

## QUANTIFICAÇÃO E IDENTIFICAÇÃO ESPACIAL DA SENSIBILIDADE À SECA NO CEARÁ: SETOR URBANO

*Gabriela de Azevedo Reis<sup>1\*</sup>; Francisco de Assis de Souza Filho<sup>2</sup>; Renan Vieira Rocha<sup>3</sup>*

**Resumo** – O Nordeste lidera o ranking de número de afetados por desastres relacionados com fenômenos naturais, devido aos grandes impactos causados pelas secas. A população dessa região se apresenta como a mais vulnerável às mudanças climáticas. A vulnerabilidade consiste em sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa. A fim de auxiliar na tomada de decisão dos gestores de recursos hídricos frente aos problemas da seca, este trabalho apresenta um método para quantificar a sensibilidade à seca no setor de abastecimento urbano dos municípios do estado do Ceará e identificar espacialmente as regiões que mais demandam atenção das ações políticas. A análise levou em conta indicadores socioeconômicos e de demanda urbana para cada município. Os indicadores foram normalizados e divididos em quatro classes de sensibilidade. Por meio de ferramentas SIG, foi elaborado um mapa de sensibilidade à seca, exibindo a distribuição espacial das classes de sensibilidade através do estado do Ceará. O estudo apontou que a sensibilidade extrema ocorre em regiões agrupadas e que 45% dos municípios do estado se encontram em situação de sensibilidade alta e extrema. Recomenda-se, entretanto, propor este estudo adicionalmente a um estudo de exposição à seca.

**Palavras-Chave** – Sensibilidade. Mudanças climáticas. SIG.

## QUANTIFICATION AND SPATIAL IDENTIFICATION OF SENSIBILITY TO DROUGHT AT CEARÁ: URBAN SECTOR

**Abstract** – The Northeast leads the ranking of the number of people affected by hazards related to natural phenomenon due to the large impacts caused by droughts. This region's population is the most vulnerable to climate change. Vulnerability consists of sensibility, exposure and adaptive capacity. In order to assist the decision making in water resources management in front of drought issues, this paper presents a method to quantify sensibility to drought for the urban water supply system from the cities of Ceará and spatially identify the areas that demand more attention from political policies. The analysis took into consideration social, economic and urban water demand indicators for each city. The indicators were normalized and divided into four classes of sensibility. Using GIS tools, it was elaborated a map of sensibility to drought, exhibiting the spatial distribution of the sensibility classes through Ceará. The study pointed that extreme sensibility occurs in grouped areas and that 45% of the cities are classified into extreme and high sensibility. However, it is recommended that this study could be added to a study of exposure to drought.

**Keywords** – Sensibility. Climate change. GIS.

<sup>1</sup> Mestranda em Engenharia Civil/Recursos Hídricos na Universidade Federal do Ceará – gabrielareisazevedo@gmail.com

<sup>2</sup> Professor pós-doutor adjunto no Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará – assissouzafilho@gmail.com

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Civil/Recursos Hídricos na Universidade Federal do Ceará – renanvierocha@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Uma das alterações mais impactantes na dinâmica do sistema terrestre são as mudanças climáticas, caracterizadas por eventos extremos, resultando em diversos desastres naturais ao redor do planeta. No Brasil, a Região Nordeste lidera o ranking de número de afetados por desastres naturais, devido aos grandes impactos deixados pelas secas (UFSC, 2012).

A população do Nordeste brasileiro se apresenta como a mais vulnerável às mudanças climáticas, tendo como base que grupos populacionais com piores condições de educação, moradia e renda sofreriam impactos mais graves diante de mudanças no clima e no meio ambiente. Além das condições socioeconômicas, a vulnerabilidade no Nordeste é agravada pelas condições fisiográficas e climáticas. Esses fatores fazem com que a região receba maior atenção de políticas de adaptação aos impactos de possíveis alterações climáticas (PBMC, 2013).

O conceito de vulnerabilidade tem sido aplicado no estudo de riscos de desastres naturais desde a década de 70, onde o trabalho de Holling (1973) foi grande impulsionador deste tipo de análise. Susman *et al.* (1983) introduziu a ideia de que a vulnerabilidade ao desastre não está atrelada apenas ao risco de tal desastre acontecer, como também depende da situação socioeconômica da população atingida. Bohle *et al.* (1994) apresenta o conceito como variável de acordo com o tempo. Ou seja, a vulnerabilidade não se manterá constante durante os anos. Trabalhos mais recentes apresentam o conceito de vulnerabilidade dividido entre três importantes fatores: sensibilidade, exposição e capacidade adaptativa (Abraham, 2006). A exposição representa os fatores físicos climáticos ao qual a área de estudo está exposta; a capacidade adaptativa é a habilidade que uma comunidade tem de amenizar os impactos e persistir diante de um desastre natural, como a seca. A sensibilidade é a resiliência de um sistema diante de perturbações externas, caracterizada pela susceptibilidade de uma comunidade aos efeitos da seca (Fontaine, 2007). Este trabalho é focado na análise de sensibilidade à seca, considerando o abastecimento urbano no estado do Ceará. A escolha da área de estudo dar-se pela grande limitação de recursos hídricos disponíveis no estado que passa, ainda, pela maior seca dos últimos 100 anos.

Ainda que não seja possível evitar a ocorrência de secas, é possível amenizar os impactos gerados. Um método muito utilizado de prevenção de impactos causados por desastres relacionados a fenômenos naturais é o zoneamento, que consiste em mapear as áreas de risco, considerando variáveis biofísicas e/ou sociais, identificando a localização das comunidades vivendo em cenários mais sensíveis (Kobyama *et al.*, 2006). Por isso, trata da análise de sensibilidade de maneira espacial, a fim de gerar uma visualização das regiões mais sensíveis do estado.

### Justificativa e objetivos

Como justificativa para a elaboração desta análise, destaca-se a importância de uma gestão que leve em conta o cenário de recursos hídricos extremamente limitados e condições climáticas adversas, de modo que os impactos na sociedade e no meio ambiente sejam mitigados. A análise da sensibilidade aponta aos tomadores de decisão quais regiões são mais sensíveis aos efeitos da seca.

Esse estudo tem por objetivo geral a análise espacial da sensibilidade à seca no estado do Ceará para o setor de abastecimento urbano. Como objetivos específicos tem-se a escolha dos indicadores; o cálculo da sensibilidade por município; o mapeamento da sensibilidade por todo o estado do Ceará.

## METODOLOGIA

A sensibilidade de uma população à seca trata da resiliência do sistema, ou seja, da situação em que a população se encontra. Portanto, deve-se considerar os fatores socioeconômicos da população a ser estudada, além de levar em conta seu cenário de demanda hídrica.

Para elaboração do índice de sensibilidade foram utilizados os indicadores listados na Tabela 1. Os indicadores têm relação direta (quanto maior o indicador, maior a sensibilidade) ou indireta (quanto maior o indicador, menor a sensibilidade) com a sensibilidade. Os dados foram obtidos através de órgãos competentes como IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) e ANA (Agência Nacional das Águas).

Tabela 1. Indicadores utilizados.

Indicador	Relação com sensibilidade
1. Densidade populacional (2014)	Direta
2. População (2014)	Direta
3. IDH Municipal (2010)	Indireta
4. PIB <i>per capita</i> (2014)	Indireta
5. Demanda urbana / demanda total	Direta

O maior número bruto de habitantes, além da maior concentração da população em uma região, caracterizados pelos indicadores 1 e 2, aumentam a sensibilidade à seca por demandarem um maior volume de água para abastecimento. As condições socioeconômicas de uma população, descritas por índices como o IDH Municipal e o PIB *per capita*, auxiliam na estruturação da qualidade de vida e diminuem os impactos de uma comunidade diante de uma crise hídrica. Por fim, o indicador 5 apresenta a razão de volume de água que é demandado para o setor urbano nos municípios do Ceará.

Foi realizada uma normalização dos indicadores a partir das Equações (1) (para indicadores com relação direta) e (2) (para indicadores com relação indireta):

$$I_p = \frac{I_m - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (1)$$

$$I_p = \frac{I_m - I_{max}}{I_{min} - I_{max}} \quad (2)$$

Onde a variável  $I_p$  corresponde ao valor padronizado do indicador (I) no município (m).  $I_m$  equivale ao valor original do indicador (I) no município (m), e  $I_{max}$  e  $I_{min}$  são, respectivamente, o valor máximo e o valor mínimo do indicador (I) dentro do universo de municípios.

A sensibilidade (S) foi calculada a partir da Equação (3), obtendo uma média dos indicadores padronizados para cada município. A sensibilidade é mais alta para valores mais próximos de 1.

$$S_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_m}{n} \quad (3)$$

Onde  $S_m$  representa a sensibilidade por município e  $n$ , o número total de indicadores.

A classificação feita para a sensibilidade em cada município está descrita na Tabela 2. Foram obtidos a média ( $M$ ) e o desvio padrão ( $\alpha^2$ ) dos valores da sensibilidade, de modo que as classes foram divididas como probabilidades.

Tabela 2. Classificação da sensibilidade.

Classe	Descrição	Intervalo
1	Extrema	$S_m > M + \alpha^2$
2	Alta	$M + \alpha^2 \geq S_m > M$
3	Moderada	$M \geq S_m > M - \alpha^2$
4	Baixa	$M - \alpha^2 > S_m$

As informações das classes de sensibilidade para cada município foram adicionadas em um Sistema de Informações Geográficas a fim de produzir, como resultado principal, um mapa exibindo a classificação da sensibilidade para cada município do Ceará.

## RESULTADOS E ANÁLISES

É importante ressaltar que a análise de sensibilidade não leva em consideração os efeitos físicos e climáticos nas áreas de estudo. A Figura 1 representa o principal resultado deste estudo: o mapa de sensibilidade à seca no setor urbano por município.

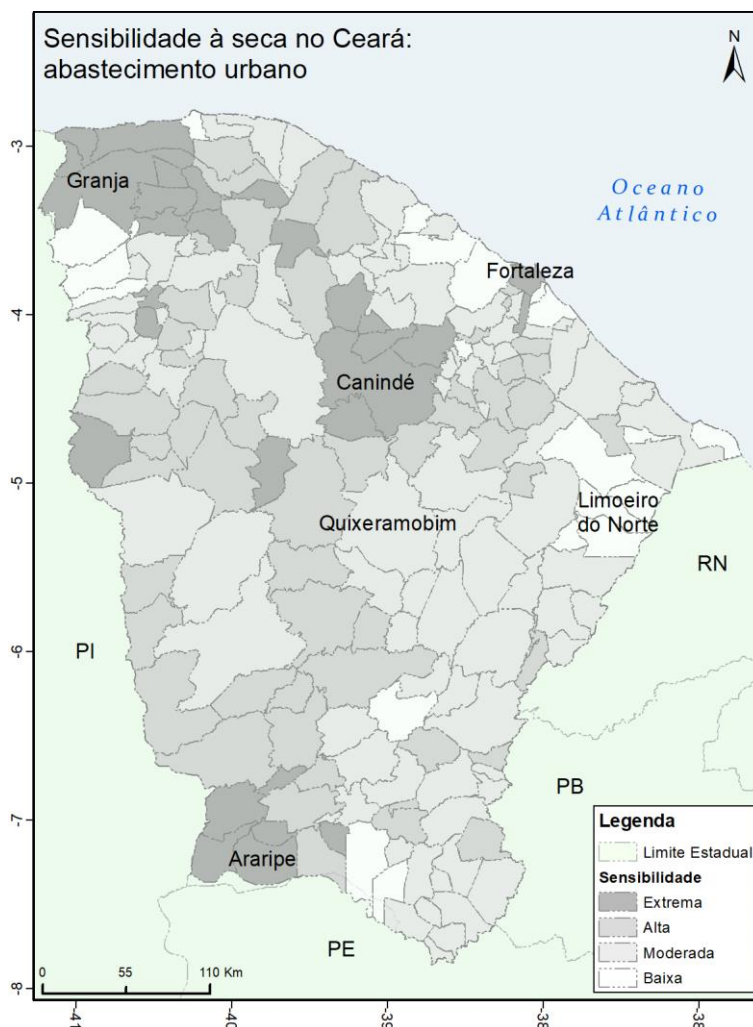


Figura 1. Mapa de sensibilidade à seca no setor urbano por município

O número de municípios por classe de sensibilidade está representado na Tabela 3.

Tabela 3. Número de municípios por classe de sensibilidade no Ceará.

Sensibilidade	Número de municípios
Extrema	30
Alta	53
Moderada	81
Baixa	20

É possível observar no mapa três regiões marcadas pela extrema sensibilidade à seca: o extremo noroeste do estado, extremo sudoeste e uma parte do centro-norte, além da capital do estado, Fortaleza. A Tabela 4 ilustra os valores dos indicadores não padronizados para cada município destacado na Figura 1 a fim de comparar os resultados das diferentes condições das cidades.

Tabela 4. Resultados selecionados.

Cidade	Sensibilidade	Densidade Populacional 2014 (hab/km <sup>2</sup> )	População 2014 (hab)	IDHM 2010	PIB <i>per capita</i> 2014	Dem. urb./Dem. total
Araripe	Extrema	19,309	21.230	0,564	7.311	0,6153
Canindé	Extrema	23,856	76.724	0,612	7.380	0,5605
Fortaleza	Extrema	8.172,429	2.571.896	0,754	22.057	1,000
Granja	Extrema	20,149	53.682	0,559	5.304	0,5320
Limoeiro do Norte	Baixa	77,074	57.782	0,682	13.956	0,0207
Quixeramobim	Moderada	23,337	76.386	0,642	9.316	0,1784

Comparando tais resultados selecionados, percebe-se que há uma grande influência de valores marcantes de indicadores na caracterização da sensibilidade. Os municípios de Canindé e Quixeramobim apresentam grande semelhança em 4 dos 5 indicadores. Entretanto, Quixeramobim apresenta uma demanda urbana de aproximadamente 18% da demanda total de água, enquanto a de Canindé é de 56%. Como mais da metade da água demandada para o município é para o urbano, a cidade de Canindé se apresenta uma extrema sensibilidade aos períodos de estiagem. Adicionalmente, Fortaleza, a capital do estado, também apresenta extrema sensibilidade. A grande população e o alto adensamento populacional da cidade apresentam grande impacto neste resultado, além de que toda a demanda de água para a capital é destinada ao setor urbano.

Adicionalmente, foram gerados dois mapas. A Figura 2a apresenta a disponibilidade hídrica por trecho de rio considerando 95% de garantia (Q95). Já a Figura 2b mostra a frequência na qual municípios decretaram situação crítica ou de perigo no abastecimento de água urbano entre os anos de 1998 e 2015, de acordo com dados da COGERH. Percebe-se que na área central do estado há uma homogeneidade na classificação de sensibilidade (moderada e alta), além de não haver alta frequência de municípios que declararam situações emergenciais no abastecimento urbano. É possível observar, de acordo com a Figura 2a, que o estado do Ceará apresenta grande fragilidade na oferta de água. Dada fragilidade adicionada às sensibilidades extremas e altas de vários municípios servem como alerta aos sistemas de gestão de recursos hídricos atuantes no Ceará. A sensibilidade, tal como a vulnerabilidade, varia no tempo e pode diminuir (ou aumentar) diante de ações governamentais, caracterizando o conceito de capacidade adaptativa. Como exemplo tem-se o município de Fortaleza, que apresenta extrema sensibilidade mas conta com projetos de transposição de água para garantir o abastecimento de sua população, que hoje conta com mais de 2,5 milhões de habitantes.

O resultado deste estudo aponta, portanto, regiões do estado que devem receber uma maior atenção dos órgãos públicos a fim de mitigar os impactos causados pelas secas.

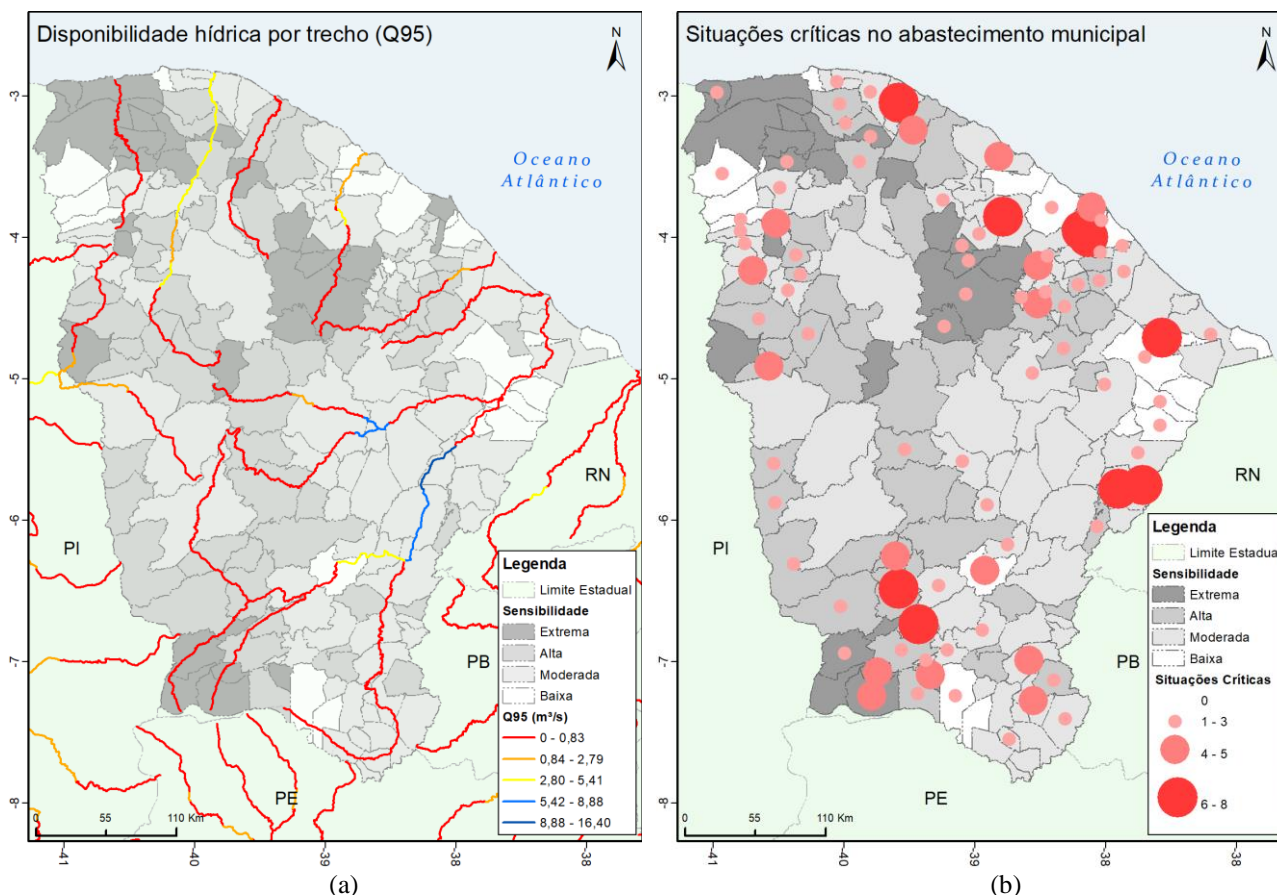


Figura 2. Mapas de sensibilidade com (a) a disponibilidade hídrica por trecho de rio para garantia de 95% e (b) frequência de situações críticas ou em perigo no abastecimento urbano.

## CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

O estado do Ceará passa por uma das maiores secas de sua história. Com a limitação de recursos hídricos, a população fica susceptível à escassez no abastecimento de água. A partir dos resultados desse estudo, é possível analisar quais municípios necessitam de mais atenção na gestão de recursos hídricos, sendo possível que os órgãos competentes tracem estratégias de combate à seca, aumentando a capacidade adaptativa do estado.

Foi possível notar que cerca de 45% dos municípios se encontram em estado de sensibilidade alta ou extrema. Com a Figura 2a, pode-se ressaltar que o cenário do estado se agrava por observar a precária disponibilidade de recursos hídricos. Já com a Figura 2b, conclui-se que análise de sensibilidade por si só não é suficiente para uma tomada de decisão, visto que há municípios com sensibilidade baixa ou moderada mas com frequências de situações críticas. Recomenda-se, portanto, que este estudo esteja ao lado de uma análise de exposição, levando em consideração fatores físicos e climáticos, como a severidade e durabilidade das secas e séries temporais de precipitação.

Por fim, é possível olhar para a capital do Ceará, Fortaleza, e perceber que a cidade se encontra em extrema sensibilidade. Entretanto, durante esta seca recente, a população da capital não foi fortemente afetada. Isso tem influência das ações de transposição de água para abastecimento da capital e região metropolitana, que aumentaram a capacidade de adaptação da cidade aos impactos da seca.

## REFERÊNCIAS

ABRAHAM, J. S. (2006). *Assessing drought vulnerability*. University of Arizona.

BOHLE, H. G.; DOWNING, T. E.; WATTS, M. J. (1994). Climate change and social vulnerability. *Global Environmental Change*, 4, 1, pp. 37-48.

FONTAINE, M. M. (2007). *Assessing vulnerability to natural hazards: an impact-based method and application to drought in Washington State*. University of Washington. 165p.

HOLLING, C. S. (1973) Resilience and stability of ecological systems. *A. Rev. Ecol. Systems*, 4, pp. 1-23.

KOBIYAMA, M.; MENDONÇA, M.; MORENO, D. A.; MARCELINO, I. P. V. O.; MARCELINO, E. V.; GONÇALVES, E. F.; BRAZETTI, L. L. P.; GOERL, R. F.; MOLLERI, G. S. F.; RUDORFF, F. M. (2006). *Prevenção de Desastres Naturais: Conceitos Básicos*. 1. ed. Curitiba: Organic Trading.

PBMC – PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (2013). *Impactos, vulnerabilidades e adaptação*. Sumário Executivo. Brasília.

SUSMAN, P., O'KEEFE, P. and WISNER, B. (1983). Global disasters, a radical interpretation, In: *Interpretations of Calamity for the Viewpoint of Human Ecology*, pp. 263-283, K. Hewitt (Ed.). Allen & Unwin, Boston, MA.

UFSC - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA (2012). *Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2010*. Florianópolis.