

Identificação de impactos e respostas às secas para mitigação da vulnerabilidade hídrica: o caso de Fortaleza

Identification of impacts and responses to droughts to mitigate water vulnerability: the case of Fortaleza


• **Data de entrada:**
18/07/2019

• **Data de aprovação:**
24/03/2021


Tereza Margarida Xavier de Melo Lopes^{1*} | Samiria Maria Oliveira da Silva¹ | Francisco de Assis de Souza Filho¹ | Luiz Martins de Araújo Júnior²


DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.045>

ORCID ID

Lopes TMXM  <https://orcid.org/0000-0002-5575-7073>

Silva SMO  <https://orcid.org/0000-0002-8976-7229>

Souza Filho FA  <https://orcid.org/0000-0001-5989-1731>

Araújo Júnior LM  <https://orcid.org/0000-0003-3947-138X>

Resumo

Os eventos recorrentes de seca no Ceará, aliados à vulnerabilidade da população e das cadeias produtivas, revelam a importância de desenvolver estudos que possam prognosticar e mitigar os danos ocasionados pela escassez hídrica. Diante dessa perspectiva, o presente artigo versa sobre a avaliação da vulnerabilidade do Sistema de Abastecimento de Água (SAA) da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Tal estudo foi baseado no modelo PEIR (Pressão-Estado-Impacto-Resposta) com o objetivo de identificar os impactos do sistema e desenvolver respostas para combater a escassez hídrica. A análise desenvolvida propiciou a identificação, o diagnóstico e a elaboração de estratégias para cada problemática apurada. Assim, os resultados obtidos funcionam como instrumentos essenciais para o desenvolvimento de planos de mitigação de seca. Dentre esses resultados, tem-se como resposta as secas: a criação de um fundo financeiro, de mecanismos de compensação financeira e gestão de conflitos, além da implementação de um sistema de gestão de secas.

Palavras-chave: Vulnerabilidade. Secas. Planejamento.

Abstract

The recurrent drought events in Ceará and the vulnerability of the population and the production chains reveal the importance of developing studies that can predict and mitigate the damages caused by water scarcity. From this perspective, this article is about the vulnerability analysis of the Water Supply System (SAA) of the Metropolitan Region of Fortaleza (RMF). This study was based on the PEIR (Pressure-State-Impact-Response) methodology, with the objective of identifying the impacts of the system and developing responses to combat water scarcity. The analysis developed allows the identification, diagnosis and elaboration of strategies for each problem. Finally, the results obtained serve as essential tools for the development of drought mitigation plans. Among these results we have as answers to the droughts: the creation of a financial fund, mechanisms of financial compensation and conflict management, implementation of a drought management system.

Keywords: Vulnerability. Drought. Planning.

¹ Universidade Federal do Ceará (UFC) - Fortaleza - Ceará - Brasil.

² Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) - Redenção - Ceará - Brasil.

* **Autora correspondente:** terezamelo@alu.ufc.br.

1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno natural caracterizado pela escassez parcial ou total dos recursos hídricos disponíveis em uma região (CUNHA, 2008). Em diversas conjunturas globais, a presença de tal anomalia ressaltou a vulnerabilidade do ecossistema frente aos riscos climáticos e evidenciou a premência por melhorar as estratégias de previsão de riscos e impactos, para então elaborar planos de mitigação e resposta às secas (WILHITE e GLANTZ, 1987).

A severidade da seca tem aumentado cada vez mais em países como África, Austrália, Brasil, Estados Unidos e Portugal, alertando para a falta de uma política pública mais eficaz na mitigação deste evento (WILHITE; BOTTERILL; MONNIK, 2005; GUTIÉRREZ et al., 2014).

No Brasil, podemos citar as secas de 2013-2015 no estado de São Paulo e de 2011-2018 no semiárido Nordeste que resultaram no desenvolvimento de diversas estratégias e/ou ações de mitigação como o programa de ônus e bônus implementado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) para gerenciar a demanda hídrica (SOUZA e FOUTO, 2019).

Contudo, as políticas públicas não devem se restringir apenas ao desenvolvimento de estratégias e/ou ações, mas resultar da elaboração de planos de preparação para as secas que envolvam monitoramento, previsão, avaliação de vulnerabilidades, prevenção e assistência na resposta aos impactos da seca.

Gilbert Fowler White, considerado o principal geógrafo ambiental do século XX, desenvolveu, na década de 1940, pesquisas associadas à vulnerabilidade, ao risco e à capacidade de resposta quando publicou um livro sobre a adaptação humana frente às inundações (WHITE, 1945). Desde então, as temáticas sobre a análise de vulnerabilidade tornaram-se ainda mais pertinentes no âmbito da climatologia.

A avaliação da vulnerabilidade depende da identificação de impactos e de respostas e subsidia a elaboração de medidas e ações para lidar com a seca dentro da abordagem da gestão proativa, além de contribuir para a orientação dos tomadores de decisões por meio da geração de auxílios teóricos ou conceituais.

Diante desse contexto, diversos modelos foram desenvolvidos com o intuito de averiguar e detalhar as condições de susceptibilidade e a possibilidade de resposta dos sistemas hídricos frente a situações de risco. Dentre eles, destaca-se o modelo PEIR (Pressão-Estado-Impacto-Resposta), objeto do presente estudo, que proporciona uma análise integrada dos fatores que geram mudanças ou que contribuem para a permanência da condição do sistema. Em suma, existem elementos propulsores de mutações que geram pressões no sistema; tais fatores contribuem para mudar o estado do ambiente, isto é, gerar eventos como secas ou inundações. Consequentemente, as alterações provocam impactos estruturais e sociais, como a redução da disponibilidade de água potável; por fim, o modelo sugere que sejam aplicadas respostas à situação do sistema, ou seja, que ações sejam realizadas para mitigar os danos causados (Hoekstra, Buurman e Ginkel, 2018).

Em meio aos impactos negativos advindos da seca, o PEIR pode ser amplamente utilizado para estimar o grau de risco de escassez, prever as condições provenientes de uma crise hídrica e estabelecer estratégias que amenizem os seus efeitos a fim de evitar prejuízos de maiores dimensões.

Alves (2013) realizou uma análise dos efeitos da seca no semiárido paraibano baseada na estrutura PEIR. Tal pesquisa identificou alguns elementos que convergem com os indicadores apresentados na matriz PEIR. Dentre eles, destacam-se: a escassez hídrica, pontuada como fator de pressão; a redução do volume de água nos reservatórios caracterizando o estado do sis-

tema; o aumento dos custos operacionais e o desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, elencados como prováveis impactos; e a adoção do uso de novos mananciais como resposta às falhas do sistema.

Fernandez et. al, 2014, por sua vez, apontam que a abordagem PER é predominante nas políticas ambientais europeias e silencia conflitos ambientais e políticos. O modelo atua, principalmente, no planejamento do uso da água.

Além disso, a ocorrência de eventos climáticos extremos em todo o mundo colaborou para o crescimento do número de pesquisas relacionadas com a vulnerabilidade às mudanças climáticas (Reis et al., 2020). Entretanto, a América Latina não acompanhou tal desenvolvimento científico e ainda não alcançou um nível expressivo de trabalhos sobre vulnerabilidade às mudanças climáticas e seus aspectos sociais; o Brasil, por exemplo, está inserido nesse cenário (Wang et al., 2014).

Vale ressaltar que os sistemas de abastecimento urbanos que estão sob pressão das secas são heterogêneos em suas configurações naturais, geográficas e sociais, e também sob o aspecto da complexidade da infraestrutura física instalada, da capacidade técnica disponível e do modelo institucional adotado. Esse conjunto de fatores heterogêneos exige uma flexibilidade metodológica e adaptativa para a produção dos conteúdos necessários ao planejamento às secas.

2 OBJETIVOS

Diante do contexto apresentado, o presente estudo tem por objetivo aplicar o modelo PEIR para identificar os impactos e respostas às secas do sistema de abastecimento de água de Fortaleza no intuito de gerar informações úteis para a avaliação das vulnerabilidades e para o desenvolvimento de planos de preparação às secas.

3 VULNERABILIDADE ÀS SECAS

De modo geral, o conceito de vulnerabilidade está associado ao grau de sensibilidade característica frente às condições adversas, isto é, aponta a suscetibilidade à falha diante de um evento ou situação danosa (ALMEIDA, 2010).

Marandola Jr. e Hogan (2005) defendem que o conceito de vulnerabilidade e a concepção de risco são indissociáveis; para eles, a vulnerabilidade está em função do risco de alguma eventualidade. Para Crichton (1999), o risco é uma probabilidade de dano decorrente da combinação de três fatores: o perigo, a vulnerabilidade e a exposição. Este último é analisado a partir das condições gerais em que o objeto em estudo está submetido, como a localidade, o ecossistema, a bacia hidrográfica e a comunidade. Tais fatores são ponderados e vinculados à capacidade de resposta aos impactos derivados de eventuais perdas, danos ou desastres (BROOKS, 2003; VEYRET, 2007).

Embora as conjunturas em análise estejam diante de condições de risco, vulnerabilidade e exposição desfavoráveis, há ainda um fator que os confronta e pode agir de maneira positiva: a capacidade adaptativa. Adger et al. (2009) enumeram quatro condições limitantes para a capacidade de resposta e adaptação aos eventos climáticos:

- 1) A questão ética, uma vez que aquilo que o corpo social julga como situação grave ou admissível para as medidas de adaptação depende dos interesses, prioridades e valores de cada região;
- 2) A ausência ou desvalorização das previsões climáticas, propulsores consideráveis frente à demora na adaptação;
- 3) A percepção de riscos, visto que a sociedade dificilmente considera o risco como suficiente para se mobilizar de forma imediata.

4) A depreciação de questões culturais em meio à crise, associada às técnicas e escolhas empregadas para a redução do risco.

Assim, a vulnerabilidade à seca pode ser vista como função do grau de exposição e da capacidade de resposta. Para tanto, é necessário implementar estratégias de gerenciamento de seca nas regiões suscetíveis aos danos. De acordo com Thomas et al. (2016), a vulnerabilidade varia com as condições temporais e espaciais. Consequentemente, no que tange às condições de escassez hídrica, a vulnerabilidade do sistema de abastecimento depende do risco climático e das necessidades do ecossistema local.

Observou-se na literatura científica que a avaliação da vulnerabilidade hídrica tem sido realizada por meio da aplicação de alguns modelos, como o RRV (*Reliability, Resilience and Vulnerability*), o PER (Pressão-Estado-Resposta) e o PEIR (Pressão-Estado-Impacto-Resposta), o qual é uma ramificação do PER. O método do RRV foi introduzido no âmbito dos recursos hídricos para a análise de sistemas de reservatórios por Hashimoto et al. (1982). Esse método é utilizado para descrever e relacionar os quesitos de confiabilidade, resiliência e vulnerabilidade da água.

O RRV foi aplicado por Zhang et al. (2017) para analisar sistemas de abastecimento de água utilizando análises gráficas multiobjetivas, enquanto Lu et al. (2019) aplicaram o mesmo método para avaliar a segurança da água subterrânea no desenvolvimento de gás de xisto. De acordo com a estrutura PER, ações antrópicas geram pressões no meio ambiente, e essas intervenções modificam, de maneira temporal e espacial, o estado dos recursos naturais. Em contrapartida, a sociedade pode responder a essas transformações por meio de ações que gerenciem e controlem seus efeitos (Souza; Silva, 2014).

O modelo PER também pode ser utilizado no desenvolvimento de estudos relacionados à segu-

rança hídrica. Li et al. (2019), por exemplo, desenvolveram um método de avaliação baseado no modelo PER (Pressão-Estado-Resposta) para analisar o desenvolvimento sustentável do ambiente hídrico da China Central.

A Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) foi uma das pioneiras a desenvolver um modelo de análise do estado do meio ambiente, utilizando indicadores ambientais (OECD, 1993). Esse modelo foi denominado Pressão-Estado-Resposta (OECD, 1993 apud FAO, 1997) e, a partir dele, diversas variações de modelos de avaliação surgiram, conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Publicações de referências dos modelos relacionados ao PER.

Modelo	Publicação de referência
Pressão-Estado-Resposta (PER)	ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) Core set of indicators for environmental performance reviews. Environmental Monographs, OCDE, v. 93, n. 179, 1993.
Pressão-Estado-Impacto-Resposta (PEIR)	UNEP World Environment Outlook: Brainstorming Session. ENEP/EAMR. Nairobi: p. 18, 1994.
Força Motriz-Estado-Resposta (FER)	UNCSD. Indicators of Sustainable Development—Framework and Methodologies. United Nations: New York, NY, USA, 1996.
Modelo Força Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR)	EEA. Environmental Indicators: Typology and Overview. Technical report n. 25. EEA, Copenhagen, 1999.
Modelo Forças Motrizes-Pressão-Estado-Exposição-Efeitos-Ações (DPSEEA)	WHO. Linkage Methods for Environment and Health Analysis. General Guidelines; WHO/EHG/95.26; Geneva, Switzerland, 1996.

O PNUMA incluiu o indicador impacto no modelo PER, que passou a ser chamado de PEIR (UNEP, 1994 Apud FAO, 1997). Ele tem aplicado o modelo PEIR no “Global Environment Outlook”, projeto que busca desenvolver e aplicar análises integradas dos impactos provenientes das ações humanas.

De acordo com PNUMA (2002, p.9),

“A interferência antrópica no meio ambiente afeta o estado de seus componentes e gera uma resposta, imediata ou não, na sua qualidade. Como todo sistema complexo, o impacto da alteração de um componente fomenta mudanças de acordo com a pressão que foi exercida sobre ele. Essas interações de causa e efeito podem ser melhor vislumbradas quando se consegue ordenar os estados dos componentes ambientais ligando-os com os respectivos fatores de pressão.”

A Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável (UNCSD) modificou o modelo PSR e chamou-o de Força motriz-estado-resposta, a partir do qual foi possível determinar um rol de indicadores divididos conforme a Agenda 21 em quatro grupos: sociais, ambientais, econômicos e institucionais. (UNCSD, 1996). Em estudos posteriores, por meio de agências como a Agência Ambiental Europeia e o Serviço de Estatística da União Europeia (EUROSTAT), a União Europeia (UE) surge a estrutura Força

Motriz-Pressão-Estado-Impacto-Resposta (FPEIR), que fornece um mecanismo geral para analisar problemas ambientais (EEA, 1999).

Na mesma década, a Organização Mundial da Saúde (OMS) adotou uma abordagem para incluir os impactos das macros forças motrizes e pressões sobre a saúde e o meio ambiente (WHO, 1996). O modelo foi chamado de Força motriz-Pressão-Estado-Exposição-Efeito-Ação (DPSEEA).

Um levantamento bibliométrico no banco de dados Scopus apontou 649 resultados perante a pesquisa inicial que continha os termos “*pressure-state-impact-response*” e “PSIR” nos campos “título”, “resumo” ou “palavras-chave”. Em seguida, aplicou-se um filtro para enquadrar a amostra nos últimos dez anos de publicação (2011 - 2020), o que resultou em 511 documentos. Assim, constatou-se a prevalência de pesquisas relacionadas com o PEIR, bem como observou-se o aumento anual de publicações nessa área (Gráfico 1).

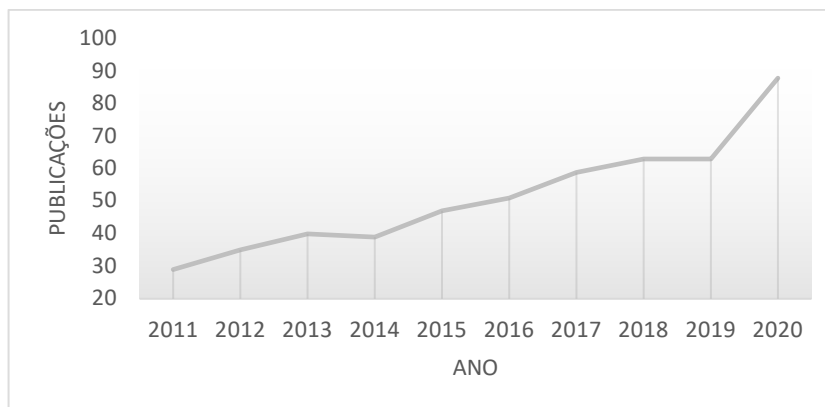


Gráfico 1 – Quantidade de documentos publicados por ano relacionados com o modelo PEIR.
Fonte: Scopus

Anandhi e Kannan (2018), por exemplo, aplicaram o modelo PEIR combinado com o modelo do IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) para quantificar a vulnerabilidade dos recursos hídricos. Ginkel et al. (2018) desenvolveram

um painel com 56 indicadores sobre segurança hídrica urbana a partir da estrutura PEIR. Felinto, Ribeiro e Braga (2018) aplicaram o modelo FPEIR para mensurar a sustentabilidade dos recursos hídricos da cidade de João Pessoa - Paraíba.

4 ÁREA DE APLICAÇÃO

O estudo foi desenvolvido para o Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza, capital do Estado do Ceará, a qual está inserida na Região Nordeste do

Brasil (Fig. 1). Segundo estimativas do IBGE (2018), Fortaleza possui, aproximadamente, 312,407km² de área e 2.643.247 habitantes, o que equivale a cerca de 31% da população do estado.

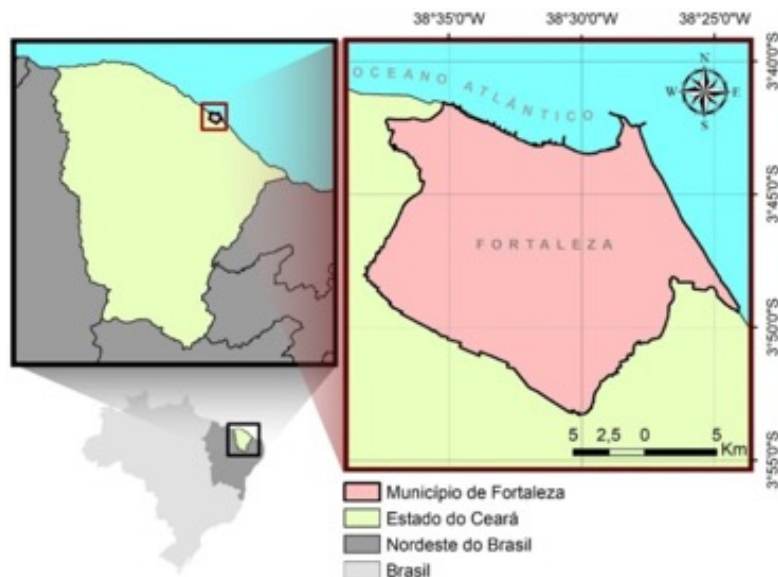


Figura 1 - Localização da capital do Ceará - Fortaleza.

Fonte: Autoral.

De acordo com Silva (2019), a oferta de água bruta da capital cearense é composta por águas locais e inter-regionais que formam o Sistema Jaguaribe-Metropolitano. A oferta local é armazenada em cinco reservatórios que somam uma capacidade de acumulação de 871hm³. São eles: Gavião, Pacoti e Riachão, Pacajus e Aracoiaba. Devido ao crescimento da demanda, esse sistema passou a receber águas provenientes da Bacia do Jaguaribe, formando o Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

As águas inter-regionais somam uma capacidade de acumulação de 10.241hm³, distribuídas

em três reservatórios: o Orós com 1.940hm³, o Banabuiú com 1.601hm³ e o Castanhão com 6.700hm³. Ao descontar o volume de espera de cheia do Castanhão, o volume útil desse sistema para os usos urbanos, irrigação e industrial é 8.002hm³ e 56% dessa capacidade é oriunda desse reservatório.

A água bruta é direcionada para o Sistema de Abastecimento de Água (SAA), que realiza o tratamento e a distribuição de água tratada na cidade e compõe-se de estruturas de captação, adução, tratamento de água, reservação, recalque e de rede de distribuição (Tabela 2).

Tabela 2 - Elementos do SAA de Fortaleza

Sistema	Funcionamento
Captação	A captação é realizada por torre de tomada d'água que recebe água do açude Gavião; posteriormente, a água passa por uma galeria que atravessa a barragem e segue por uma adutora até chegar às estações de tratamento (ETA Gavião e ETA Oeste).
Estação de Tratamento de Água	O tratamento é realizado por duas ETA'S: a Gavião e a Oeste. A primeira tem capacidade nominal de tratamento de 5,4m ³ /s, a ETA Oeste possui uma vazão variante entre 0,75-1,5m ³ /s.
Estações Elevatórias de Água Tratada	Da ETA Gavião originam-se duas estações elevatórias (Gavião Novo e Gavião Velho), a primeira tem um porte maior e possui seis conjuntos motor-bomba instalados (motores de 2200CV), a segunda funciona com dois conjuntos motor-bomba (motores de 2.000CV. Da ETA Oeste, origina-se a outra estação elevatória com vazão máxima de 3,0m ³ /s.
Reservação	O Reservatório Ancuri, com capacidade de 80.000m ³ de água, é o principal centro de reservação do sistema integrado. Dele, originam-se as linhas do macrossistema de distribuição de água que abastecem, por gravidade, a maior parte de Fortaleza.
Rede de Distribuição	A rede de distribuição de Fortaleza tem, aproximadamente, 98,5% de índice de cobertura de água e 4.667km de extensão.

Fonte: Prefeitura de Fortaleza (2014)

5 METODOLOGIA

Adotou-se o modelo PEIR para a identificação dos impactos e respostas às secas no local de estudo por meio de duas etapas: *Brainstorming* e construção da matriz PEIR.

5.1 *Brainstorming*

A técnica de *Brainstorming* foi aplicada para 10 especialistas incluindo planejadores, gestores e operadores do sistema de abastecimento de água, em um *workshop* de um dia no intuito de identificar impactos históricos e existentes desse sistema. Para isso, realizaram-se as seguintes etapas:

1) Elaboração de uma lista de impactos com base no Plano de Seca de Denver (DENVER WATER, 2014) e no Guia Espanhol de Elaboração de Plano de Seca (GONZÁLEZ e MORCILLO, 2007)

para orientar os participantes da sessão técnica do *Brainstorming*;

2) Explicação da meta e do problema a ser discutido na sessão técnica;

3) Divisão dos participantes em grupos de trabalho e apresentação da lista de impactos previamente elaborada;

4) Determinação dos impactos existentes e possíveis de ocorrerem no Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza por meio de reflexão e discussão nos grupos de trabalho;

5.2 Construção da matriz PEIR

Com base nas informações obtidas no *workshop*, foi aplicado o método indutivo para a construção da matriz PEIR. Esse método considera o conhecimento, baseado na experiência do especialista, e permite que generalizações sejam derivadas de observações de casos da realidade concreta e de constatações particulares.

Na matriz, a Pressão é referente aos fatores que podem alterar a situação do sistema; o Estado indica condição do meio (Fig. 2); o Impacto atua como indicador que mensura os efeitos dos desgastes ambientais sobre os seres vivos e o espaço; e a Resposta está associada às intervenções humanas em meio aos impactos (Hoekstra, Buurman e Ginkel, 2018).

Os indicadores do modelo PEIR foram estrategicamente elencados e separados pela sua maneira de atuação e apresentados em forma de diagrama de acordo com suas respectivas inter-relações.

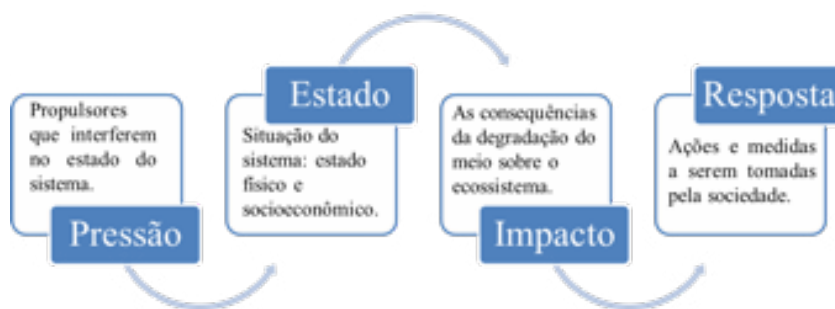


Figura 2 - Representação esquemática do modelo PEIR
 Fonte: Autoral.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados e discutidos os indicadores de cada uma das dimensões da matriz PEIR para os seguintes elementos do sistema de abastecimento urbano de água de Fortaleza: a estação de tratamento de água, o conjunto reservação-adição-rede e visão geral do SAA.

6.1 Estação de Tratamento de água

A Fig. 3 apresenta os três indicadores de pressão que afetam a ETA em caso de escassez hídrica. São eles: a redução da afluência, a evaporação e o lançamento de efluentes. Esses fatores podem ocasionar mudanças significativas no sistema de tratamento, gerando prejuízos sociais e econômicos.

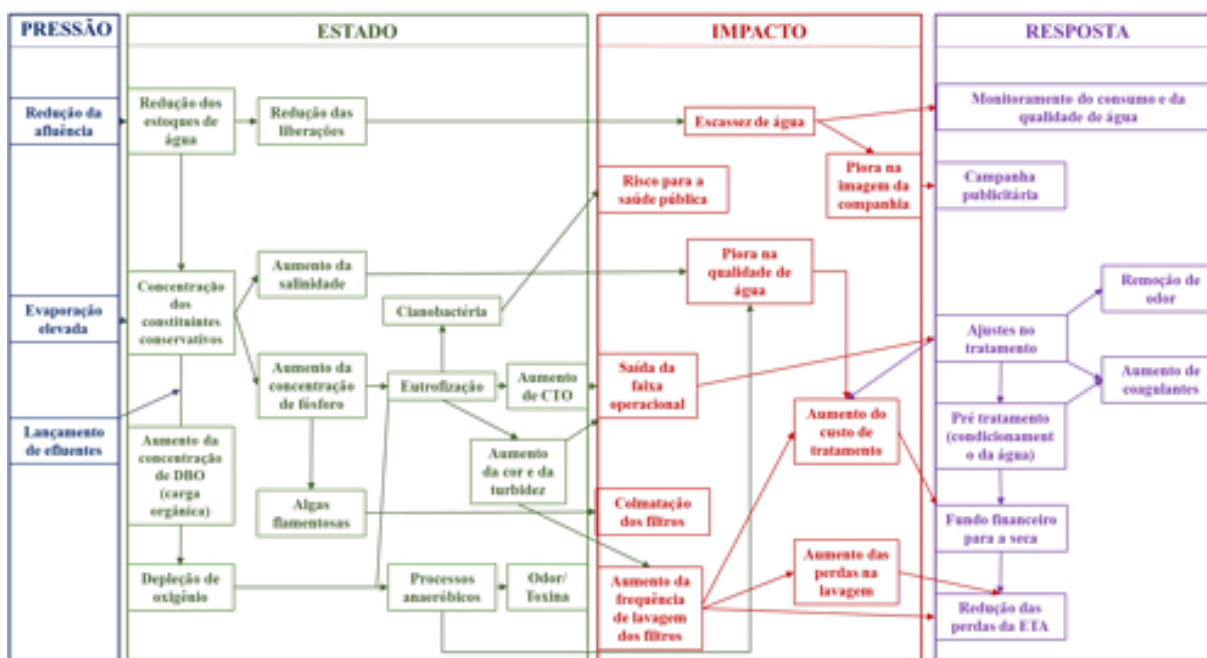


Figura 3 - Diagrama do modelo PEIR aplicada à ETA
 Fonte: Autoral

Essas pressões, quando impostas ao sistema de abastecimento, tendem a reduzir a liberação de água para alguns usuários e aumentar a con-

centração de constituintes conservativos (cloro, fósforo), além de elevar a salinidade da água e facilitar o surgimento de algas filamentosas.

Outra consequência advinda dessas pressões é o aumento da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ocasionado por uma maior quantidade de matéria orgânica presente na água que, em níveis extremos, pode provocar a eutrofização de reservatórios. Esse fator tem ligação direta com a multiplicação de cianobactérias e o aumento de turbidez da água, o que leva à depleção do oxigênio dissolvido, um conseqüente aumento de processos anaeróbicos e o surgimento de odor e toxinas.

Em meio a isso, um dos possíveis impactos acometidos ao sistema de abastecimento seria a escassez hídrica, que, conseqüentemente, afeta a continuidade do abastecimento e a qualidade da água, o que gera transtornos aos usuários e prejudica a imagem da companhia. A saída da faixa operacional dos filtros, por sua vez, advinda da diminuição da carreira de infiltração, tende a provocar o entupimento dos mesmos (colmatação); essa condição aumenta a frequência de lavagem e intensifica os custos com o tratamento.

Dentre as consequências que impactam diretamente a sociedade, destacam-se o agravamento do risco à saúde pública, ocasionado pela presença de cianobactérias e a disseminação de toxinas na água. Tal problemática é extremamente preocupante e requer atenções redobradas.

Diante do diagnóstico apresentado, gestores, planejadores e responsáveis pelo abastecimento de água da RMF propuseram uma série de estratégias em resposta aos impactos:

1) O monitoramento do consumo e da qualidade da água como medida preventiva, a fim de inter-relacionar a disponibilidade hídrica com as peculiaridades socioeconômicas e geoambientais da região e avaliar o seu uso para consumo humano, evitando a disseminação de doenças de veiculação hídrica;

2) A propagação de campanhas publicitárias com a pauta de redução do consumo como medida de impacto social;

3) O ajuste do processo de tratamento e a purificação de água, os quais são as principais formas de reduzir a contaminação da água, torná-la potável e aumentar a eficiência de tais processos;

4) A criação de um fundo financeiro para a seca direcionado para os prestadores de serviço, visto que nesses períodos de ocorrência aumentam-se os gastos com a gestão, o monitoramento e o tratamento de água.

5) A criação de um fundo financeiro para a seca direcionado para os usuários que possam ter prejuízos em eventuais interrupções no abastecimento.

6.2 Reservação, adução e rede de distribuição

Como evidenciado na Fig. 4, o fator de pressão pode condicionar um estado de redução da vazão e do volume a ser distribuído. Tal agravante pode gerar impactos como a redução da água para o consumidor final e ocasionar prejuízos à imagem da companhia. Além disso, a escassez também pode modificar a operação de estações de bombeamento. Esse fator altera a pressão na rede e desarranja variáveis como a pressão mínima e as perdas do sistema. Outro impacto advindo da redução de água é a perda de eficiência energética, ocasionado pela modificação na operação das Estações de Bombeamento (EB's).

Diante da previsão de impactos, gestores da área de recursos hídricos apontaram possíveis ações de resposta com o intuito de reduzir a vulnerabilidade do sistema. Nesse planejamento, a implementação de operação específica dos reservatórios em períodos de estiagem e a definição de rodízio de abastecimento podem auxiliar na minimização da redução drástica de água em períodos prolongados de escassez. Além disso, foi recomendado realizar o controle de perdas

aparentes e reais, na busca por combater fraudes e o uso não autorizado da água; essas estratégias podem contribuir para uma maior integridade dos dados e da contabilidade do consumo. Em

suma, o rol de propostas elencados na dimensão “resposta” auxilia no combate à redução severa da oferta de água e minimiza as perdas de eficiência energética.

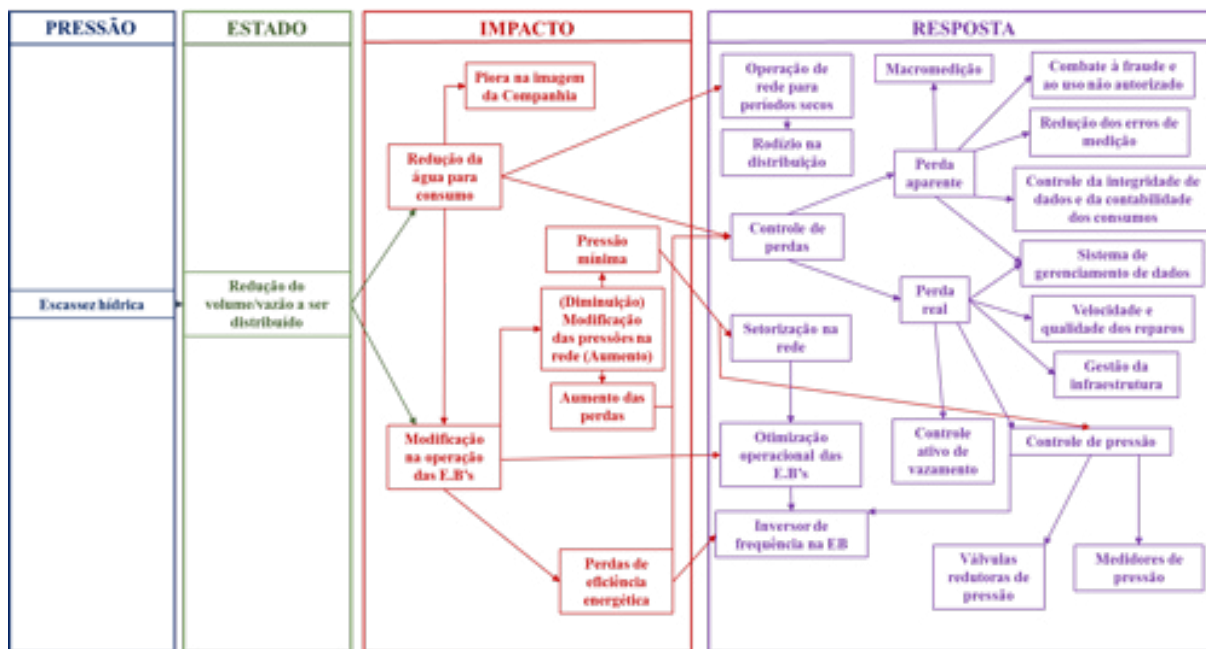


Figura 4 - Diagrama do modelo PEIR aplicada ao sistema de reservação, adução e rede de distribuição.

Fonte: Autoral.

6.3 Visão geral do sistema de abastecimento

A Fig. 5 exibe um diagrama dos indicadores de PEIR aplicado ao sistema de abastecimento de forma integrada frente aos efeitos da escassez hídrica.

Primeiramente, como agentes de pressão foram apontadas: a redução de vazões, a concentração de sal e fósforo e a eutrofização. Tais fatores alteram a situação do sistema gerando a redução do volume armazenado, a piora na qualidade da água e a atenuação da reserva estratégica. A diminuição do armazenamento prejudica o abastecimento, uma vez que a oferta é minorada, o que causa diversos impactos sociais, ambientais e econômicos, conforme explicitado na figura 5. A deterioração das propriedades da água pode provocar doenças de veiculação hídrica no con-

sumidor e elevar os gastos de tratamento com a consequente majoração das tarifas consuntivas. Além disso, a redução da reserva estratégica limita uma das técnicas de precaução e segurança frente a possíveis períodos de estiagem.

Por conta da magnitude da avaliação, associada ao amplo rol de variáveis influenciadoras do sistema, optou-se por classificar as estratégias de resposta em cinco componentes: institucional, infraestrutura, social, econômico e ambiental.

Na componente institucional foram pautadas: i. a criação de um fundo de seca, visto que nessas conjunturas a arrecadação é prejudicada; ii. a criação e a implementação de um sistema de gerenciamento de secas integrado às medidas de vigilância para fiscalizar e punir o uso clandestino da água, denominado como “free-riders”.

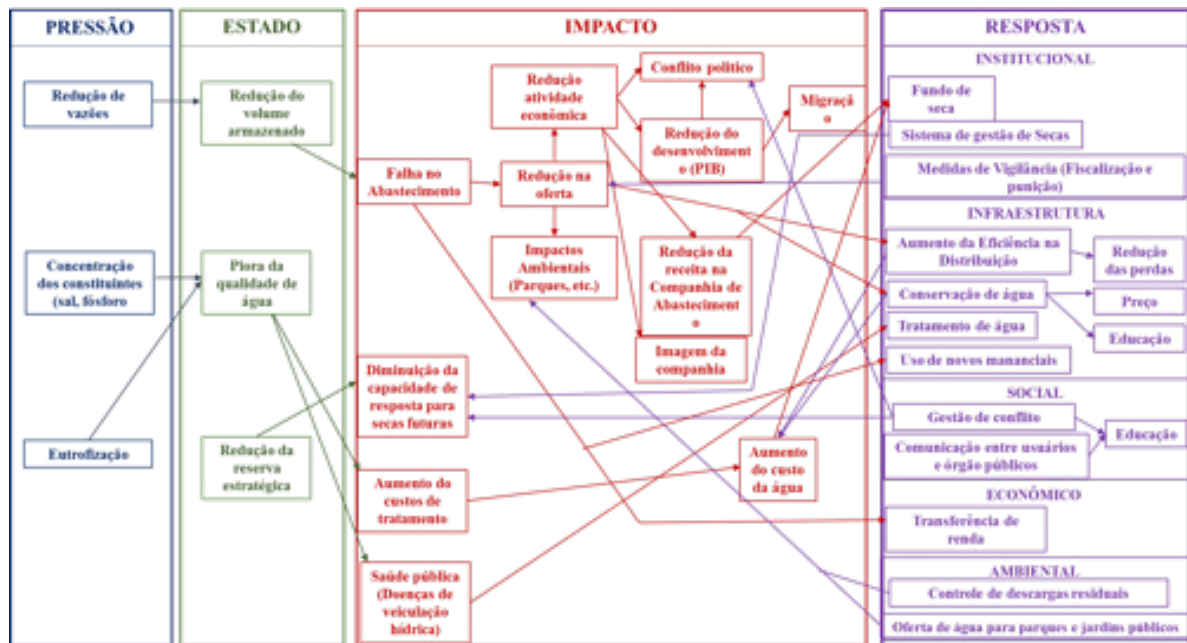


Figura 5 - Diagrama do modelo PEIR aplicada ao sistema de abastecimento como um todo

Fonte: Autoral

Na componente de infraestrutura, ficou evidente a necessidade de aprimorar o sistema de tratamento de água, adotar outras fontes hídricas e conservar a água por meio da alteração da cobrança consuntiva e da conscientização da população para que realize o consumo de maneira moderada. Ademais, é importante aumentar a eficiência na distribuição para reduzir as perdas do sistema.

No que tange à responsabilidade social, são indicadas táticas de gestão de conflitos frente aos prováveis choques de interesses e o estabelecimento de comunicação entre os usuários e os órgãos públicos para que possam implementar, de forma conjunta, as estratégias de mitigação à seca. Em relação à economia, é aconselhável a elaboração de mecanismos de compensação pela transferência hídrica, uma vez que a área de estudo é receptora de água de outra região hidrográfica. Por fim, em resposta aos impactos ambientais, é recomendado controlar as descargas residuais e ofertar água para parques e jardins públicos.

7 CONCLUSÃO

A identificação de impactos e respostas às secas dos sistemas hídricos é um componente da avaliação de vulnerabilidades e etapa crucial para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de planos estratégicos de mitigação de seca. Esses planos são indispensáveis, uma vez que a escassez hídrica tem causado consequências cada vez mais alarmantes para as conjunturas sociais, ambientais e econômicas.

Em linhas gerais, o modelo de Pressão-Estado-Impacto-Resposta viabilizou a identificação, a caracterização, o diagnóstico e a elaboração de respostas para cada problemática apresentada, de maneira clara e sintética. Tais características, inerentes do modelo PEIR, tornaram a leitura dos resultados acessível e possibilitaram uma visão ampla do cenário analisado. Dessa forma, a matriz adotada, aliada aos resultados obtidos, demonstra a aplicabilidade do modelo para o Sistema de Abastecimento de Água de Fortaleza.

Em meio aos resultados encontrados, pode-se aferir que os impactos previstos acarretam uma

série de problemas; dentre eles destacam-se: o aumento do custo de fornecimento e consumo de água, fator que prejudica a acessibilidade de um bem público; a redução da produtividade, condição que afeta negativamente a economia; a eclosão intensa da disputa pela água, fonte de conflitos políticos; e, principalmente, o comprometimento da saúde pública, problema que gera uma série de transtornos às conjunturas sociais. Tais impactos validam a necessidade de elaborar e implementar um plano de preparação às secas minucioso e factível.

Recomenda-se, como complemento, que outros estudos sejam realizados para prever os impactos presentes em outras regiões bem como sejam elaboradas avaliações de vulnerabilidade que integrem todos os riscos do sistema hídrico.

8 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP projeto nº 11098079/2019) pelo apoio técnico e financeiro.

9 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Silva SMO e Souza Filho FA; **Metodologia:** Lopes TMXM, Silva SMO e Souza Filho FA; **Investigação:** Lopes TMXM e Araújo Júnior LM; **Redação – Primeira versão:** Lopes TMXM; **Redação:** Lopes TMXM e Silva SMO.; **Recursos:** Souza Filho FA; Supervisão, Silva SMO.

10 REFERÊNCIAS

ADGER, W. N. et al. Are there social limits to adaptation to climate change? *Climatic Change*. Volume 93, p.335-354, 2009.

ALMEIDA, L. D. Suscetibilidade: novo sentido para a vulnerabilidade. *Revista Bioética*. Volume 18, n.3, p.537-548, 2010.

ALVES, T. L. B.; AZEVEDO, P. V. de. Caracterização dos efeitos da seca no semiárido paraibano. In: **IV Expedição do Semiárido (2013)**. Artigos Científicos Premiados. Disponível em: <<http://expedicaosemiario.org.br/wp-content/uploads/2013/08/Artigo-Telma.pdf>>. Acesso em: 08 jul. 2019.

ANANDHI, A.; KANNAN, N. Vulnerability assessment of water resources – translating a theoretical concept to an operational framework using systems thinking approach in a changing climate: Case study in Ogallala Aquifer. *Journal of Hydrology*. Volume 557, p. 460-474, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.11.032>

BROOKS, N. **Vulnerability, risk and adaptation: a conceptual framework**. Tyndall Centre for Climate Change Working Paper 38, 2003.

CRICHTON, D. The risk triangle. In: Ingleton, J. (Org.). **Natural Disaster Management**. London: Tudor Rose, p. 102-103, 1999.

CUNHA, R. L. A. **Definição de Cenários de Referência para Avaliação dos Impactos das Secas**. Portugal: Porto FEUP, 2008.

DENVER WATER. **Drought Response Plan**. State of the Colorado: Denver, 22p., 2016.

DUTRA, V. A. B. et al. Saneamento em áreas urbanas na Amazônia: aplicação do sistema de indicadores PEIR. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*. Volume 7, n.2, 2018. <http://orcid.org/0000-0003-2617-1548>

EEA. **Environmental Indicators: Typology and Overview**. Technical report n. 25. EEA, Copenhagen, 1999.

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*. Volume 67, n. 218, 2019. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.038>

FERNANDEZ, S.; BOULEAU, G. TREYER, S. Bringing politics back into water planning scenarios in Europe. *Journal of Hydrology*. Volume 518 p.17-27, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.01.010>

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **Land Quality Indicators and Their Use in Sustainable Agriculture and Rural Development**. Roma, 1997. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/W4745E/w4745e00.htm#Contents>>. Acesso em 03 dez. 2020.

GONZÁLEZ, F. C.; MORCILLO, J. C. **Guía para la elaboración de planes de emergencia por sequía em sistemas de abastecimiento urbano**. Ministerio de Medio Ambiente: Asociación Española de abastecimientos de agua y saneamento. 83p., 2007.

- GINKEL, K. C. H. et al. Urban Water Security Dashboard: Systems Approach to Characterizing the Water Security of Cities. *J. Water Resour. Plann. Manage.* Volume 144, n. 12, 2018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000997](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000997)
- GUTIÉRREZ, A. P. A. et al. Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*. Volume 3, p. 95-106, 2014.
- HASHIMOTO, T.; STEDINGER, J. R.; LOUCKS, D. P. Reliability, resiliency and vulnerability criteria for water resource system performance evaluation. *Water Resources Research*. Volume 18, n.1, p.14-20, 1982. <https://doi.org/10.1029/WR018i001p00014>
- HOEKSTRA, A. Y.; BUURMAN, J.; GINKHEL, K. C. H. Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*. Volume 13, n.5, 2018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaba52>.
- IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censodemografico-2010.html?=&t=o-que-e>. Acesso em: 05/06/2019.
- LI, Y. et al. Water Environment Management and Performance Evaluation in Central China: A Research Based on Comprehensive Evaluation System. *Water*. Volume 11, p. 2472, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11122472>.
- LU, H. et al. Comprehensive groundwater safety assessment under potential shale gas contamination based on integrated analysis of reliability–resilience–vulnerability and gas migration index. *Journal of Hydrology*. Volume 578, p. 124072, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124072>.
- MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. *Revista Brasileira de Estudos da População*. São Paulo: v. 22, n. 1, p. 29-53, jan./jun., 2005.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) Core set of indicators for environmental performance reviews. *Environmental Monographs*, OCDE, v. 93, n. 179, 1993.
- PREFEITURA DE FORTALEZA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza**: Convênio de cooperação técnica entre Companhia de Água e Esgoto do Ceará – CAGECE e Agência Reguladora de Fortaleza (ACFOR). 2014.
- PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **GEO Brasil 2002**. Perspectivas do Meio Ambiente do Brasil. Organizado por Thereza Cristina Carvalho Santos e João Batista Drummond Câmara. Brasília: IBAMA, p.440, 2002.
- REIS, G. A. et al. Development of a drought vulnerability index using MCDM and GIS: study case in São Paulo and Ceará, Brazil. *Natural Hazards*. Volume 104, p. pages1781–1799, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04247-7>
- SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. A.; CID, D. A. C.; AQUINO, S. H. S.; XAVIER, L. C. P. Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza. *Eng Sanit Ambient*, v.24, n.2, p. 239-250, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181776>
- SOUZA, C. O. M.; FOUTO, N. M. N. D. Economic incentives for water consumption reduction: case study of the city of Sao Paulo, Brazil. *Water Policy*, 21(6): 1266–1278, 2019. <https://doi.org/10.2166/wp.2019.022>
- SOUZA, J. L.; SILVA, I. R. Utilização do modelo Pressão-Estado-Resposta na avaliação da qualidade das praias da ilha de Itaparica/Bahia. *Cadernos de Geociências*. Volume 11, n.1-2, 2014.
- UNCSD. **Indicators of Sustainable Development—Framework and Methodologies**. United Nations: New York, NY, USA, 1996. Disponível em < <https://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/indisd/english/english.htm>> Acesso em 04 de dez. 2020.
- UNEP **World Environment Outlook: Brainstorming Session**. ENEP/EAMR. Nairobi: p. 18, 1994.
- VEYRET, Y. Os Riscos: o Homem como agressor e vítima do meio ambiente. **Internationally Agreed Glossary for Basic Terms Related to Disaster Management**. São Paulo: Ed. Contexto, 2007.
- WANG, B. et al. An overview of climate change vulnerability: a bibliometric analysis based on Web of Science database. *Natural Hazards*. Volume 74, n. 9, p. 1649-1666, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1260-y>
- WHITE, G. F. **Human Adjustment to Floods**. Research Paper n° 29. Department of Geography – Chicago: The University of Chicago, 1945.
- WHO. **Linkage Methods for Environment and Health Analysis**. General Guidelines; WHO/EHG/95.26; Geneva, Switzerland, 1996.
- WILHITE, D. A.; BOTTERILL, L.; MONNIK, K. National Drought Policy: Lessons Learned from Australia, South Africa, and the United States. In: Wilhite D.A. (1st ed.) **Drought and water crises: science, technology, and management issues**. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 93–135, 2005.
- WILHITE, D. A.; GLANTZ, M. H. **Understanding the drought phenomenon: The role definitions**. Colorado: Westview, cap. 2, p. 11-14, 1987.
- ZHANG, C. et al. Exploring the relationships among Reliability, Resilience, and Vulnerability of water supply using many-objective analysis. *J. Water Resour. Plann. Manage.* Volume 143, n. 8, 2017. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000787](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000787)