



## **XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE**

### **AValiação da Severidade da Seca no Reservatório de Caxitoré com Base no Índice de escoamento Normalizado, no Índice de Reservatório e no Volume Estocado**

*Luiz Martins de Araújo Júnior<sup>1</sup>, Francisco de Assis de Souza Filho<sup>2</sup>, Cleiton da Silva Silveira<sup>1</sup>, Rogério de Carvalho Studart<sup>3</sup>, Samuelson Lopes Cabral<sup>1</sup>*

**RESUMO** – Este trabalho tem como objetivo analisar eventos de ocorrência de seca no açude de Caxitoré e verificar a diferença de classificação de severidade da seca ao longo dos anos, gerado pelos índices IR (Índice de Reservatório), SRI (Índice de Precipitação Normalizada) e pelos volumes estocados. Para o cálculo desses índices foi utilizada uma formulação semelhante ao SPI (Índice de Precipitação Normalizada). Os resultados mostraram que a seca que aflige o reservatório de Caxitoré ou o nível de severidade de seca do mesmo, nem sempre ocorre devido as condições naturais a qual o reservatório é exposto. Portanto, as vezes a seca ou a severidade dela podem ser agravadas devido a ação antrópica sobre o reservatório.

**ABSTRACT** – This work aims to analyze events occurring in dry weir Caxitoré and check the difference classification of severity of drought over the years, generated by IR (Index Reservoir), SRI (Standardised Precipitation Index) indices and the volumes stored. To calculate such index similar to the SPI (Standardized Precipitation Index) formulation was used. The results showed that the drought afflicting the reservoir Caxitoré or level of drought severity of it, because the natural conditions does not occur in which the shell is exposed. Therefore, sometimes the dry or the severity of it can be aggravated due to human action on the reservoir.

**Palavras-Chave** – Severidade de seca, SRI e SPI, Caxitoré.

1) Doutorando em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hall,S/N, Campus do Pici, bloco 713, Fortaleza, CE, CEP:60.455-760, e-mail: lu.m.a.junior@gmail.com.

2) Professor Titular do Curso de Doutorado em Engenharia Hidráulica e Ambiental pela Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hall, S/N, Campus do Pici, bloco 713, Fortaleza, CE, CEP:60.455-760, e-mail: [assissouzafilho@gmail.com](mailto:assissouzafilho@gmail.com).

3) Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará, Av. Mister Hall,S/N, Campus do Pici, bloco 713, Fortaleza, CE, CEP:60.455-760, e-mail: rstudart@fortalnet.com.br.

## 1 INTRODUÇÃO

A seca é um fenômeno recorrente que afeta ecossistemas, setores econômicos e sociais, abastecimento urbano de água, entre outras coisas. A grande variedade de setores afetados pela seca, a sua diversificada distribuição geográfica e temporal, e a demanda alocada para o abastecimento de água por uso humano torna difícil o desenvolvimento de uma única definição de seca (HEIM JR, 2002).

Segundo Wilhite e Glantz (1985) existem basicamente 4 tipos de seca, que são meteorológica ou climatológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica. A relação entre esses diferentes tipos de seca é complexa.

As discordâncias existentes em relação a definição de seca tornam impossível criar um índice de seca universal. As características da seca e o grande número de setores econômicos em que se tem impactos faz com que seu efeito seja difícil quantificar. Desse modo, devido à complexidade da seca, um único índice não tem sido capaz de captar adequadamente a intensidade e a gravidade da seca e seus potenciais impactos sobre um grupo tão diversificado de usuários. Assim, várias metodologias têm sido desenvolvidas e utilizadas na análise de secas.

Índices de seca são normalmente utilizados na monitorização e identificação das secas em várias escalas temporais. Dentre estes os mais difundidos pela sua utilização são o índice de Palmer, PDSI (*Palmer Drought Severity Index*) e o índice normalizado de precipitação, SPI (*Standardized Precipitation Index*), associado a esse último tem-se o SRI (*Standardized Runoff Index*).

O índice normalizado de precipitação, SPI, desenvolvido recentemente por McKee *et al.* (1993, 1995), teve grande divulgação e baseia-se na distribuição de probabilidade da precipitação e pode ser calculado em diferentes escalas de tempo. Por ser um índice normalizado, permite adequada comparação entre diferentes locais e climas. O SRI e o SPI são semelhantes quando se baseiam em um longo período de acumulação, mas o SRI incorpora processos hidrológicos que determinam defasagens sazonais na influência de clima na vazão. Como resultado, em escalas de tempo mensal para sazonal, o SRI é um complemento útil do SPI para retratar os aspectos hidrológicos de seca (Shukla e Wood, 2008).

Nesse contexto, o objetivo desse estudo é verificar a seca em um reservatório de acumulação de água ao longo dos anos e avaliar a diferença de classificação de severidade da seca ao longo dos anos, observando qual o agente modificador dessa classificação.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

No desenvolvimento desse estudo foram utilizados dados mensais de vazão afluente e de volume armazenado, para um período entre 1970 e 2012, no barramento do rio Caxitoré. Este localizado no município de Pentecoste-CE, formando um lago com superfície com cerca de 4.574 ha e um volume máximo de acumulação de  $202 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Com os dados de vazão afluente calculou-se o índice de escoamento normalizado, SRI (do inglês, *Standardized Runoff Index*), ao qual foram feitas escolhas de escalas temporais, baseadas no tempo de residência da água no reservatório, que conceitualmente se refere a quantidade média de tempo que a capacidade máxima de acumulação do reservatório levaria para se extinguir a uma taxa de fluxo máxima da água ou vazão regularizada máxima.

Nesse contexto, o tempo de residência do reservatório foi obtido pela razão entre o volume máximo de acumulação do reservatório,  $202 \text{ hm}^3$ , e a vazão média anual do sistema,  $65,19 \text{ hm}^3/\text{ano}$ , chegando a um valor 3,1 anos. Com isso, calculou-se o SRI para as escalas temporais de 12, 24 e 36 meses, ou seja, para tempos de respostas de 1, 2 e 3 anos. As escalas de tempo utilizada para o cálculo do índice estão diretamente relacionadas com o tempo necessário para que os efeitos da seca sejam sentidos sobre os diferentes setores de atividades e sobre os recursos hídricos em geral.

Um índice de reservatório, IR, também foi determinado através dos estoques de água armazenado no açude Caxitoré, utilizando apenas o volume acumulado do mês de janeiro de cada ano em estudo. Em seguida, foi feita uma classificação de severidade da seca tanto para os índices de SRI e IR computados como para os dados de volume acumulado, por meio da probabilidade acumulada dos índices mencionados, no reservatório em estudo.

O IR e o SRI podem ser computados da mesma maneira que o índice de precipitação normalizado (SPI), conforme Shukla e Wood (2008), porém os dados de entrada são os volumes de água armazenado e as vazões ao invés de precipitações. Com isso, tem-se que o IR e o SRI são índices adimensionais em que valores negativos indicam seca e valores positivos indicam períodos úmidos. Com esse índice, a intensidade da seca, a magnitude e a duração podem ser determinadas, bem como a probabilidade de surgir a partir de uma série histórica uma seca específica.

Para o cálculo do SRI e do IR, em uma a escala de tempo escolhida, ajusta-se uma distribuição de probabilidade para os valores de vazão e volume estocado, respectivamente, depois estima-se os valores da distribuição de probabilidade correspondente e converte os valores de probabilidade acumulada obtidos que correspondem à variável normal reduzida.

A distribuição de probabilidade utilizada no ajuste dos dados foi a gama dois parâmetros, definida por

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}, x > 0 \quad (1)$$

em que  $\alpha > 0$  é o parâmetros de forma,  $\beta > 0$  o parâmetro de escala,  $x$  é a variável aleatória em estudo e

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

a função gama. A distribuição gama, conforme exposto na equação (1), só está definida para  $x > 0$ , logo quando um dado mês apresenta valores nulos, faz-se necessário o uso de uma transformação da distribuição de probabilidade acumulada, dada por

$$F(x) = q + (1 - q)G(x) \quad (3)$$

sendo  $G(x)$  conhecida como função gama incompleta, que é a função de distribuição estimada a partir dos valores não nulos da série de dados utilizada e  $q$  a probabilidade de zeros na amostra. Com isso, o SRI e o IR são definidos assim como o SPI em Pereira e Paulo (2004),

$$SPI = \varphi^{-1}[F(x)] \quad (4)$$

em que  $\varphi$  a função de distribuição normal reduzida. Os valores de SRI, IR e os volumes estocados são classificados conforme a Tabela 2.

Tabela 01 – Classificação dos valores de SRI, IR e volumes estocados.

SRI e IR	Probabilidade acumulada	Classificação	Categoria
0 a -0,99	0,160 a 0,500	D0	Seca Ligeira
-1,00 a -1,49	0,068 a 0,159	D1	Seca Moderada
-1,50 a -1,99	0,024 a 0,067	D2	Seca Severa
$\leq -2,00$	$\leq 0,023$	D3	Seca Extrema

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Tabelas 02 e 03 mostram, os volumes estocados e a classificação desses volumes baseados na associação dos limiares de probabilidade acumulada, mostrados na Figura 01, os valores e classificação do IR tendo como entrada os volumes estocados, além do SRI para três escalas temporais, 12, 24 e 36 meses no reservatório de Caxitoré e a classificação de severidade de seca, indicada pela cor de preenchimento da célula da tabela, entre 1971 e 2012.

Assim, pelas Tabelas 02 e 03, verifica-se em alguns anos, como 1971, 1993 e 1998 as vazões naturais afluentes indicam no máximo seca ligeira enquanto que as classificações dos volumes estocados e o índice IR apresentam classificação de severidade variando entre seca moderada e seca extrema. Entre os anos supracitados, pode-se ainda destacar o de 1998, em que o SRI-12 mostra uma classe de severidade D0 (seca ligeira) enquanto a classificação dos índices associados ao volume estocado mostra um nível de severidade D3, ou seja, seca extrema.

Tabela 02 – Classificação dos valores de IR e SRI para os volumes estocados e para as vazões afluentes entre os anos de 1971 e 1992, em verde representa a classe D0, amarelo a classe D1, laranja a classe D2 e vermelho a classe D3.

Ano	Volumes Estocados		Vazões Afluentes		
	Volume (hm <sup>3</sup> )	IR	SRI-12	SRI-24	SRI-36
1971	28,3	-2,15	-0,44	–	–
1972	47,2	-1,48	0,01	-0,35	–
1973	49,8	-1,40	0,04	–	-0,39
1974	55,3	-1,25	1,38	0,90	–
1975	173,1	0,77	3,02	–	–
1976	172,6	0,76	1,48	2,58	2,35
1977	138,2	0,31	0,13	–	–
1978	134,1	0,25	0,80	0,45	–
1979	82,4	-0,62	-0,17	–	0,19
1980	124,4	0,11	-0,84	-0,59	–
1981	150,1	0,48	-0,69	–	–
1982	184,8	0,91	-0,76	-0,99	-1,22
1983	159,2	0,59	-0,63	–	–
1984	164,5	0,66	-1,49	-1,08	–
1985	148,9	0,46	-0,09	–	-0,78
1986	188,6	0,95	1,93	1,35	–
1987	168,8	0,72	1,52	–	–
1988	67,9	-0,93	-0,02	1,02	1,46
1989	108,5	-0,14	0,40	–	–
1990	171,8	0,75	0,89	0,61	–
1991	125,0	0,12	-0,54	–	0,31
1992	154,6	0,53	-0,49	-0,75	–

Ainda pelas Tabelas 02 e 03, nota-se que para uma janela temporal mais curta, 12 meses, obtêm-se das vazões afluentes o SRI-12, que 23 valores são da classificação D0, 3 da classificação D1 e 1 da classificação D2, do SRI dos estoques de água extraí-se, que 5 valores são classificados com D0, 3 classificados como D1, 1 classificado como D2 e 3 classificados como D3, indicando que no período em estudo houve um agravamento da severidade da seca em determinados anos devido ao uso ineficiente dos recursos hídricos causados por ações do homem, ou seja devido a um agente antrópico.

Tabela 03 – Classificação dos valores de IR e SRI para os volumes estocados e para as vazões afluentes entre os anos de 1993 e 2012, em verde representa a classe D0, amarelo a classe D1, laranja a classe D2 e vermelho a classe D3.

Ano	Volumes Estocados		Vazões Afluentes		
	Volume (hm <sup>3</sup> )	IR	SRI-12	SRI-24	SRI-36
1993	42,0	-1,64	-0,85	–	–
1994	32,1	-1,99	-1,68	-1,31	-1,17
1995	182,6	0,88	-0,06	–	–
1996	98,1	-0,32	0,34	0,03	–
1997	142,9	0,38	0,49	–	0,08
1998	20,2	-2,55	-0,84	0,03	–
1999	87,8	-0,52	-1,31	–	–
2000	123,3	0,09	-0,92	-1,35	-1,46
2001	180,9	0,86	-0,46	–	–
2002	177,3	0,82	-0,75	-0,82	–
2003	158,5	0,59	-0,12	–	-0,72
2004	176,0	0,80	0,44	0,09	–
2005	30,7	-2,05	-0,27	–	–
2006	184,3	0,90	-0,96	-0,70	-0,25
2007	187,2	0,94	-0,18	–	–
2008	126,9	0,15	-0,38	-0,47	–
2009	189,3	0,96	-0,34	–	-0,64
2010	187,6	0,94	1,02	0,54	–
2011	135,3	0,27	-1,09	–	–
2012	148,3	0,45	-0,17	-0,61	0,24

Focando-se nas classificações atribuídas das vazões afluentes, para um tempo de resposta de médio prazo, pelo índice SRI-24, tem-se que anos como o de 1984, 1994 e 2000 atingiram classificação de nível D1. Para uma análise de longo prazo, no SRI-36, verifica-se que os valores de SRI não atingem valores muito elevados, indicando apenas secas com classificação de severidade de no máximo nível D1 (seca moderada), em anos como o de 1982, 1994 e 2000.

A Figura 01 mostra a probabilidade acumulada de não-excedência dos volumes de água armazenados no reservatório de Caxitoré e os limiares das categorias de SWSI associadas a cada volume do reservatório.

Com isso, conforme a Figura 01, tem-se que o nível de classificação de severidade de seca D0, do reservatório de Caxitoré, inicia-se em um volume de 140,51 hm<sup>3</sup>, D1 em um volume 47,57 hm<sup>3</sup>, D2 em um volume de 28,37 hm<sup>3</sup> e D3 em um volume de 20,32 hm<sup>3</sup>. Assim, a partir da série histórica de volumes armazenados é possível verificar, conforme Tabelas 02 e 03, que no ano de 1971 o reservatório em estudo atingiu um nível de seca severa e no ano de 1998 atingiu um nível de seca extrema.

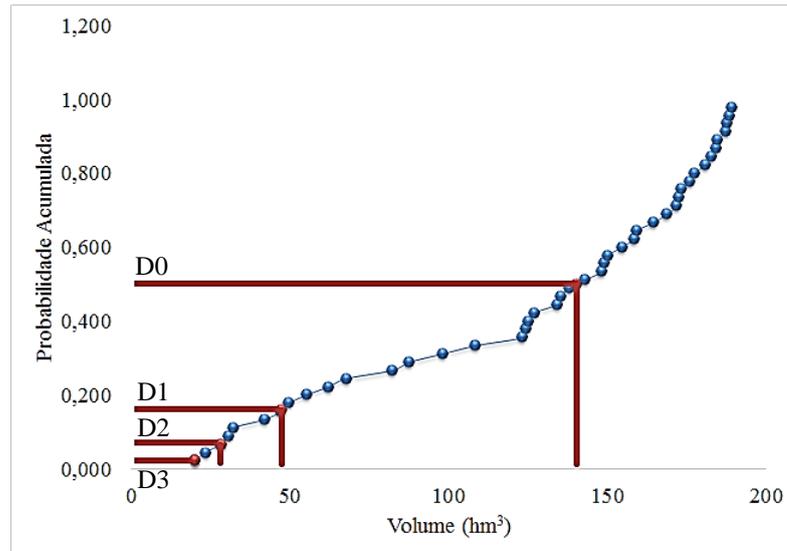


Figura 01 – Probabilidade acumuladas de não-excedência dos volumes de água estocados no reservatório de Caxitoré.

#### 4 CONCLUSÕES

Através dos resultados foi possível concluir que a seca que aflige o reservatório de Caxitoré ou o nível de severidade de seca do mesmo, nem sempre ocorre devido as condições naturais a qual o reservatório é exposto, as vezes a seca ou a severidade dela podem ser agravadas devido a ação antrópica sobre o reservatório.

Isso mostra a necessidade de mais estudos voltados para liberação e outorga de água, além da criação de um plano de contingencia ou um plano de gestão de seca continuo, isto é, um planejamento eficaz que possa ser desenvolvido ao longo de todos os anos e não apenas em época de secas extremas naturais.

Desta maneira, a longo prazo seria possível melhorar a eficiência de uso da água e a curto prazo poderia se desenvolver estratégias de mitigação para a escassez de água, evitando ou diminuindo os impactos durante a ocorrência de eventos mais extremos de seca.

#### BIBLIOGRAFIA

HEIM JR, R. R. (2002). “A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States”. American Meteorological Society.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1993). “*The relationship of drought frequency and duration to time scales*” in 8th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Boston, pp. 179-184.

McKEE, T. B.; DOESKEN, N. J.; KLEIST, J. (1995). “*Drought monitoring with multiple time scales*” in 9th Conference on Applied Climatology American Meteorological Society, Boston, pp. 233-236.

Shukla, S.; Wood, A. W. (2008). “*Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought*”. *Geophysical Research Letters*, 35, L02405, doi:10.1029/2007GL032487.

PEREIRA L.S.; PAULO, A.A.(2004). “*Indicadores de Escassez de Água: Índices de Secas*” in Conf. Conv. Workshop Indicadores y Tecnologías de Uso del Agua em las Tierras secas de Iberoamérica (Proyecto CYTEDXVII-1, Junho 2004) CYTED, Mendoza, Argentina.

Wilhite, D. A.; Glantz, M. H. (1985). “*Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions*”. *Water International* 10(3):111–120.