## Avaliação da sustentabilidade ambiental, social e econômica de uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro

### *Assessment of environmental, social and economic sustainability of a hydrographic basin in the Brazilian semiarid region*

Eudilena Laurindo de MEDEIROS<sup>1</sup>, Camila Tâmires Alves OLIVEIRA<sup>1\*</sup>, Gustavo Gonzaga HENRY-SILVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFERSA), Mossoró, RN, Brasil.

\* E-mail de contato: camilatamires.alves@uece.br

Artigo recebido em 17 de janeiro de 2021, versão final aceita em 31 de maio de 2021, publicado em 17 de março de 2023.

**RESUMO:** O objetivo do presente estudo foi avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica da bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró (RN), semiárido brasileiro. A bacia foi dividida em quatro trechos: alto curso, médio curso superior, médio curso inferior e baixo curso. Os locais de amostragens foram distribuídos ao longo da bacia hidrográfica para obtenção dos valores das seguintes variáveis limnológicas: oxigênio dissolvido, nitrogênio total, fósforo total e coliformes termotolerantes. As informações relacionadas aos indicadores econômicos e sociais foram adquiridas junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. A sustentabilidade foi avaliada por meio do modelo conceitual implementado com o auxílio do software *Multisectorial, Integrated and Operational Decision Support System for Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale* (MULINO mDSS). Na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró o trecho mais sustentável foi o baixo curso, com menor amplitude de variação entre os escores das dimensões econômica, ambiental e social. Este trecho foi considerado como potencialmente sustentável, apresentando melhor desempenho nas dimensões social e econômica, no entanto, comparativamente, exibiu menor escore para a dimensão ambiental do que os demais trechos da bacia hidrográfica. Isto evidencia que o trecho de baixo curso possui maior desenvolvimento econômico e social, entretanto, apresenta mais problemas ambientais. O trecho de alto curso foi classificado como de baixa sustentabilidade. Já o trecho de médio curso superior se destacou na dimensão ambiental, mas por não apresentar escores proporcionais nas dimensões social e econômica, o seu índice geral foi de baixa sustentabilidade. O trecho de médio curso inferior apresentou média sustentabilidade. Assim, foi evidenciado que ambientes que são mais desenvolvidos economicamente tendem a apresentar mais problemas ambientais, entretanto, ainda podem ser considerados mais sustentáveis devido ao maior desenvolvimento econômico e social.

---

*Palavras-chave:* ecossistemas aquáticos; recursos hídricos; eutrofização; rio Apodi-Mossoró.

**ABSTRACT:** The objective of the present study is to evaluate the environmental, social and economic sustainability of the Apodi/Mossoró River hydrographic basin (RN) located in the Brazilian semiarid region. The basin was divided into four sections: *upper course*, *upper middle course*, *lower middle course*, and *lower course*. The sampling sites were distributed along the hydrographic basin to obtain the values of the following limnological variables: dissolved oxygen, total nitrogen, total phosphorus and thermotolerant coliforms. Information related to economic and social indicators was acquired from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). Sustainability was assessed using the conceptual model implemented with the aid of the software Multisectorial, Integrated and Operational Decision Support System for Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale (MULINO mDSS). In the Apodi/Mossoró river basin, the most sustainable stretch was the lower course, with less variation amplitude between the scores of the economic, environmental and social dimensions. This stretch was considered potentially sustainable, with better performance in the social and economic dimensions; however, comparatively, it showed lower score for the environmental dimension than the other sections of the hydrographic basin. This fact shows that the lower course section has greater economic and social development, however, presents more environmental problems. The upper course section was classified as having low sustainability. The upper middle course section stood out in the environmental dimension, but because it did not present proportional scores in the social and economic dimensions, its overall index was of low sustainability. The lower middle course section showed average sustainability. Thus, it was shown that environments that are more economically developed tend to have more environmental problems, however, they can still be considered more sustainable due to greater economic and social development.

*Keywords:* aquatic ecosystems; water resources; eutrophication; Apodi-Mossoró River.

## 1. Introdução

A bacia hidrográfica compreende estruturas e processos funcionais que resultam da interação entre a geomorfologia, hidrologia e os seus aspectos socioeconômicos (Barbosa et al., 2012). A conservação das bacias hidrográficas vem se tornando cada vez mais relevante, pois a proteção inadequada de seus recursos hídricos pode ocasionar a contaminação de águas subterrâneas e superficiais devido à poluição por metais, matéria orgânica e compostos nitrogenados e fosfatados, ocasionando a degradação ambiental e problemas para o desenvolvimento social e econômico da região (Moura & Henry-Sil-

va, 2015; Jabłońska-Czapla *et al.*, 2016; Pavão & Nascimento, 2019).

A sustentabilidade é por definição e por necessidade um conceito abrangente (Osmundsen *et al.*, 2020), assim, o conceito de sustentabilidade envolve ambientes habitáveis que se mantêm ao longo do tempo (WCED, 1987). A sustentabilidade envolve três pilares: o econômico, o social e o ambiental (Zarghami & Fatourehchi, 2020), significando que, para um ambiente ser considerado sustentável, deve ser economicamente desenvolvido, ambientalmente pouco degradado e socialmente benéfico. Neste contexto, para avaliar a sustentabilidade de uma bacia hidrográfica é necessário ter conhecimento sobre a situação em que a mesma se encontra, considerando o complexo de condições sociais,

---

econômicas e as alterações ambientais a que está submetida, com o intuito de nortear decisões de gestão e manejo (Bezerra *et al.*, 2013; Debastiani Júnior & Nogueira, 2016).

As bacias hidrográficas vêm sofrendo com desmatamento, expansão do uso de terras agrícolas, exploração incorreta dos solos pela agropecuária (Seitzinger *et al.*, 2010; Rocha & Santos, 2018), aporte de efluentes domésticos, industriais e agropecuários (Elmi *et al.*, 2004; Singh *et al.*, 2005; Sindilariu *et al.*, 2009; Diamantini *et al.*, 2018) e mudanças climáticas, que afetam tanto a hidrologia como a biogeoquímica dos ambientes aquáticos (Dodds, 2002; Wagena *et al.*, 2018). O aproveitamento dos recursos hídricos e a preservação dos ambientes aquáticos e de sua biodiversidade impõem a necessidade de cooperação entre diferentes esferas administrativas e a constituição de um novo arranjo institucional com a alteração de determinados paradigmas, como, por exemplo, a necessidade de legislações e normas que foquem não somente na qualidade da água para o consumo humano, mas que também considerem a qualidade ecológica dos ecossistemas aquáticos, assim como vem ocorrendo na Comunidade Europeia, que estabeleceu uma abordagem ecossistêmica para a gestão das bacias hidrográficas (Siqueira & Roque, 2010; Behmel *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019; Gusmão & Pavão, 2019; O'Hagan, 2020).

Estudos vêm sendo desenvolvidos para avaliar a sustentabilidade de bacias hidrográficas por meio de indicadores ambientais, econômicos e sociais, permitindo a transformação de dados técnicos e complexos em informações de fácil entendimento

para o público em geral e para os tomadores de decisões (Heink & Kowarik, 2010; Tscherning *et al.*, 2012; Maes *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2016). Estes indicadores podem ser utilizados no arcabouço teórico DPSIR (Driving forces – Forças Motrizes; Pressures – Pressões, State – Estado; Impacts – Impactos e Responses – Respostas), que foi proposto pela Organização de Cooperação Econômica e Desenvolvimento, visando auxiliar principalmente nas decisões referentes à conservação ambiental de bacias hidrográficas (OECD, 1993; Liu *et al.*, 2019).

Neste modelo causal, o desenvolvimento social e econômico são as forças motrizes que exercem pressões e geram mudanças no estado do ambiente, causando impactos sobre a qualidade de vida do ser humano e sobre a biodiversidade (Atkins *et al.*, 2011). O diferencial do DPSIR para os demais modelos conceituais é o incremento da variável impacto que descreve os efeitos das pressões sobre o estado atual do meio ambiente na área estudada (Moura *et al.*, 2016; Vannevel, 2018; Zare *et al.*, 2019).

Neste contexto, o objetivo do presente estudo é avaliar a sustentabilidade ambiental, social e econômica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, no semiárido brasileiro, por meio da aplicação de um conjunto de indicadores e do modelo conceitual DPSIR.

## **2. Material e métodos**

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, que se localiza na

microrregião Oeste do estado do Rio Grande do Norte no Brasil, ocupando uma área de 14.276 km<sup>2</sup> (26,8% do território do estado), com 618 açudes, totalizando um volume de 469.714.600 km<sup>3</sup> de água, equivalentes a 27,4% do total de açudes e 10,7% dos volumes de água acumulados no estado (IGARN, 2020). Na bacia hidrográfica são desenvolvidas atividades de extração de petróleo, produção de sal marinho, agricultura e fruticultura irrigada, pecuária extensiva, mineração de calcário, entre outras atividades, como comércio e indústria (Carvalho *et al.*, 2011).

A definição dos locais de amostragem ocorreu a partir das visitas de campo, pesquisas realizadas na região e imagens de satélites. Foram selecionados 36 locais de amostragem, divididos em quatro trechos delimitados em função das condições topográficas da bacia e dos limites político-administrativos dos municípios. Esses quatro trechos são alto curso (1.208,92 km<sup>2</sup>), médio curso superior (4.176,76 km<sup>2</sup>), médio curso inferior (6.132,47 km<sup>2</sup>) e baixo curso (3.176,03 km<sup>2</sup>), como descrito por Carvalho *et al.* (2011) (Figura 1).

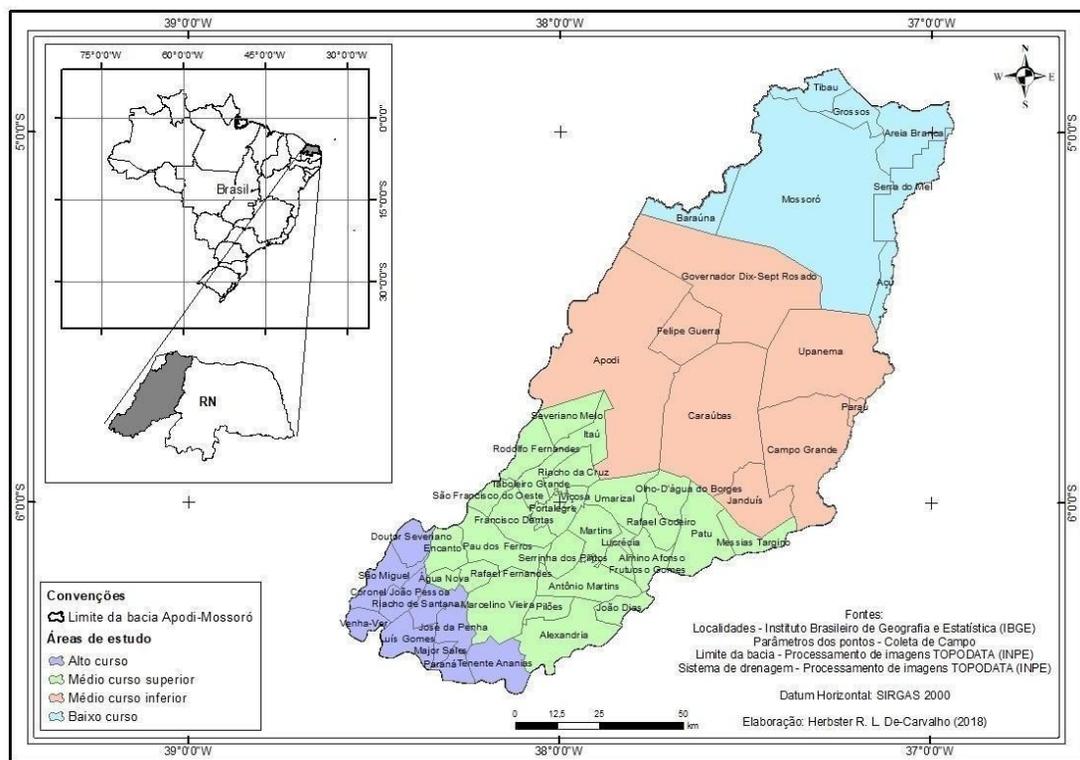


FIGURA 1 – Mapa dos quatro trechos delimitados em função das condições topográficas e limites político-administrativos da bacia hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

Para mensurar a sustentabilidade, o modelo conceitual foi implementado com o auxílio do *software Multisectorial, Integrated and Operational Decision Support System for Sustainable Use of Water Resources at the Catchment Scale* (MULINO

mDSS) v5.12 (Giupponi, 2007). Como dados de entrada neste modelo, foram utilizados 26 indicadores de sustentabilidade distribuídos nas três dimensões social, econômica e ambiental (Tabela 1) (IBGE, 2010; Henriques *et al.*, 2015).

TABELA 1 – Indicadores de sustentabilidade econômica, ambiental e social utilizados para avaliar a sustentabilidade dos diferentes trechos da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró.

INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE		
Dimensão ambiental	Dimensão social	Dimensão econômica
Coliformes Termotolerantes	Densidade demográfica	Produto Interno Bruto per capita – PIB
Oxigênio Dissolvido	Matrículas no ensino fundamental e médio	Renda dos trabalhadores formais
Nitrogênio Total	Número de instituições de ensino fundamental e médio	Receita
Fósforo Total	Mortalidade Infantil	Despesas
Volume dos açudes	Internações por diarreia	Pessoal ocupado
Estabelecimentos agropecuários	Unidades de Saúde - Sistema Único de Saúde (SUS)	Número de empresas atuantes
Assistência técnica		Índice de Desenvolvimento Humano Municipal – IDH
Uso de agrotóxico		
Lavouras permanentes e temporárias		
Pastagens naturais		
Matas e florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal		
Acesso ao saneamento básico		
Urbanização de vias públicas		

---

Os dados de oxigênio dissolvido foram obtidos em campo através do aparelho multissensor de variáveis limnológicas. Para as determinações do nitrogênio total, fósforo total e coliformes termotolerantes, foram coletadas amostras de água em campo e posteriormente analisadas em laboratório. Para a determinação de nitrogênio total, foi somado o quantitativo de nitrito, nitrato (método descrito por Mackereth *et al.*, 1978) e nitrogênio total pelo método de digestão ácida de Kjeldhal (Carmouze, 1994). O fósforo total foi obtido através do método descrito por Golterman *et al.* (1978). Os coliformes termotolerantes das amostras foram obtidos através do método dos tubos múltiplos segundo a Fundação Nacional da Saúde – FUNASA (Brasil, 2013). Os dados sobre volume dos reservatórios foram obtidos através do sistema de acompanhamento de reservatórios da Agência Nacional das Águas (ANA). As demais informações dos indicadores foram adquiridas no *website* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Os indicadores foram selecionados para refletir a sustentabilidade da bacia hidrográfica nos quatro trechos avaliados. Os indicadores selecionados serviram de entrada no *software* e foram agrupados de acordo com os critérios DPSIR, que consideram:

I - indicadores de Forças Motrizes;

II - indicadores de Pressão sobre o ecossistema;

III - indicadores de Estado das condições atuais do sistema estudado;

IV- indicadores dos Impactos causados ao ambiente; e

V- possíveis Respostas em termos de manejo para mitigação dos impactos gerados.

Os indicadores como coliformes termotolerantes, oxigênio dissolvido, nitrogênio total e fósforo total são indicadores que representam o estado em que o ambiente se encontra naquele momento. Tais indicadores são de suma importância para analisar o nível de poluição dos ambientes. Esses indicadores também são considerados de impacto, por averiguar prejuízos para a qualidade ambiental daquele determinado local. O indicador volume de açudes representa o estado em que aquele açude se encontra no momento.

São atribuídos o critério de estado aos indicadores produto interno bruto, índice de desenvolvimento humano municipal, renda dos trabalhadores formais, receita e despesas da região, pois esses indicadores representam o estado em que a população e a região se encontram. Os indicadores número de empresas atuantes, estabelecimentos agropecuários e extração dos recursos naturais, contribuem para o aumento da poluição ambiental. Por esse motivo, são classificados com o critério pressão. O critério de força motriz é usado para os indicadores acesso ao saneamento básico, urbanização de vias públicas, densidade demográfica, matrículas no ensino fundamental e médio, número de instituições de ensino, unidade de saúde e pessoal ocupado. Tal critério é adotado pois tais indicadores são fatores subjacentes que influenciam as demais variáveis. O critério resposta é adotado para os indicadores mortalidade infantil e internação por diarreia, pois representa uma resposta que se recebe da pressão imposta ao ambiente e a população. Quando existe uma redução quantitativa das lavouras, florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal permanente e temporárias, pastagem naturais e matas, implica a alteração dos recursos naturais. Por isso, esses indicadores são classificados com o critério pressão (Tabela 2).

TABELA 2 – Indicadores utilizados como entrada no MULINO para modelagem DPSIR.

<b>Indicadores</b>	<b>Critério</b>	<b>Dimensão Primária</b>
Coliformes Termotolerantes	Estado/ Impacto	Ambiental
Oxigênio Dissolvido	Estado/ Impacto	Ambiental
Nitrogênio Total	Estado/ Impacto	Ambiental
Fósforo Total	Estado/ Impacto	Ambiental
Volume dos açudes	Estado	Ambiental
Estabelecimentos agropecuários	Pressão	Ambiental
Assistência técnica	Força Motriz	Ambiental
Uso de agrotóxico	Impacto	Ambiental
Lavouras, florestas naturais destinadas a preservação permanente ou reserva legal permanentes e temporárias	Pressão	Ambiental
Pastagens naturais	Pressão	Ambiental
Matas	Pressão	Ambiental
Acesso ao saneamento básico	Força Motriz	Ambiental
Urbanização de vias públicas	Força Motriz	Ambiental
Densidade demográfica	Força Motriz	Social
Matrículas no ensino fundamental e médio	Força Motriz	Social
Número de instituições de ensino fundamental	Força Motriz	Social
Mortalidade Infantil	Resposta	Social
Internações por diarreia	Resposta	Social
Unidades de Saúde - Sistema Único de Saúde (SUS)	Força Motriz	Social
Produto Interno Bruto per capita	Estado	Econômico
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal	Estado	Econômico
Renda trabalhadores formais	Estado	Econômico
Receita	Estado	Econômico
Despesas	Estado	Econômico
Pessoal ocupado	Força Motriz	Econômico
Número de empresas atuantes	Pressão	Econômico

Executou-se uma análise de sensibilidade através do *software* MULINO. Esta análise avalia o comportamento dos cenários modelados em resposta às mudanças em cada um dos indicadores de modo individual e apontam quais são os indicadores mais importantes para o sistema, sendo mais

relevantes aqueles cujas pequenas mudanças em seus valores influenciam fortemente a sustentabilidade do sistema. Considerando isto, o *software* MULINO executou uma análise comparativa entre as quatro subdivisões da bacia hidrográfica (alto curso, médio curso superior, médio curso inferior

e baixo curso), de modo que o desempenho dos indicadores foi calculado para cada subdivisão e atribuída uma escala de 0 a 100, sendo 0 o cenário menos sustentável e 100 a mais sustentável dentre as opções consideradas. Assim, ao final da modelagem, as quatro subdivisões da bacia hidrográfica foram classificadas quanto a sua sustentabilidade nas dimensões ambiental, social e econômica, sendo atribuído a cada cenário um subíndice por dimensão avaliada e um índice global de sustentabilidade (Tabela 3). A Análise dos Componentes Principais (ACP) foi aplicada, no intuito de ordenar os locais de amostragem, a partir da matriz de correlação dos indicadores utilizados para avaliar a sustentabilidade da bacia hidrográfica. A referida análise estatística foi realizada no software livre R Core Team (2020).

TABELA 3 – Escala de desempenho aplicada na avaliação da sustentabilidade dos cenários modelados.

Escala	Classificação
0-20	Não sustentável
21-40	Baixa sustentabilidade
41-60	Média sustentabilidade
61-80	Potencialmente sustentável
80-100	Sustentável

SOURCE: Moura *et al.*, 2016.

### 3. Resultados

A modelagem revelou que os trechos de alto curso e médio curso superior apresentaram baixa sustentabilidade. Por sua vez, o trecho de médio curso inferior apresentou média sustentabilidade, e o trecho de baixo curso foi considerado potencialmente sustentável, pois quanto mais o cenário se aproxima do centro do triângulo, mais igualmente distribuída é a sustentabilidade (Figura 2). O trecho de baixo curso, apesar de não apresentar o maior índice na dimensão ambiental, foi considerado mais sustentável, devido às dimensões social e econômica apresentarem os maiores índices (Tabela 4).

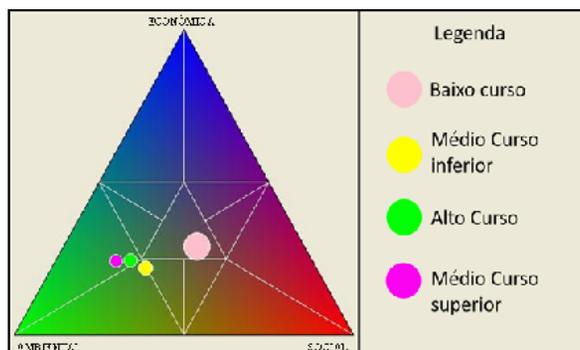


FIGURA 2 – Triângulo da sustentabilidade para os quatro trechos avaliados (baixo curso, médio curso superior, médio curso inferior e alto curso).

TABELA 4 – Escores e índices gerais de sustentabilidade para cada dimensão considerada dos quatro trechos analisados. Escores em negrito indicam o cenário mais sustentável para cada dimensão e o índice em negrito indica o cenário mais sustentável.

Trechos	Escore			Índice
	Ambiental	Social	Econômico	
Alto curso	<b>53</b>	22	25	31
Médio curso superior	58	18	24	24
Médio curso inferior	50	28	22	60
Baixo Curso	32	<b>39</b>	<b>29</b>	<b>67</b>

A Análise de Componentes Principais (ACP) resumiu 80,12% da variabilidade total dos indicadores utilizados na verificação da sustentabilidade da bacia hidrográfica em seus dois primeiros eixos, sendo que o primeiro eixo explicou 55,15% da variância total encontrada, e o segundo eixo 24,97%. Os indicadores que apresentaram maior importância para a ordenação dos trechos da bacia hidrográfica e que estiveram relacionados positivamente no eixo 1 foram: uso de agrotóxicos, mortalidade infantil e internação por diarreia. Os indicadores assistên-

cia técnica, matas e reservas legais, escolaridade, matrícula nas escolas, instituições de ensino, PIB, IDH, renda, receita, despesas, pessoal ocupado e empresas atuantes estiveram relacionados negativamente com o eixo 1. Os indicadores coliformes termotolerantes, volume dos açudes, estabelecimentos agropecuários e urbanização das vias estiveram relacionados positivamente com o eixo 2, enquanto os indicadores densidade demográfica e mortalidade infantil estiveram relacionados negativamente com o mesmo eixo (Figura 3 e Tabela 5)

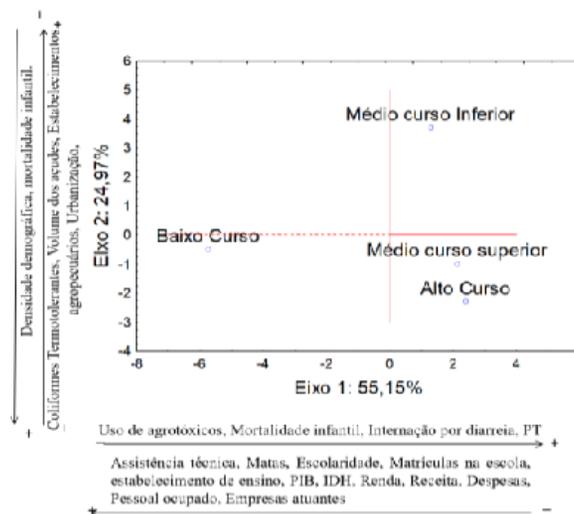


FIGURA 3 – Análise de Componentes Principais para os indicadores utilizados na verificação da sustentabilidade dos trechos da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró.

TABELA 5 – Coordenadas fatoriais dos indicadores, baseadas em correlações oriundas da análise de componentes principais.

Indicadores	Eixo 1	Eixo 2
Coliformes termotolerantes	0.330017	0.943951
Oxigênio dissolvido	0.381536	0.294263
Nitrogênio total	0.232540	-0.451143
Fósforo total	0.662403	-0.743518
Volume dos açudes	0.338780	0.903277
Estabelecimentos Agropecuários	-0.470118	0.869901
Assistência Técnica	-0.797674	0.190924
Uso de Agrotóxicos	0.971462	0.186821
Lavouras	0.323433	0.366911
Pastagens	0.266798	0.190196
Matas	-0.711419	0.665334
Saneamento	-0.235502	0.263863
Urbanização	0.203423	0.973504
Densidade Demográfica	-0.498781	-0.828983
Escolaridade	-0.807807	0.489997
Matrículas nas escolas	-0.992472	-0.113114
Instituições de ensino	-0.995949	-0.075019
Mortalidade Infantil	0.704497	-0.703709
Internação por diarreia	0.862233	-0.146118
Unidades de Saúde	-0.955099	-0.267001
PIB	-0.994701	0.101709
IDH	-0.999939	0.008803
Renda	-0.691573	-0.380267
Receita	-0.993548	-0.107623
Despesas	-0.994349	-0.100805
Pessoal ocupado	-0.993965	-0.109419
Empresas atuantes	-0.994015	-0.109222

Os trechos alto curso e médio curso superior possuem vários estabelecimentos agropecuários que utilizam agrotóxicos, elevados percentual de mortalidade infantil e internações por diarreia

quando comparados aos demais trechos da bacia hidrográfica. O trecho de baixo curso possui maior assistência técnica prestada aos produtores rurais, além de possuir mais áreas de matas e florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal. Quanto à educação, o trecho de baixo curso possui um nível maior de escolaridade, maior número de matrículas nas escolas de ensino fundamental e médio, além de possuir mais instituições de ensino. Com relação à saúde, esse trecho possui mais unidades de saúde quando comparado aos demais trechos. Sobre o aspecto econômico, o trecho de baixo curso apresentou maiores valores de PIB, IDH, renda da população, despesa e receita. Além disso, também apresentou o maior número de empresas e, conseqüentemente, maior quantidade de pessoal ocupado. Assim, o trecho de baixo curso da bacia hidrográfica é mais desenvolvido econômica e socialmente quando comparado aos demais trechos avaliados. A ACP também evidenciou que o trecho de médio curso inferior possui maiores quantidades de coliformes termotolerantes, mais estabelecimentos agropecuários e volume de água acumulada em açudes mais elevado. Os maiores valores de fósforo total foram encontrados no trecho de alto curso.

#### 4. Discussão

As dimensões econômica, ambiental e social são denominados três pilares da sustentabilidade (Frankic & Hershner, 2003). Assim, para um trecho da bacia hidrográfica ser considerada totalmente sustentável, é necessário que o mesmo seja economicamente desenvolvido, pouco degradado ambientalmente e socialmente benéfico. Vale salientar que um determinado trecho pode ser sustentável em

---

apenas uma, duas ou nas três dimensões. Na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, constatou-se que o trecho mais sustentável foi o de baixo curso, com menor amplitude de variação entre os escores das dimensões econômica, ambiental e social, sendo considerado potencialmente sustentável. Apesar de esse trecho ter apresentado melhor desempenho nas dimensões social e econômica, obteve menor escore na dimensão ambiental. Isto evidencia que este trecho é mais desenvolvido nos aspectos econômicos e sociais, de acordo com os indicadores utilizados, no entanto, apresenta mais problemas relacionados aos impactos ambientais relacionados às atividades antrópicas, provavelmente, em decorrência do desenvolvimento econômico.

Bezerra *et al.* (2013) destacaram que atividades antrópicas contribuem para a poluição do rio Apodi-Mossoró, e as principais atividades impactantes dos sistemas hídricos são o lançamento de efluentes domésticos e industriais, as atividades agrícolas e a criação de animais nas margens do rio, que, por elevar as concentrações de fósforo nos ecossistemas aquáticos, podem desencadear o processo de eutrofização. É importante destacar que, apesar de o baixo curso não ser o trecho ambientalmente mais sustentável, o mesmo contém maiores áreas de matas e florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, como, por exemplo, o Parque Nacional de Furna Feia, que é o único Parque Nacional do estado do Rio Grande do Norte, localizado entre os municípios de Mossoró e Baraúna. A preservação da cobertura vegetal, principalmente da mata ciliar, ameniza problemas como assoreamento dos rios que poderia alterar fortemente a integridade ambiental do ecossistema fluvial, ocasionando desequilíbrio do ambiente e da biota local, por reduzir a disponibilidade de habitats

e alimentos, além de serem capazes de reduzir as inundações e a contaminação dos rios por efluentes agrícolas como fertilizantes e pesticidas (Vidon *et al.*, 2010; Feld *et al.*, 2018).

O trecho de baixo curso é o mais desenvolvido socioeconomicamente na bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró. A região correspondente a este trecho possui maiores valores de PIB, IDH, renda dos trabalhadores, maior número de empresas e, conseqüentemente, mais pessoas ocupadas. Segundo Kayano & Caldas (2002), o PIB elevado é um indicador de crescimento econômico, entretanto, somente a constatação de que existe crescimento econômico não comprova, por si só, que existe desenvolvimento social no trecho. Assim, o conjunto de elevados valores do PIB e IDH, as melhores rendas dos trabalhadores, maior número de empresas e de pessoas ocupadas, evidenciam o desenvolvimento social e também econômico do trecho de baixo curso quando comparado aos demais trechos analisados.

O trecho correspondente ao médio curso superior demonstrou ser mais sustentável ambientalmente, porém, segundo a modelagem, o mesmo é menos sustentável social e economicamente. Desta forma, o índice geral classificou este trecho com baixa sustentabilidade no contexto geral da bacia hidrográfica. Ambientes que são menos explorados economicamente tendem a ser mais conservados em seu aspecto ambiental, pois a urbanização estimulada pelo desenvolvimento da economia impacta diretamente a qualidade dos recursos hídricos (Ren *et al.*, 2014; Carstens & Amer, 2019). Cerqueira *et al.* (2020) mostraram em seu estudo que a urbanização representa o tipo de uso do solo com maior efeito negativo na qualidade da água, pois altera as

---

concentrações de nutrientes inorgânicos dissolvidos nos corpos hídricos.

O trecho correspondente ao médio curso inferior foi classificado como média sustentabilidade geral. Neste trecho ocorreu o maior volume de água presente nos reservatórios. O trecho de médio curso inferior detém os dois maiores reservatórios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, que são Umarí e Santa Cruz. A disponibilidade de água é um fator de extrema importância para o bem-estar da população, bem como é relevante para o desenvolvimento econômico, pois a água é indispensável para as atividades de agricultura, pecuária e pesca (Assis *et al.*, 2013). Apesar do trecho de médio curso inferior possuir maior número de estabelecimentos agropecuários, quando comparados aos demais trechos da bacia hidrográfica, não apresentou elevada concentração de fósforo total na água, e isto pode estar relacionado ao fato de esse trecho possuir áreas de mata ciliar relativamente mais preservadas. Estudos apontam que a agropecuária desenvolvida na rede de drenagem da bacia aumenta os níveis de sedimentos finos depositados (Conroy *et al.*, 2016) e promove a entrada de nutrientes, principalmente na forma de fósforo e nitrogênio, nos sistemas hídricos (Cesoniene *et al.*, 2019; Namaalwa *et al.*, 2020). Entretanto, quando os sistemas aquáticos possuem mata ciliar, o impacto negativo sobre a qualidade da água é minimizado (Vidon *et al.*, 2010).

O trecho de alto curso apresenta baixa sustentabilidade geral, tendo maior escore na dimensão ambiental do que nas dimensões social e econômica. Apesar disso, o trecho possui elevada utilização de agrotóxico, provavelmente por ser uma região com economia voltada para a agricultura. Tal fato pode gerar sérios problemas à população que mora nas proximidades de áreas cultivadas com agrotóxicos

e poderiam consumir água ou alimentos contaminados. Além disso, pode-se inalar substâncias tóxicas que estejam eventualmente presentes no ar (Neto & Sarcinelli, 2009). A exposição a substâncias tóxicas pode causar problemas no fígado e no sistema nervoso central, como dores de cabeça, tonturas, irritabilidade, movimentos musculares involuntários; problemas com os sistemas cardiovascular e reprodutivo, com algumas evidências de desregulação endócrina e problemas nos olhos, rins, baço, anemia e aumento do risco de desenvolver câncer (IARC, 2007; ATSDR, 2007).

A Análise de Componentes Principais evidenciou que os trechos correspondentes ao alto curso, médio curso superior e médio curso inferior possuem mais problemas sociais, como maior índice de mortalidade infantil, frequentes internações por diarreia, menores índices de escolaridade e menos unidades de saúde, quando comparados ao trecho de baixo curso. A modelagem no MULINO também demonstrou que os cenários correspondentes ao alto curso, médio curso superior e médio curso inferior são menos sustentáveis social e economicamente. A taxa de mortalidade infantil, por exemplo, é indicadora das condições de vida e de saúde de uma população, pois além de expressar causas biológicas, expressa, principalmente, problemas de ordem socioeconômica (Vermelho *et al.*, 2009). Regiões menos desenvolvidas economicamente têm menos recursos financeiros para investir em saúde e educação e, conseqüentemente, apresentam mais problemas sociais. Áreas mais carentes comumente não possuem saneamento básico, e isso influencia na saúde da população, inclusive a frequência de diarreia está diretamente relacionada ao aspecto sanitário, uma vez que a existência de saneamento

---

básico está associada à redução da frequência de diarreias (Wolf *et al.*, 2018).

## 5. Considerações finais

Na bacia hidrográfica do rio Apodi/Mossoró, o trecho mais sustentável foi o de baixo curso, pois apresentou menor amplitude de variação entre os escores das dimensões econômica, ambiental e social. Esse trecho foi considerado potencialmente sustentável pela modelagem, apresentando melhor desempenho nas dimensões sociais e econômica, no entanto, menor escore na dimensão ambiental. Isto evidencia que o trecho de baixo curso da bacia hidrográfica possui maior desenvolvimento econômico e social, entretanto, apresenta mais problemas ambientais. O trecho de alto curso foi classificado com baixa sustentabilidade, apresentando escore maior na dimensão ambiental e menor nas dimensões social e econômica. O trecho de médio curso superior apresentou maior escore na dimensão ambiental, porém, como não apresentou escores proporcionais nas dimensões social e econômica, o índice geral foi o mais baixo quando comparado aos demais trechos analisados, assim, este trecho apresentou baixa sustentabilidade no contexto geral da bacia hidrográfica. O trecho de médio curso inferior foi classificado como um trecho com média sustentabilidade, com escore mais alto na dimensão ambiental e menores nas dimensões social e econômica. Deste modo, para que esses três trechos se tornem mais sustentáveis, é necessário melhorar as condições sociais e econômicas da região.

A avaliação da sustentabilidade ambiental, social e econômica da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró por meio da aplicação de um

conjunto de indicadores e do modelo conceitual DPSIR permite fornecer informações sobre os trechos da bacia hidrográfica que apresentam maior vulnerabilidade social e/ou problemas ambientais às diferentes esferas administrativas, para que estas esferas possam realizar gestões direcionadas para a melhoria dos aspectos socioambientais dos trechos por meio de políticas públicas sociais e elaboração de novas leis que visem à conservação dos recursos hídricos e dos ecossistemas aquáticos, dentre outras ações de cunho social e ambiental. Além disso, permite às esferas administrativas visualizar os trechos da bacia hidrográfica que precisam de maiores investimentos para o desenvolvimento da economia. Assim, essa pesquisa é útil por fornecer informações que possam subsidiar um planejamento mais eficiente e direcionado por parte das esferas administrativas.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pelo apoio financeiro concedido.

## Referências

- Assis, A. S.; Valle, D. A.; Antunes, G. R.; Tibiric, A. S. H.; Assis, R. M.; Leite J. P. Rotavirus epidemiology before and after vaccine introduction. *Jornal de Pediatria*, 89, 470-476, 2013. doi: 10.1016/j.jped.2013.02.019
- Atkins, J. P.; Gregory, A. J.; Burdon, D.; Elliott, M. Managing the marine environment: is the DPSIR framework holistic enough? *Systems Research and Behavioral Science*,

---

28(5), 497-508, 2011. doi: 10.1002/sres.1111

ATSDR – Agency For Toxic Substances And Disease Registry. *Toxicological profile information sheet*, 2007. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/>>. Acesso em: mai. 2022.

Barbosa, J. E. L.; Medeiros, E. S. F.; Brasil, J.; Cordeiro, R. S.; Crispim, M. C. B.; Silva, G. H. G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24(1), 103-118, 2012. doi: 10.1590/S2179-975X2012005000030

Behmel, S.; Damour, M.; Ludwig, R.; Rodriguez, M. J. Participative approach to elicit water quality monitoring needs from stakeholder groups: an application of integrated watershed management. *Journal of Environmental Management*, 218, 540-554, 2018. doi: 10.1016/j.jenvman.2018.04.076

Bezerra, J. M.; Silva, P. C. M.; Batista, R. O.; Pinto, C. H. C.; Feitosa, A. P. Water quality indexes in the urban stretch of the River Apodi Mossoró in Mossoró RN Brazil. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(6), 3443-3454, 2013. doi: 10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl1p3443

Brasil. *Manual prático de análise de água*. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 4. ed., 2013.

Carmouze, J. P. *O metabolismo dos ecossistemas aquáticos: fundamentos teóricos, métodos de estudo e análises químicas*. São Paulo: Editora Edgar Blücher Ltda., 1994.

Carstens, D; Amer, R. Spatio-temporal analysis of urban changes and surface water quality. *Journal of Hydrology*, 569, 720-734, 2019. doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.12.033

Carvalho, R. G.; Kelting, F. M. S.; Silva, E. V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. *Revista Sociedade e Natureza*, 23(1), 143-159, 2011. doi: 10.1590/S1982-45132011000100012

Cerqueira, T. C.; Mendonça, R. L.; Gomes, R. L.; De Jesus, R. M.; Da Silva, D. M. L. Effects of urbanization on water quality in a watershed in northeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), 1-17, 2020. doi: 10.1007 / s10661-019-8020-0

Cesoniene, L; Dapkiene, M; Sileikiene, D. The impact of livestock farming activity on the quality of surface water.

*Environmental Science and Pollution Research*, 26(32), 32678-32686, 2019. doi: 10.1007 / s11356-018-3694-3

Conroy, E.; Turner, J. N.; Rymszewicz, A.; O'sullivan, J. J.; Bruen, M.; Lawler, D.; Lally, H.; Kelly-Quinn, M. The impact of cattle access on ecological water quality in streams: examples from agricultural catchments within Ireland. *Science of the Total Environment*, 547, 17-29, 2016. doi: 10.1016/j.scitotenv.2015.12.120

Debastiani-Júnior, J. R.; Nogueira, M. G. How water level management affects cladoceran assemblages in lakes lateral to a reservoir. *Marine and Freshwater Research*, 67(12), 1853-1861, 2016. doi: 10.1071 / MF14281

Diamantini, E.; Lutz, S. R.; Mallucci, S.; Majone, B.; Merz, R.; Bellin, A. Driver detection of water quality trends in three large European river basins. *Science of The Total Environment*, 612, 49-62, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.172

Dodds, W. K. *Freshwater ecology: concepts and environmental applications*. San Diego: Academic Press, 2002.

Elmi, A. A.; Madramootoo, C.; Egeh, M.; Hamel, C. Water and fertilizer nitrogen management to minimize nitrate pollution from a cropped soil in southwestern Quebec, Canada. *Water Air & Soil Pollution*, 151, 117-134, 2004. doi: 10.1023/B:WATE.0000009910.25539.75

Feld, C. K.; Fernandes, M. R.; Ferreira, M. T.; Hering, D.; Ormerod, S. J.; Venohr, M.; Gutiérrez-Cánovas, C. Evaluating riparian solutions to multiple stressor problems in river ecosystems: a conceptual study. *Water Research*, 139, 381-394, 2018. doi: 10.1016/j.watres.2018.04.014

Frankic, A.; Hershner, C. Sustainable aquaculture: developing the promise of aquaculture. *Aquaculture International*, 11(6), 517-530, 2003. doi: 10.1023/B:A-QUI.0000013264.38692.91

Giupponi, C. Decision support systems for implementing the european water framework directive: the MULINO approach. *Environmental Modeling and Software*, 22(2), 248-258, 2007. doi: 10.1016/j.envsoft.2005.07.024

Golterman, H. L.; Clymo, R. S.; Ohmstad, M. A. M. *Methods for physical and chemical analysis of fresh waters*. Oxford: Blackwell Science, 1978.

- Gusmão, P. P.; Pavão, B. B. M. Gestão das águas, comitês de bacias hidrográficas e resolução de conflitos socioambientais. *Revista de Geografia e Ecologia Política*, 1, 38-77, 2019. doi: 10.48075/amb.v1i2.23032
- Heink, U.; Kowarik, I. What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10, 584-593, 2010. doi: 10.1016/j.ecolind.2009.09.009
- Henriques, C.; Garnett K.; Weatherhead, L. F. A.; Forrow, D.; Delgado, J. The future water environment: using scenarios to explore the significant water management challenges in England and Wales to 2050. *Science of the Total Environment*, 512, 381-396, 2015. doi: 10.1016/j.scitotenv.2014.12.047
- IARC – International Agency For Research On Cancer. *Complete list of agents evaluated and their classification*, 2007. Disponível em: <<http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>>. Acesso em: mai. 2021.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores de desenvolvimento sustentável*: Brasil, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv46401.pdf>>. Acesso em: jan. 202.
- IGARN – Instituto de Gestão das Águas. *Plano estadual de recursos hídricos da bacia Apodi/Mossoró*, 2020. Disponível em: <<http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/doc/DOC00000000028892.PDF>>. Acesso em: mai. 2021.
- Jabłońska-Czapla, M.; Nocoń, K.; Szopa, S.; Lyko, A. Impact of the Pb and Zn ore mining industry on the pollution of the Biala Przemsza River, Poland. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(5), 262, 2016. doi: 10.1007/s10661-016-5233-3
- Kayano, J.; Caldas, E. L. *Indicadores para o diálogo*. São Paulo: Instituto Pólis, 2002.
- Liu, W.; Sun, C.; Zhao, M.; Wu, Y. Application of a DPSIR modeling framework to assess spatial-temporal differences of water poverty in China. *Journal of the American Water Resources Association*, 55(1), 259-273, 2019. doi: 10.1111/1752-1688.12724
- Mackereth, F. J. H.; Heron, J.; Talling, J. F. *Water analysis*: some revised methods for limnologists. Cumbria: Freshwater Biological Association, 1978.
- Maes, J.; Liqueste, C.; Teller, A.; Erhard, M.; Paracchini, M. L.; Barredo, J. I.; Grizzetti, B.; Cardoso, A.; Somma, F.; Petersen, J. E.; Meiner, A.; Gelabert, E. R.; Zal, N.; Kristensen, P.; Bastrup-Birk, A.; et al. An indicator framework for assessing ecosystem services in support of the EU biodiversity strategy to 2020. *Ecosystem Services*, 17, 14-23, 2016. doi: 10.1016/j.ecoser.2015.10.023
- Moura, R. S. T.; Henry-Silva, G. G. Limnological characteristics of a hydrographic basin of the Brazilian semiarid region. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 27(1), 51-59, 2015. doi: 10.1590/s2179-975x3114
- Moura, R. S. T.; Valenti, W. C.; Henry-Silva, G. G. Sustainability of Nile tilapia net-cage culture in a reservoir in a semi-arid region. *Ecological Indicators*, 66, 574-582, 2016. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.01.052
- Namaalwa, S.; Van Dam, A. A.; Gettel, G. M.; Kaggwa, R. C.; Zsuffa, I.; Irvine, K. The impact of wastewater discharge and agriculture on water quality and nutrient retention of Namatala Wetland, Eastern Uganda. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 2020. doi: 10.3389/fenvs.2020.00148
- Neto, F. M. L.; Sarcinelli P. N. Pesticides in drinking water: a risk assessment approach and contribution to the brazilian legislation updating process. *Engenharia Sanitaria e Ambiente*, 14(1), 69-78, 2009. doi: 10.1590/S1413-41522009000100008
- O'Hagan, A. M. Ecosystem-based management (EBM) and ecosystem services in EU law, policy and governance. In: O'Higgins, T.; Lago, M.; DeWitt, T. H. (Eds.). *Ecosystem-based management, ecosystem services and aquatic biodiversity*: theory, tools and practice. Amsterdam: Springer, p. 353-372, 2020.
- OECD – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. *OECD core set of indicators for environmental performance reviews*, 1993. Disponível em: <[https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD\(93\)179&docLanguage=En](https://www.oecd.org/officialdocuments/publicdisplaydocumentpdf/?cote=OCDE/GD(93)179&docLanguage=En)>. Acesso em: dez. 2020.
- Osmundsen, T. C.; Amundsen, V. S.; Alexander, K. A.; Asche, F.; Bailey, J.; Finstad, B.; Olsen, S. M.; Hernández, K.; Salgado, H. The operationalisation of sustainability:

- sustainable aquaculture production as defined by certification schemes. *Global Environmental Change*, 60, 102025, 2020. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2019.102025
- Pavão, B. B. M.; Nascimento, E. P. Crise hídrica como unidade analítica sobre a regulação das águas brasileiras. *Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente*, 52, 1-20, 2019. doi: 10.5380/dma.v52i0.65212
- R Core Team. R: a language and environment for statistical computing, 2020. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em: mai. 2022.
- Ren, L.; Cui, E.; Sun, H. Temporal and spatial variations in the relationship between urbanization and water quality. *Environmental Science and Pollution Research*, 21(23), 13646-13655, 2014. doi: 10.1007/s11356-014-3242-8
- Rocha, P. C.; Santos, A. A. Hydrological analysis in water basins. *Revista Mercator*, 17, 1-18, 2018. doi: 10.4215/rm2018.e17025
- Seitzinger, S. P.; Mayorga, E.; Bouwman, A. F.; Kroeze, C.; Beusen, A. H. W.; Billen, G.; Van Drecht, G.; Dumont, E.; Fekete, B. M.; Garnier, J.; Harrison, J.; Wisser, D.; Wollheim, W. M. Global river nutrient export: a scenario analysis of past and future trends. *Global Biogeochemical Cycles*, 24, 2010. doi: 10.1029/2009GB003587
- Silva, A. R.; Fonseca, A. L.; Rodrigues, C. J.; Beltrame, A. V. Application of ecological indicators in coastal watershed under high pressure during summer period. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 21, 537-548, 2016. doi: 10.1590/2318-0331.011615106
- Sindilariu, P. D.; Brinker, A.; Reiter, R. Factors influencing the efficiency of constructed wetlands used for the treatment of intensive trout farm effluent. *Ecological Engineering*, 35, 711-722, 2009. doi: 10.1016/j.ecoleng.2008.11.007
- Singh, K. P.; Malik, A.; Sinha, S. Water quality assessment and apportionment of pollution sources of Gomti river (India) using multivariate statistical techniques-a case study. *Analytica Chimica Acta*, 515, 143-149, 2005. doi: 10.1016/j.aca.2005.02.006
- Siqueira, T.; Roque, F.O. O desafio da normatização de informações de biodiversidade para gestão de águas: aproximando cientistas e gestores. *Revista Natureza & Conservação*, 8(2) 190-193, 2010. doi: 10.4322/natcon.00802015
- Tscherning, K.; Helming K.; Krippner, S., Gomez, S. P. Does research applying the DPSIR framework support decision making? *Land Use Policy*, 29, 102-110, 2012. doi: 10.1016/j.landusepol.2011.05.009
- Vannevel, R. Using DPSIR and balances to support water governance. *Water*, 10 (2), 118, 2018. doi: 10.3390/w10020118
- Vermelho, L. L.; Costa, A. J. L.; Kale, P. L. Indicadores de saúde. In: Medronho, R. A.; Bloch, K. V.; Luiz, R. R.; Werneck, G. L. (Orgs.). *Epidemiologia*. São Paulo: Atheneu, 2. ed., p. 31-82, 2009.
- Vidon, P.; Allan, C.; Burns, D.; Duval, T. P.; Gurwick, N.; Inamdar, S.; Lowrance, R.; Okay, J.; Scott, D.; Sebestyen, S. Hot spots and hot moments in riparian zones: potential for improved water quality management. *Journal of the American Water Resources Association*, 46(2), 278-298, 2010. doi: 10.1111/j.1752-1688.2010.00420.x
- Wagena, M. B.; Collick, A. S.; Ross, A. C.; Najjar, R. G.; Rau, B.; Sommerlot, A. R.; Fuka, D. R.; Kleinman, P. J. A.; Easton, Z. M. Impact of climate change and climate anomalies on hydrologic and biogeochemical processes in an agricultural catchment of the Chesapeake Bay watershed, USA. *Science of the Total Environment*, 637, 1443-1454, 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.05.116
- Wang, X.; He, K.; Dong, Z. Effects of climate change and human activities on runoff in the Beichuan River Basin in the northeastern Tibetan Plateau, China. *Catena*, 176, 81-93, 2019. doi: 10.1016/j.catena.2019.01.001
- WCED – Western Cape Education Department. *Report of the world commission on environment and development: our common future*, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>>. Acesso em: mai. 2021.
- Wolf, J.; Hunter, P. R.; Freeman, M. C.; Cumming, O.; Clasen, T.; Bartram, J.; Higgins, J. P. T.; Johnston, R.; Medlicott, K.; Boisson, S.; Prüss-Ustün, A. Impact of drinking water, sanitation and handwashing with soap on childhood diarrhoeal disease: updated meta-analysis and meta-regression. *Tropical Medicine & International Health*, 23(5), 508-525, 2018. doi: 10.1111/tmi.13051

---

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*, 246, 27-41, 2019. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.05.033

Zarghami, E.; Fatourehchi, D. Comparative analysis of rating systems in developing and developed countries: a systematic review and a future agenda towards a region-based sustainability assessment. *Journal of Cleaner Production*, 254, 120024, 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2020.120024