

# ESTIMATIVA DOS VALORES ESPERADOS PARA DURAÇÕES MÁXIMAS DE SECAS HIDROLÓGICAS NO AÇUDE CASTANHÃO - CE

Adriana Oliveira Solon<sup>1</sup>, José Nilson B. Campos<sup>2</sup> e Ticiania Marinho de Carvalho Studart<sup>2</sup>

**Resumo.** O presente trabalho apresenta equações para a estimativa do valor esperado da duração máxima de seca hidrológica no Açude Castanhão, no Ceará. O Método de Monte Carlo foi utilizado para simular estocasticamente o reservatório no seu estado transiente (H variando entre 20 e 100 anos), sob diversos níveis de garantia (G), tanto mensal como anual.. A determinação das durações das secas é fundamentada na Teoria dos Runs. Observou-se que, ao considerar-se garantias mensais, as durações das secas hidrológicas são significativamente superiores àquelas encontradas ao simular-se o reservatório com garantia anual. Os altos coeficientes de variação encontrados para as séries com baixos valores de horizonte de simulação (H) devem-se ao estado transiente do processo de armazenamento, quando as condições iniciais ainda exercem uma grande influência sobre os resultados obtidos. As grandes vantagens da metodologia são suas fácil aplicação e razoável precisão, servindo como uma informação adicional para o tomador de decisão. Sua aplicação, no momento, é específica ao Açude Castanhão. Novos estudos estão sendo desenvolvidos pelo grupo de recursos hídricos da Universidade Federal do Ceará no sentido de desenvolver um procedimento totalmente parametrizado para determinar uma equação geral para o estudo de duração de secas hidrológicas no Semi-Árido Brasileiro.

**Abstract.** The present paper shows a procedure for preliminary estimations of the expected value of the maximum length of hydrological drought in Açude Castanhão, in Ceará State. Monte Carlo Method was used to simulate the reservoir in its transient state (H varying between 20 and 100 years), under several reliability levels (G), both annual and monthly. The investigation of droughts lengths is embedded on Theory of Runs. It was observed that drought lengths are significantly superior when the reservoir is simulated using monthly reliability. The high values of the coefficient of variation for the series with low values of simulation horizon (H) are certainly due the transient state of the storage process, when the initial conditions have a great influence on the results. The major advantage of this methodology is its simplicity and relative accuracy, serving as an additional tool for decision makers. However, its application is specific to Açude Castanhão. Further studies

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Recursos Hídricos. Campus do Pici - Centro de Tecnologia - Bloco 713 - Fortaleza – Ceará – Brasil - CEP 60.451-970 - Fone: (085) 288.9623 - Fax: (085) 288.9627 - e-mail: [adrianasolon@ig.com.br](mailto:adrianasolon@ig.com.br)

<sup>2</sup> Professores do Departamento de Eng<sup>a</sup> Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici - Centro de Tecnologia - Bloco 713 - Fortaleza – Ceará – Brasil - CEP 60.451-970 - Fone: (085) 288.9623 - Fax: (085) 288.9627 - e-mail: [nilson@ufc.br](mailto:nilson@ufc.br) e [ticiania@ufc.br](mailto:ticiania@ufc.br)

are being carried on by the Water Resources Group at Universidade Federal do Ceará, towards developing a parametrical procedure to find a general expression suitable to different regions in Semi-Arid Northeast Brazil.

**Palavras-Chave.** Secas, Seca Hidrológica, Duração de Secas, Simulação Estocástica, Açude Castanhão, Semi-Árido.

## INTRODUÇÃO

O conceito de *seca* está intimamente relacionado ao ponto de vista do observador. Embora a causa primária das secas resida na insuficiência ou na irregularidade das precipitações pluviais, existe uma seqüência de causas e efeitos na qual o efeito mais próximo de uma seca torna-se a causa de um outro efeito e esse efeito passa a ser denominado também de *seca*. Assim, para citar as mais comuns, pode-se definir a *seca climatológica* (causa primária ou elemento que desencadeia o processo), a *seca edáfica* (efeito da seca climatológica), a *seca social* (efeito da seca edáfica) e finalmente, o objeto deste estudo, a *seca hidrológica*.

A seca hidrológica pode ser entendida como a insuficiência de águas nos rios ou reservatórios para atendimento das demandas de águas já estabelecidas em uma dada região. Essa seca pode ser causada por uma seqüência de anos com deficiência no escoamento superficial ou, também, por um mal gerenciamento dos recursos hídricos acumulados nos açudes. O resultado desse tipo de seca é o racionamento, ou colapso, em sistemas de abastecimento d'água das cidades ou das áreas de irrigação.

Uma das principais medidas adotadas na busca de soluções para esta problemática tem sido, ao longo de todo o Século XX, a construção de açudes. Entretanto, a adoção desta alternativa exige uma série de avaliações relativas ao dimensionamento do reservatório, considerando as características físico-climáticas da região e as condições técnico-econômicas. Ressalta-se que, para uma análise da melhor alternativa de construção, deve ser considerado o nível de garantia adotado e as conseqüências advindas desta garantia, em termos de durações de secas.

## O AÇUDE CASTANHÃO

O Açude Castanhão será formado pelo barramento do Rio Jaguaribe (considerado o maior rio intermitente do mundo) no chamado Boqueirão do Cunha, situado à cerca de 5,9 km ao sul do povoado Castanhão. As principais características da barragem são as seguintes (SRH, 1998):

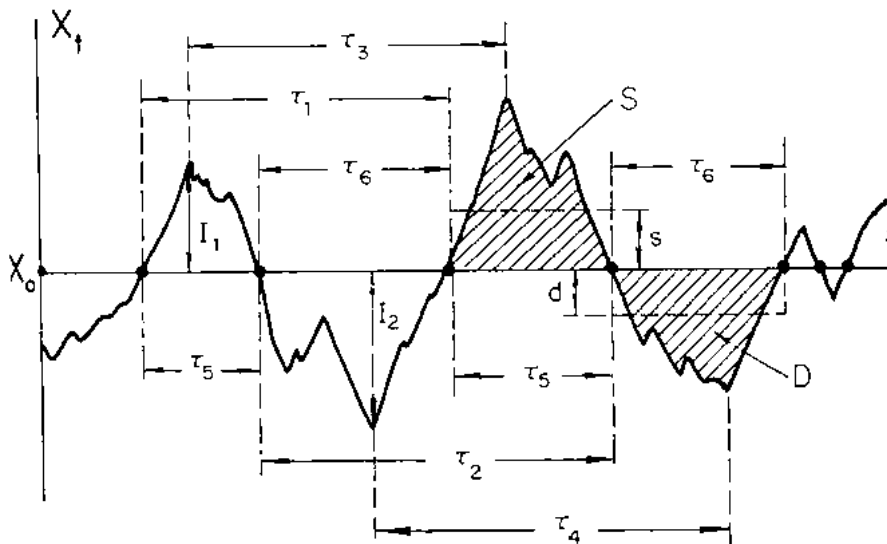
- tipo: barragem de terra
- altura máxima: 60 m
- comprimento na crista: 3.400 m

- volume de terra: 7,9 milhões de m<sup>3</sup>
- diques auxiliares: nove, com 4205 m de comprimento
- maior dimensão do lago: 48 Km
- área inundada: 60.000 ha, na cota da cheia máxima provável
- volume útil: 4,2 bilhões de m<sup>3</sup> (cota 100)
- volume de espera, para controle de cheias: 2,3 bilhões de m<sup>3</sup>
- capacidade total: 6,5 bilhões de m<sup>3</sup> (cota 106)

A obra visa, além de proteger das cheias a região do Baixo Jaguaribe, aumentar com 90% de garantia a vazão regularizada do Rio Jaguaribe. Este acréscimo de vazão permitirá, segundo o projeto, expandir a área irrigada em 43 mil hectares e assegurar, mesmo nos anos críticos, o abastecimento de água para a Região Metropolitana de Fortaleza.

### CONCEITOS BÁSICOS DA TEORIA DOS RUNS

Em termos gerais um *run* é definido como uma seqüência de observações de um mesmo tipo precedida e sucedida por uma ou mais observações de um tipo diferente. Os *runs* de uma seqüência contínua de uma variável aleatória pode ser definida de várias maneiras. A Figura 1 representa a série da variável contínua  $X_t$ . Selecionando-se um valor arbitrário  $x_0$  (doravante denominado de “nível de truncamento”), a série é interceptada em muitos pontos e a relação da constante  $x_0$  em relação aos valores  $x_t$  servem de base para as várias definições de runs.



**Figura 1** – Representação de uma série contínua da variável  $X_t$  servindo como base para várias definições dos runs (Fonte: Yevjevich, 1972)

Várias são as definições de runs encontradas na literatura. Eis algumas (conforme Figura 1):

$\tau_1$  – distância entre cruzamentos superiores;  $\tau_2$  – distância entre cruzamentos inferiores;  $\tau_3$  –

distância entre picos sucessivos;  $\tau_4$  – distância entre depressões sucessivas;  $\tau_5$  – distância entre cruzamento superior e inferior sucessivos;  $\tau_6$  – distância entre cruzamento inferior e superior sucessivos; S – integral da área entre cruzamentos superior e inferior sucessivos.(algumas vezes é chamado de excedente); D – integral da derivação negativa entre sucessivos cruzamentos inferior e superior (também chamado de déficit);  $I_1$  – desvio máximo positivo para um dado  $\tau_5$ ;  $I_2$  – desvio máximo negativo para um dado  $\tau_6$  ( $I_1$  e  $I_2$  são chamados de intensidade); s – desvio médio positivo ( $S/\tau_5$ ) e d– desvio médio negativo ( $S/\tau_6$ ).

Embora, o nível de truncamento ( $X_0$ ) possa ser de vários tipos, tais como um parâmetro que assume diversos valores, uma função determinística ou uma variável aleatória (Yevjevich, 1972), neste estudo ele assumirá um valor constante e igual ao da vazão regularizada pelo Açude Castanhão para um dado nível de garantia (G) e para um dado horizonte de simulação (H). Será computado, ao longo do eixo  $X_0$ , o número de meses em que a vazão regularizada pelo Açude Castanhão é inferior à vazão programada.

## **METODOLOGIA**

A duração máxima esperada da seca hidrológica do Açude Castanhão, objeto do presente estudo, pode ser estimada através da operação simulada do reservatório, para vários níveis de garantia, valendo-se unicamente de sua série histórica de 37 anos de observações. A desvantagem deste procedimento reside no fato da série histórica ser apenas uma das muitas seqüências possíveis de vazão afluentes ao açude Castanhão, “sorteada” pela Natureza. O Método de Monte Carlo, por outro lado, proporciona meios para a geração de inúmeras seqüências independentes de vazões (diferentes da série histórica, mas igualmente prováveis), simulação do reservatórios com estas seqüências, permitindo assim a estimativa da duração máxima da seca hidrológica, baseada não mais em apenas um evento isolado, mas na análise probabilística do fenômeno.

### **Simulação de Monte Carlo**

Simulação é o processo de reprodução do mundo real baseado em certas suposições e em modelos concebidos da realidade. Ela pode ser efetuada teórica ou experimentalmente; na prática, a simulação teórica é usualmente feita numericamente, com o auxílio de computadores, e através de repetidas simulações, a performance do sistema, sob diferentes cenários, pode ser avaliada. No caso de se utilizar variável aleatória com distribuição de probabilidade conhecida, faz-se uso da *Simulação de Monte Carlo*. Como bem aponta Frey (1998), embora o processo como um todo seja estocástico, para cada uma das séries sintéticas geradas, a simulação é um processo determinístico.

### ***A operação simulada do Açude Castanhão***

A capacidade de regularização do Açude Castanhão é analisada a partir da sua operação simulada, através da solução da equação do seu balanço hídrico, utilizando as séries de vazões afluentes ao mesmo. O software SIMRES (Campos et. al., 2000) foi utilizado neste procedimento. São consideradas as seguintes premissas:

- a unidade de tempo é um mês;
- a retirada do reservatório é constante ao longo dos anos e ao longo dos meses;
- a contribuição líquida sobre o lago - precipitação menos evaporação - é admitida constante ao longo dos anos, mas variável ao longo dos meses.

### ***Equação do Balanço Hídrico***

A determinação do comportamento de um reservatório é feita pela equação do balanço hídrico, que consiste em igualar as entradas e saídas do mesmo como se segue:

$$dV/dt = E - S \quad (1)$$

onde:  $dV/dt$  - é a variação do volume ao longo do tempo,  $E$  - é o resultado de todas as entradas no sistema e  $S$  - é o resultado de todas as saídas.

As entradas são compostas dos deflúvios afluentes e das precipitações diretas sobre o espelho d'água do lago; as saídas, por sua vez, são formadas pelas evaporações e pelas retiradas para fins utilitários. A equação do balanço hídrico usada neste modelo é dada por:

$$V_{i+1} = V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) + I_i - M_i - S_i \quad (2)$$

onde:  $V_{i+1}$  e  $V_i$  = representam os volumes de água estocados no reservatório no início dos meses  $i+1$  e  $i$  respectivamente;  $P_i$  = precipitação média sobre o espelho de água do açude durante o mês  $i$ ;  $E_i$  = lâmina média evaporada da superfície do lago durante o mês  $i$ ;  $A_{i+1}$  e  $A_i$  = representam as áreas do lago do reservatório no início dos meses  $i+1$  e  $i$  respectivamente;  $I_i$  = volumes afluentes ao reservatório durante o mês  $i$ ;  $M_i$  = retirada do reservatório durante o mês  $i$ ;  $S_i$  = volume sangrado do reservatório.

Considerando-se um volume inicial  $V_0$ , simula-se, para uma garantia  $G$ , o reservatório a nível mensal para a respectiva série de vazões durante  $H$  anos, onde  $H$  é a extensão da série de vazões. Inicialmente considera-se a retirada  $M = \min(K/2, \mu/2)$ . Ao final de cada ano (se o nível de garantia for anual) é calculado se o volume anual armazenado é suficiente para atender a demanda (= retirada  $M$ ); se não for, é considerado que naquele ano ocorreu uma falha. No final dos  $H$  anos é verificado se a retirada  $M$  assumida inicialmente ( $\min(K/2, \mu/2)$ ) corresponde à frequência de falhas pretendida. Caso seja superior, diminui-se a retirada, caso contrário, eleva-se a retirada e

simula-se novamente o comportamento do reservatório para H anos e assim sucessivamente até que a retirada correspondente a uma frequência de falhas pretendida seja encontrada.

### ***Geração de séries sintéticas***

O rio Jaguaribe, assim como os demais rios intermitentes do Nordeste Brasileiro, apresentam, como característica marcante, uma longa estação de vazões nulas após a curta estação úmida. Essas características fazem com que os deflúvios anuais sejam serialmente independentes e, que as séries de vazões anuais possam ser obtidas a partir da geração de números aleatórios seguindo uma função densidade de probabilidade (Campos,1996). Segundo o mesmo autor, tanto a distribuição Gama como a Log-normal podem ser utilizadas, sem que se possa afirmar qual das duas dá melhores resultados.

Neste trabalho será gerada uma série de 5.000 valores de vazões anuais afluentes ao Açude Castanhão , seguindo uma distribuição Gamma II, cuja equação é:

$$P(x) = (\beta^\alpha x^{\alpha-1} e^{-\beta x}) / \Gamma(\alpha) \quad (3)$$

onde  $\Gamma(\alpha)$  é a Função Gamma e  $\alpha$  e  $\beta$ , os parâmetros da distribuição, calculados pelo método dos momentos a partir das equações 4 e 5:

$$\mu = \alpha/\beta \quad (4)$$

$$\sigma^2 = \alpha/\beta^2 \quad (5)$$

Conservou-se a média histórica ( $\mu=1.463,5\text{hm}^3/\text{ano}$ ) e o coeficiente de variação dos deflúvios anuais ( $\text{CV}= 1,41$ ).

### ***Desagregação dos deflúvios anuais***

Considerando o objetivo de trabalhar a nível mensal, apresentou-se a necessidade de desagregar as vazões anuais em mensais. Seguiu-se metodologia proposta por Svanidze (1980) - o Método dos Fragmentos - o qual produz vazões mensais por desagregação de vazões anuais pré-geradas por um modelo apropriado, no caso em questão, uma distribuição Gamma II. Este método produz bons resultados para os rios intermitentes do Semi-Árido Nordestino (Araújo,1991).

O uso dessa técnica supõe a existência de uma série histórica de vazões mensais - porém de curta duração - e visa aumentar as informações fluviométricas do posto, de forma a dar subsídios ao êxito em projetos e operação de sistemas de recursos hídricos. Para cada mês e para cada ano da série histórica é determinado um fragmento dado por:

$$f_{i,j} = \frac{Q_{i,j}}{\sum_{j=1}^{12} Q_{i,j}} \quad (6)$$

onde:  $Q_{i,j}$  é a vazão no mês  $j$  do ano  $i$ .

De posse dos fragmentos calculados, as vazões da série anual são ordenadas de forma crescente e são gerados tantos intervalos de classe quanto o número de anos da série histórica. Como cada mês tem o seu fragmento e, durante o ano existem doze fragmentos, cada intervalo de classe contempla doze fragmentos.

Na obtenção da série sintética de vazões mensais (com um determinado número de anos) associa-se cada valor anual de vazão da série previamente gerada ao intervalo de classe correspondente, sendo desagregado pelo respectivo fragmento. Dessa forma, as vazões mensais sintéticas são estimadas por meio da seguinte expressão:

$$Q_{i,j} = f_j^k Q_i^k \quad (7)$$

onde:  $Q_{i,j}$  é a vazão mensal sintética para o mês  $j$  do ano  $i$ ;  $f_j^k$  é o fragmento de desagregação no mês  $j$  associado ao intervalo de classe  $k$  e  $Q_i^k$  é a vazão anual gerada pelo modelo anual, pertencente a classe  $k$ . É fácil observar que a soma dos fragmentos, para um determinado ano  $i$  é igual à unidade, ou seja:

$$\sum f_{i,j} = 1 \quad (8)$$

Após a desagregação, a série de 5.000 anos será fracionada em 50 séries de até 100 anos de duração para efetuar-se a operação simulada do Açude Castanhão.

### **O processo de armazenamento**

Um reservatório superficial consiste em uma intervenção do homem na natureza com o objetivo de adaptar os padrões naturais dos rios aos padrões demandados pela sociedade.

Conforme detalhado em Studart (2000) e Studart e Campos (2001) o processo de armazenamento passa primeiramente pelo estado transiente e após um longo período de tempo, se estabiliza no estado permanente. Como observado na Equação 9, o estado transiente é função de vários parâmetros; sendo assim, a vazão regularizada só pode ser corretamente identificada ao se dizer, além do coeficiente de variação dos deflúvios naturais ( $CV$ ), da capacidade do reservatório ( $K$ ) e da evaporação sobre a superfície do lago (combinação dos parâmetros  $E_L$  e  $\alpha$ ), a garantia ( $G$ ), o volume inicial assumido para o reservatório ( $V_0$ ) e o horizonte de simulação adotados ( $H$ ).

$$Q_t = f(CV, V_0, H, K, G, E_L, \alpha) \quad (9)$$

No presente trabalho variar-se-á apenas a garantia G (considerada a nível mensal e anual e iguais a 80%, 90%, 95% e 98%) e o horizonte de simulação H (iguais a 20,30,40,50,70 e 100 anos).

### O valor a ser assumido para o “nível de truncamento”

Conforme relatado em item anterior, a série de 5.000 será subdividida; serão formadas 50 séries de 20 anos, 50 séries de 30 anos, 50 séries de 40 anos, 50 séries de 50 anos, 50 séries de 70 anos e 50 séries de 100 anos. O valor adotado para a vazão regularizada – que é o *nível de truncamento dos runs* - será a média dos 50 valores de vazões regularizadas obtidas pela operação simulada do reservatório para cada cenário de G e H.

## RESULTADOS

No presente estudo foram avaliadas as durações máximas das secas hidrológicas ( $T_{max}$ ) para horizontes de simulação (H) iguais a 20, 30, 40, 50, 70 e 100 anos e garantias (G) anuais e mensais de 80, 90, 95 e 98%. Da operação simulada do Açude Castanhão para cada uma das 50 séries, considerando-se um dado cenário de G e H, obteve-se um valor para a duração máxima da seca hidrológica ( $T_{max,i}$ ) de cada série de vazões. O valor esperado da duração máxima da seca hidrológica para um dado H e G é dado pela equação 10. Seus valores, assim como os coeficientes de variação (CV) das séries de  $T_{max}$  encontram-se nas tabelas 1 e 2.

$$E\{T_{máx}\} = \frac{1}{50} \sum_{i=1}^{50} T_{máx,i} \quad (10)$$

**Tabela 1.** Durações máximas esperadas de secas hidrológicas para o Açude Castanhão e seus respectivos coeficientes de variação das séries de  $T_{max}$ , considerando níveis de garantia anuais iguais a 80%, 90%, 95% e 98% e horizontes de simulação (H) iguais a 20, 30, 40, 50, 70 e 100 anos..

H (anos)	Garantia Anual do abastecimento							
	80%		90%		95%		98%	
	E[ $T_{max}$ ] (meses)	CV	E[ $T_{max}$ ] (meses)	CV	E[ $T_{max}$ ] (meses)	CV	E[ $T_{max}$ ] (meses)	CV
20	13	0.639	7	0.639	9	0.614	1	1.473
30	20	0.480	13	0.507	13	0.522	1	1.187
40	21	0.428	14	0.562	14	0.660	1	1.051
50	24	0.438	16	0.588	17	0.549	2	0.588
70	26	0.395	18	0.477	20	0.605	2	0.420
100	30	0.373	23	0.421	24	0.470	7	0.626



**Tabela 2.** Durações máximas esperadas de secas hidrológicas para o Açude Castanhão e seus respectivos coeficientes de variação das séries de Tmax, considerando níveis de garantia mensais iguais a 80%, 90%, 95% e 98% e horizontes de simulação (H) iguais a 20, 30, 40, 50, 70 e 100 anos.

H (anos)	Garantia Mensal do abastecimento							
	80%		90%		95%		98%	
	E[T <sub>max</sub> ] (meses)	CV	E[T <sub>max</sub> ] (meses)	CV	E[T <sub>max</sub> ] (meses)	CV	E[T <sub>max</sub> ] (meses)	CV
20	23	0.354	14	0.402	9	0.359	4	0.371
30	28	0.375	20	0.305	13	0.331	7	0.257
40	31	0.310	22	0.313	14	0.371	7	0.315
50	33	0.357	24	0.381	17	0.353	9	0.307
70	36	0.318	26	0.341	20	0.368	11	0.338
100	44	0.309	31	0.330	24	0.332	15	0.328

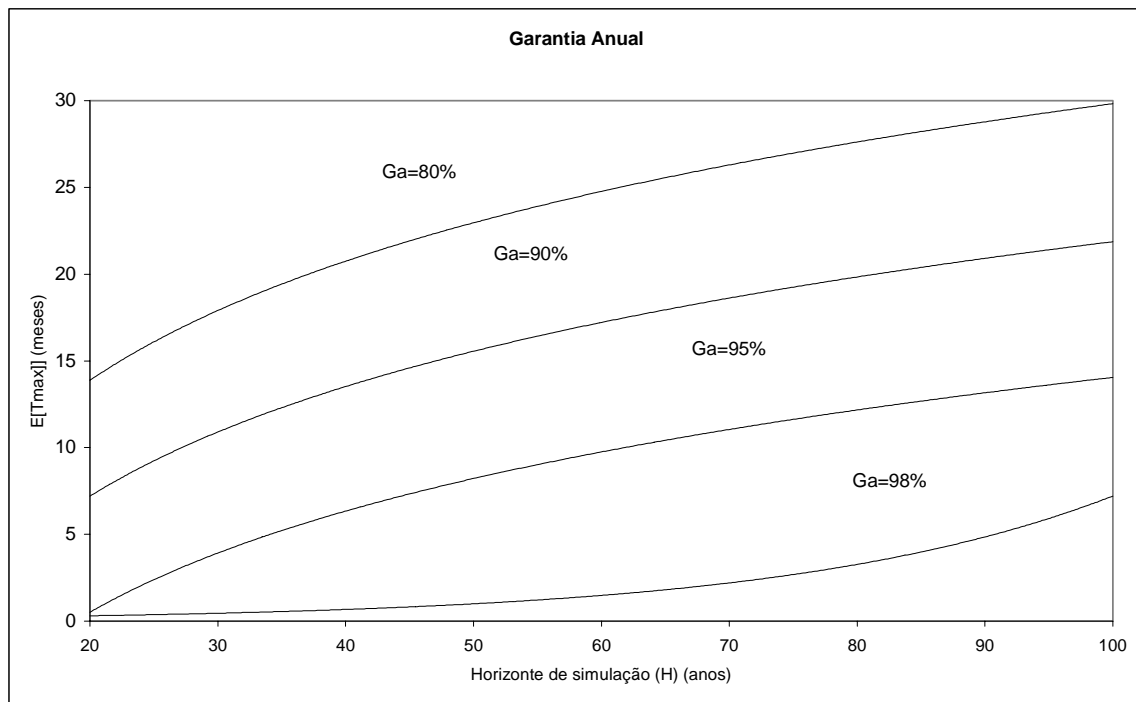
As equações que melhor relacionam a duração máxima esperada da seca hidrológica em função do horizonte de simulação (H) adotado para os níveis de garantia anual de 80%, 90%, 95% e 98% encontram-se na Tabela 3. Os resultados para os níveis de garantia mensal de 80%, 90%, 95% e 98% encontram-se na Tabela 4. Os resultados encontram-se plotados nas figuras 2 e 3, respectivamente para garantias anual e mensal.

**Tabela 3.** Equações que melhor estimam o valor esperado da duração máxima de seca hidrológica no Açude Castanhão, considerando níveis de garantia anuais iguais a 80%, 90%, 95% e 98% (validade para H iguais a 20, 30, 40, 50, 70 e 100 anos) e seus correspondentes coeficientes de explicação (r<sup>2</sup>)

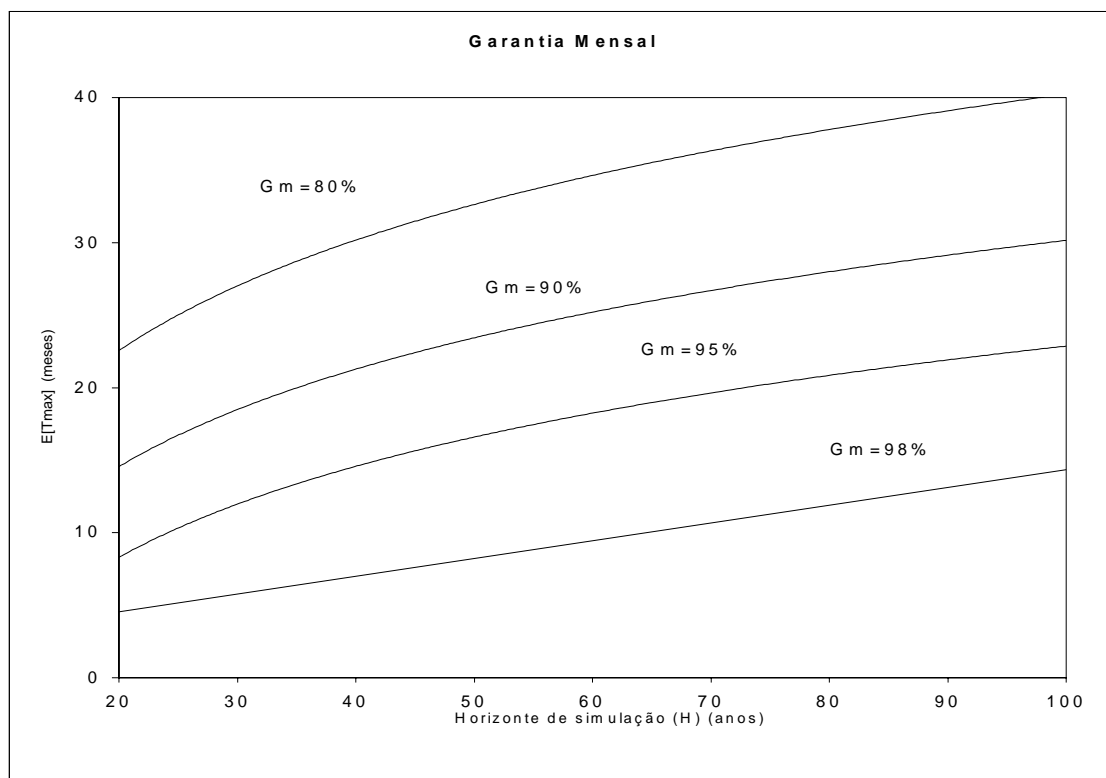
Nível de Garantia Anual			
80%	90%	95%	98%
9,91 ln (H) – 15,80 r <sup>2</sup> =0,97	9,11 ln (H) – 20,10 r <sup>2</sup> =0,96	8,4092 ln (H) – 24,68 r <sup>2</sup> =0,97	0,138 e <sup>0,0396H</sup> r <sup>2</sup> =0,96

**Tabela 4.** Equações que melhor estimam o valor esperado da duração máxima de seca hidrológica no Açude Castanhão, considerando níveis de garantia mensais iguais a 80%, 90%, 95% e 98% (validade para H iguais a 20, 30, 40, 50, 70 e 100 anos) e seus correspondentes coeficientes de explicação (r<sup>2</sup>)

Nível de Garantia Mensal			
80%	90%	95%	98%
10,99 ln (H) – 10,35 r <sup>2</sup> =0,99	9,69 ln (H) – 14,47 r <sup>2</sup> =0,98	9,05 ln (H) – 18,81 r <sup>2</sup> =0,98	0,12 H + 2,09 r <sup>2</sup> =0,99



**Figura 2.** Curvas do valores esperados para a duração máxima das secas hidrológicas no Açude Castanhão com garantias anuais de 80, 90, 95 e 98% e horizontes de simulação  $H$  entre 20 e 100 anos.



**Figura 3.** Curvas dos valores esperados para a duração máxima das secas hidrológicas no Açude Castanhão com garantias mensais de 80, 90, 95 e 98% e horizontes de simulação  $H$  entre 20 e 100 anos.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As equações encontradas no presente trabalho permitem estimar o valor esperado da duração máxima da seca hidrológica no Açude Castanhão para um dado horizonte de simulação H (20 a 100 anos) e diversos níveis de garantias, mensais e anuais.

Observou-se que ao considerar-se níveis de garantia mensais, deve-se esperar valores maiores para as durações máximas das secas do que quando o reservatório é simulado com garantia anual. Os valores obtidos com garantias mensais no abastecimento oferecem uma maior confiabilidade que os valores com garantia anual, uma vez que a dispersão, traduzida pelo coeficiente de variação das séries de  $T_{max}$  são significativamente menores. Observa-se ainda uma tendência de diminuição desta dispersão, para um mesmo nível de garantia, a medida em que se aumenta o horizonte de simulação H. Este fato já era esperado, uma vez que o processo vai cada vez menos sendo influenciado pelas condições iniciais assumidas para o reservatório, tendendo ao estado de equilíbrio.

O trabalho apresentou uma metodologia de fácil aplicação e de razoável precisão, mas suas equações são restritas ao Açude Castanhão. Novos estudos estão sendo desenvolvidos pelo grupo de recursos hídricos da Universidade Federal do Ceará no sentido de desenvolver um procedimento totalmente parametrizado no intuito de determinar uma equação geral para o estudo de duração de secas hidrológicas no Semi-Árido Brasileiro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARAÚJO, J.K. (1991). *Método dos Fragmentos Aplicado a Rios Intermitentes: Avaliação dos Erros Introduzidos no Cálculo da Disponibilidade de Reservatórios*. Fortaleza, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará (Dissertação de Mestrado).
- CAMPOS, J.N.B. (1996). *Dimensionamento de Reservatórios: O Método do Diagrama Triangular de Regularização*, Edições UFC.
- CAMPOS, J.N.B, STUDART, T.M.C., MARTINZ, D.G. e COELHO, L. (2000). *SIMRES: Laboratório Computacional de Reservatórios* (<http://www.deha.ufc.br/nilson/simres>) .
- FREY, H.C. (1998). Quantitative Analysis of Variability and Uncertainty in Energy and Environmental Systems. In: AYYUB, B.M. (Ed.), *Uncertainty Modeling and Analysis in Civil Engineering*. CRC Press LLC, Florida.
- YEVJEVICH, V. (1972). *Stochastic Processes in Hydrology*. Water Resources Publications. Fort Collins, Colorado.
- SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS / CEARÁ (1998). *A Barragem do Castanhão e sua Contribuição para o Desenvolvimento Sustentável do Ceará*, Fortaleza.

- STUDART, T. M. C (2000). *Análise das Incertezas na Determinação de Vazões Regularizadas em Climats Semi-Áridos*. Tese de Doutorado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará.
- STUDART, T.M.C. e CAMPOS, J.N.B. (2001) *Incetezas nas Estimativas das Vazões Regularizadas por um Reservatório*. Artigo aceito para publicação na Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, Associação Brasileira de Recursos Hídricos.
- SVANIDZE, G.G. (1980) *Mathematical Modeling of Hydrologic Series*. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.