

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DO RIO TOCANTINS: USINA HIDRELÉTRICA DE LAJEADO

*Cledeilson Pereira Santos*¹; *Christopher Freire Souza*²; *Benício Emanuel Omena Monte*³ &
*Carlos Alberto Inácio da Silva*⁴

RESUMO – O presente trabalho tem como objetivo a descrição do comportamento hidrológico do rio Tocantins, na seção da UHE-Lajeado, analisando as variações do escoamento superficial ao longo do tempo. Para alcançar esse objetivo foram aplicadas técnicas estatísticas usuais na área de hidrologia que possibilitam a caracterização da sazonalidade, bem como a previsão de eventos extremos na bacia com tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, pois são magnitudes de grande interesse para o dimensionamento de obras hidráulicas e para os múltiplos usuários dos recursos hídricos. Através destas técnicas foi possível concluir que as vazões máximas e mínimas anuais da UHE-Lajeado, ambas possuem comportamento homogêneo, ou seja, não houve mudanças significativas no que tange fenômenos hidroclimáticos ao longo do tempo.

ABSTRACT– This paper aims to describe the hydrological behavior of the Tocantins River, in the section of UHE-Lajeado, analyzing variations of runoff over time. To achieve this objective were applied usual statistics techniques in the area of hydrology that enable the characterization of the season, well as the forecast of extreme events in the basin with return periods of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years, because they are magnitudes of great interest for the design of hydraulic works and the multiple users of water resources. Through these techniques it was possible to conclude that the maximum and minimum annual flow of UHE-Lajeado, both have homogeneous behavior, in other words no significant changes regarding hydro-climatic phenomena over time.

Palavras-Chave – análise exploratória, teste de homogeneidade, modelos de distribuição de probabilidades.

INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento hidrológico dos rios brasileiros é de suma importância para a gestão dos recursos hídricos, principalmente no que se refere aos estudos de vazões de estiagem e de cheia, pois segundo Poff *et al.* (1997), a magnitude e a frequência de altas e baixas vazões regulam numerosos processos ecológicos. Tais eventos também são usados como referência

1) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Campus A. C. Simões- Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária- Maceió- AL, CEP: 57072-900, fone:(82) 3214-1861, cledeilson-ifs@hotmail.com

2) Professor do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Campus A. C. Simões- Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária- Maceió- AL, CEP: 57072-900, fone:(82) 3214-1860, cfsouza.ufal@gmail.com

3) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Campus A. C. Simões- Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária- Maceió- AL, CEP: 57072-900, fone:(82) 3214-1861, benicio_monte1@hotmail.com

4) Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, UFAL, Campus A. C. Simões- Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária- Maceió- AL, CEP: 57072-900, fone:(82) 3214-1861, albertufal@gmail.com

em projetos hidráulicos, otimização de sistemas hídricos, planos diretores, estudos para delimitação de áreas inundáveis e outras aplicações.

A bacia hidrográfica do rio Tocantins (figura 1) possui uma área de 967.059 km² (11% do território nacional) e abrange os estados de Goiás, Tocantins, Pará, Maranhão, Mato Grosso e o Distrito Federal (ANA, 2012). Um dos principais atributos da bacia é seu grande potencial hídrico, que atendem aos múltiplos usos água, porém caracteriza-se por variações severas de vazões entre os períodos de cheia e estiagem, principalmente na seção da Usina Hidrelétrica (UHE)-Lajeado, fato esse que gera preocupações para a sociedade local no que tange aos riscos de inundações e outros problemas ligados aos baixos níveis de vazões nos períodos de estiagem.



Figura 1- Localização da bacia do rio Tocantins (UHE-Lajeado)

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo caracterizar o comportamento hidrológico do rio Tocantins, na seção da UHE-Lajeado, a partir da análise exploratória e sazonal de dados, homogeneidade e ajuste de modelos de distribuição de probabilidades.

METODOLOGIA

Para execução do trabalho foram utilizados os dados disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2007) referentes à série diária de 44 anos (1962-2005) de vazões naturais reconstituídas da UHE-Lajeado, preparados em anos hidrológicos de cheia e estiagem. As figuras e as análises estatísticas foram realizadas através do software Matlab.

O primeiro procedimento realizado foi o cálculo das séries de vazões máximas e mínimas anuais da seção em estudo, a partir da definição do ano hidrológico de cheia e de estiagem. Em seguida foi verificada a hipótese de homogeneidade por meio do teste de Mann e Whitney (1947) *apud* Naghettini e Pinto (2007) que equivale à Soma dos Postos de Wilcoxon para que se tenha a confiabilidade de que os dados sejam originários do mesmo fenômeno hidroclimático, onde as amostras são divididas em duas sub-amostras de tamanhos n_1 (1962-1983) e n_2 (1984-2005), de modo que $n_1+n_2=N$ e que sejam aproximadamente iguais com $n_1 \leq n_2$ e que a estatística de teste é dada por:

$$z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R} \quad (1)$$

$$\mu_R = \frac{n_1 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{2} \quad (2)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (3)$$

Onde:

n_1 = Tamanho da amostra para a qual se encontrou a soma R dos postos;

n_2 = Tamanho da outra amostra;

R = Soma dos postos da amostra de tamanho n_1 .

Foram realizadas previsões de eventos extremos na bacia com tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, pois são magnitudes de grande interesse para o dimensionamento de obras hidráulicas e para os múltiplos usuários dos recursos hídricos. As distribuições de probabilidade escolhidas para ajustar e estimar o risco de ocorrência das vazões máximas anuais foram a Generalizada de Valores Extremos (GEV), pois reúne as distribuições Gumbel, Fréchet e Weibul, apesar desta última não ser usual para eventos de cheias e a distribuição Normal. Atualmente a distribuição de Weibull tem sido uma das principais distribuições usadas para eventos extremos de

estiagens, ou vazões mínimas, pois de acordo com Naghettini e Pinto (2007), a constatação de que, em um cenário extremo, as vazões que escoam por uma seção fluvial são forçosamente limitadas inferiormente pelo valor zero, faz com que a distribuição de Weibull seja uma candidata natural a modelação de eventos hidrológicos mínimos.

Para a estimativa de parâmetros das distribuições de probabilidade, optou-se pelo uso do Método da Máxima Verossimilhança (MVS), pois de acordo com Naghettini e Pinto (2007) é considerado o método de estimação mais eficiente porque produz os estimadores de menor variância. Quanto à posição de plotagem, que é uma técnica gráfica bastante usada para associar as magnitudes das observações ordenadas às suas respectivas probabilidades empíricas, foram escolhidas as fórmulas de Gringorten (equação 4) e Weibull (equação 5), que podem ser adotadas para calcular as probabilidades empíricas dos eventos de cheias e estiagem respectivamente.

$$q_i = i - 0,44 / n + 0,12 \quad (4)$$

$$q_i = i / n + 1 \quad (5)$$

Onde:

n= Tamanho da amostra.

Para verificar a aderência das distribuições aos dados, foi utilizado o teste de Kolmogorov-Smirnov, teste não-paramétrico (Naghettini e Pinto, 2007), cuja estatística de teste tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise exploratória dos dados

* Vazões mínimas (Q_{mín})- As vazões mínimas observadas na seção da UHE-Lajeado apresentam mediana na ordem de 512 m³/s; 1º quartil= 413 m³/s, indicando que 25% da Q_{mín} estão abaixo dessa magnitude; 3º quartil= 595 m³/s, onde apenas 25% dos dados da Q_{mín} ultrapassam essa magnitude (figura 2). Ainda nesta figura, nota-se que há outliers (96 m³/s e 128 m³/s) na amostra, porém após verificação destes pontos atípicos decidiu-se por mantê-los na análise, visto que esses valores podem ser atingidos com grandes tempos de retorno.

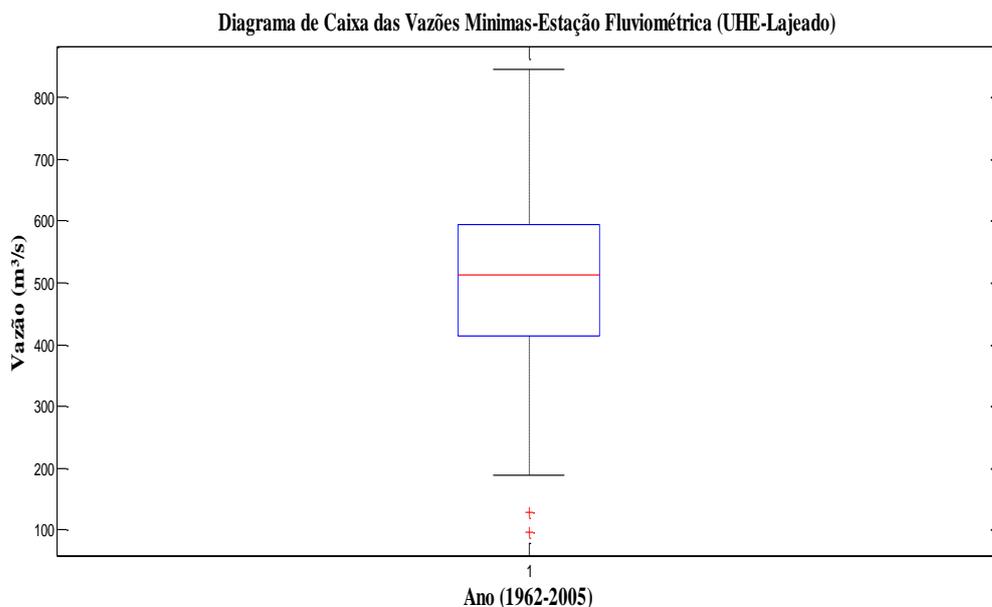


Figura 2 – Diagrama de caixa das vazões mínimas anuais na UHE-Lajeado

* Vazões máximas ($Q_{máx}$)- Seguindo o mesmo raciocínio da $Q_{mín}$, a $Q_{máx}$ apresentam mediana= 10.190 m^3/s ; 1º quartil= 7.271 m^3/s e 3º quartil= 15.139 m^3/s (figura 3).

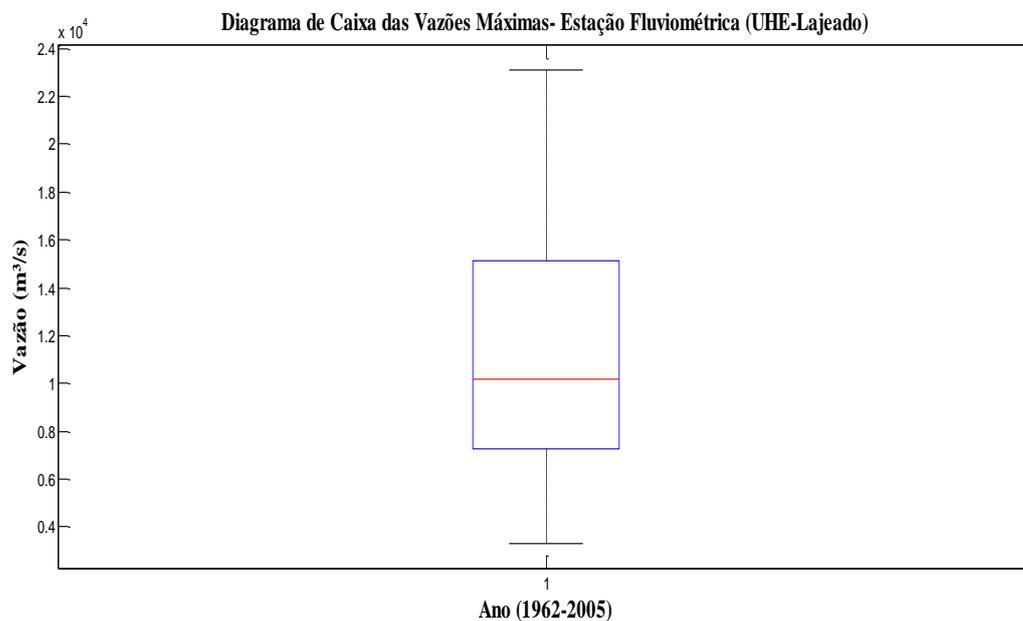


Figura 3 – Diagrama de caixa das vazões máximas anuais na UHE-Lajeado

O início do ano hidrológico de cheia (Setembro-Fevereiro) e de estiagem (Março-Agosto) são bem definidos (figura 4).

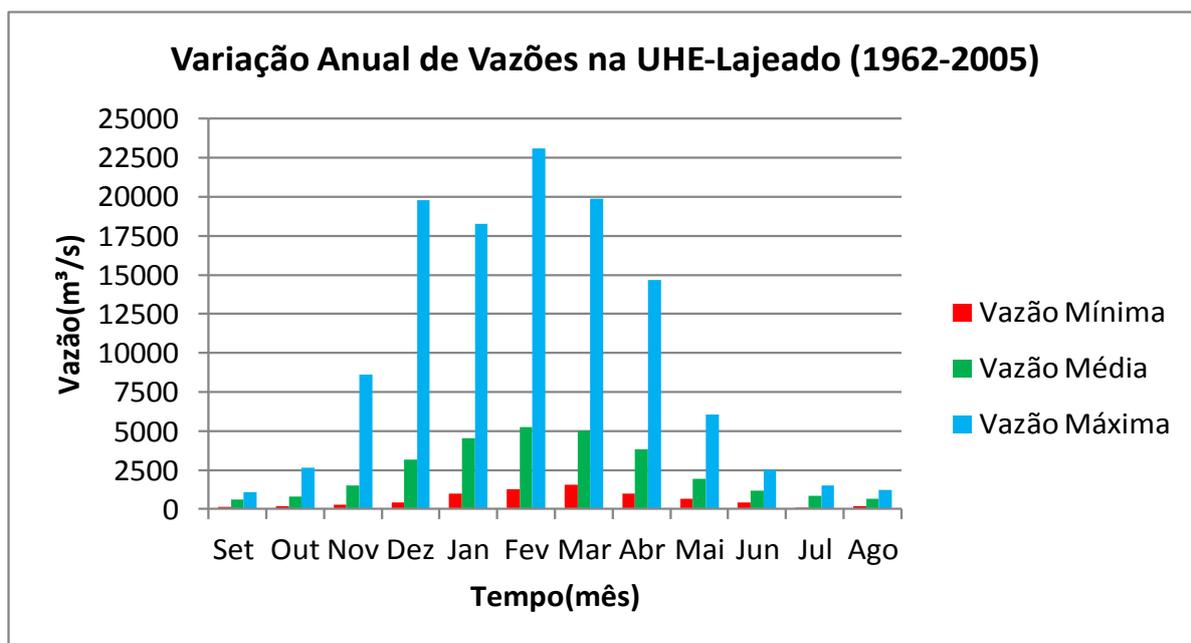


Figura 4 – Variação Sazonal de Vazões na (UHE-Lajeado)

Teste da hipótese de homogeneidade

As vazões máximas e mínimas da estação fluviométrica da UHE-Lajeado, apresentaram homogeneidade, conforme mostra a tabela-1, pois os valores de P estão acima de $\alpha=0,05$, indicando assim que as vazões são originárias do mesmo fenômeno hidroclimático.

Tabela 1- Teste de Mann e Whitney (1947)

	Valor de (P)	Significância
Qmáx	0,33	$\alpha=0,05$
Qmín	0,28	$\alpha=0,05$

Magnitude dos eventos de cheia e estiagem para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos

As magnitudes das vazões máximas anuais para os tempos de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos estimadas pela distribuição Normal são respectivamente 11.030 m³/s, 14.800 m³/s, 16.780 m³/s, 18.880 m³/s, 20.240 m³/s e 21.460 m³/s (figura 5).

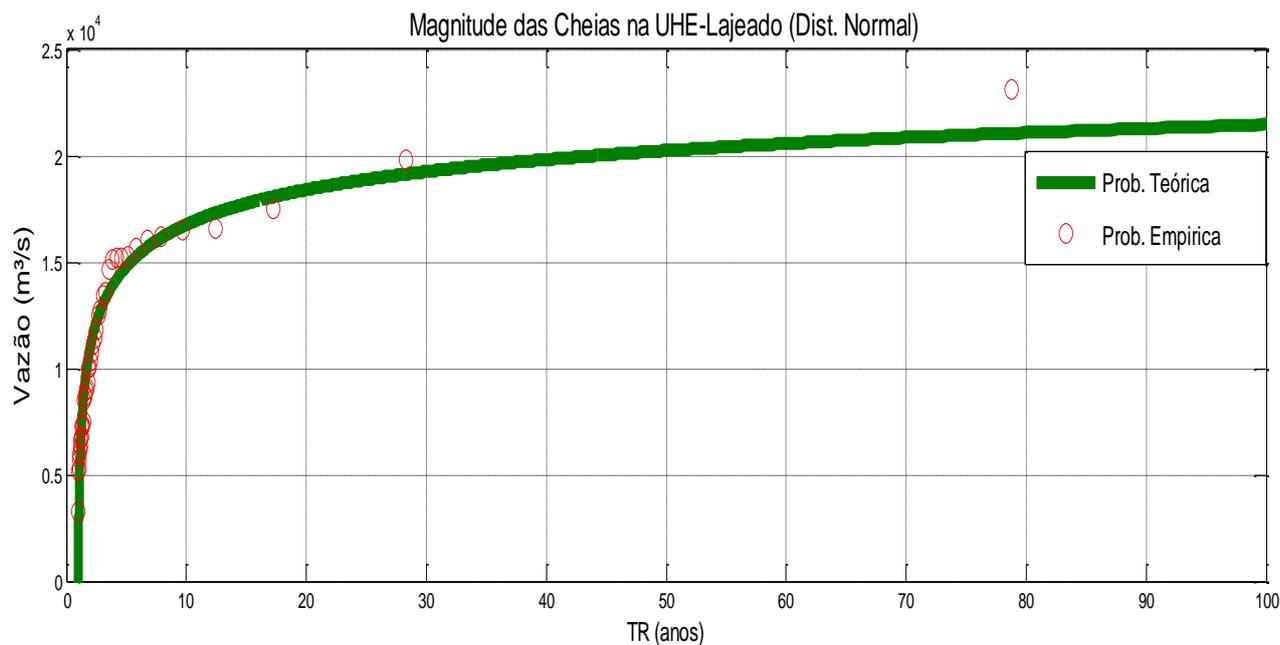


Figura 5 – Magnitude das Cheias na UHE-Lajeado (Dist. Normal)

A distribuição GEV apresenta os seguintes valores, respectivamente: 10.420 m³/s, 14.420 m³/s, 16.890 m³/s, 19.840 m³/s, 21.910 m³/s e 23.860 m³/s (figura 6).

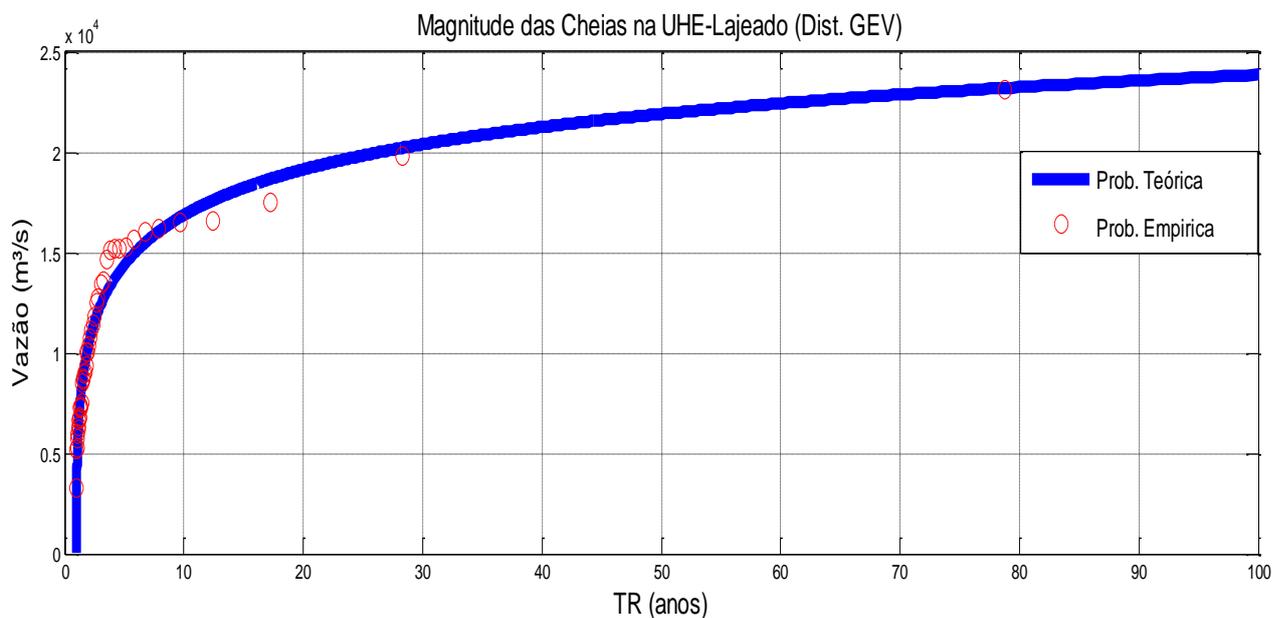


Figura 6 – Magnitude das Cheias na UHE-Lajeado (Dist. GEV)

Os quantis de vazões mínimas anuais calculadas para os mesmos tempos de retorno estimados pela distribuição Weibull foram respectivamente 496 m³/s, 356 m³/s e 283,6 m³/s, 214 m³/s, 173,7 m³/s e 141,2 m³/s (figura 7).

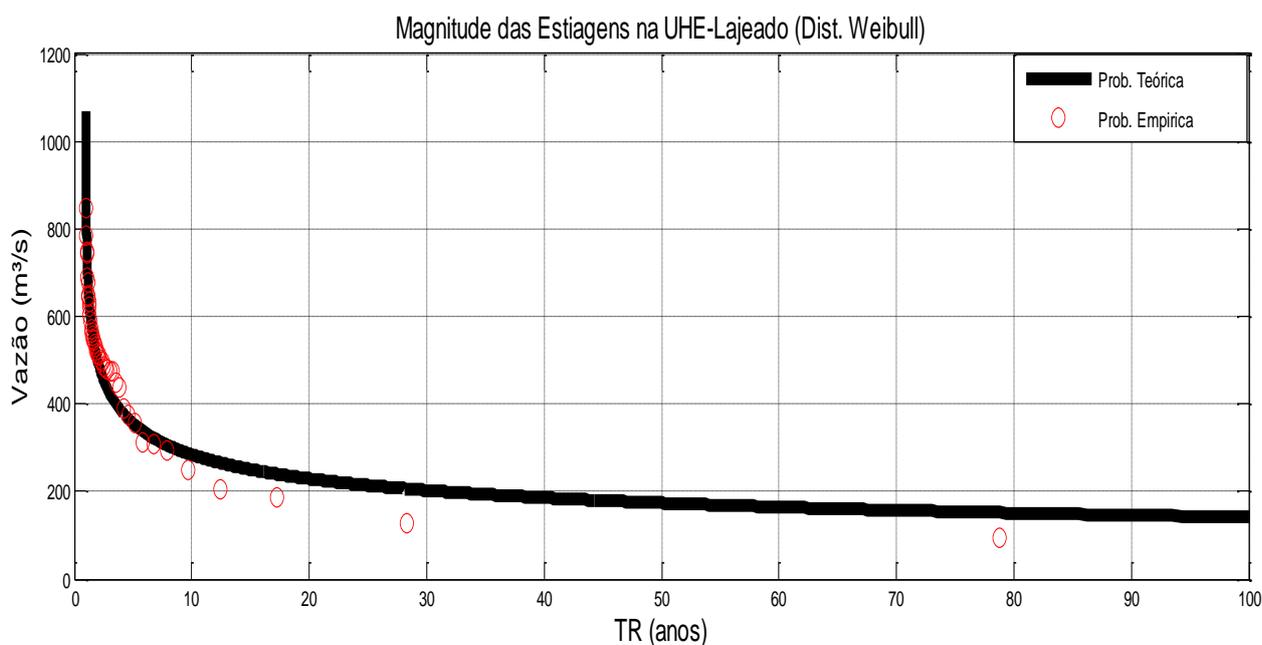


Figura 7 – Magnitude das Estiagens na UHE-Lajeado (Dist. Weibull)

A tabela-2 apresenta os resultados da estimativa de parâmetros pelo método da Máxima Verossimilhança para as distribuições analisadas.

Tabela 2- Parâmetros das Distribuições

Distribuição	Posição	Escala	Forma
GEV (Qmáx)	9061,8	3759,3	-0,06
NORMAL (Qmáx)	11027	4486,5	
WEIBULL (Qmín)		553,2	3,3

Convém observar que baixos pulsos de vazões são recorrentes na bacia, visto que a magnitude prevista para 2 anos é da ordem de 496 m³/s. Na mesma escala de tempo, estima-se vazões máximas da ordem de 10.420 m³/s e 11.030 m³/s. Tais comportamentos nos dão noções da grande variabilidade, bem como da velocidade de ascensão e recessão do hidrograma na seção da UHE-Lajeado.

A hipótese de que as distribuições probabilísticas adotadas se ajustam bem aos dados de vazões é verdadeira, visto que as estatísticas de teste não ultrapassaram o valor crítico e os valores de (P) estão acima do valor de (α), conforme mostram as tabelas 3, 4 e 5. Vale destacar que a distribuição Normal comumente é utilizada para valores médios, porém na seção da UHE-Lajeado, obteve um bom ajuste para máximas e apresentou seu valor da estatística de teste, mais distante do valor crítico que o da distribuição GEV.

Tabela 3- Teste de Aderência Através do Método de Kolmogorov-Smirnov (Q_{máx})- Dist. Normal

Distribuição	Estatística de Teste	Valor Crítico	Valor de (P)	Significância
Normal	0,1055	0,2006	0,6721	$\alpha=0,05$

Tabela 4- Teste de Aderência Através do Método de Kolmogorov-Smirnov (Q_{máx})- Dist. GEV

Distribuição	Estatística de Teste	Valor Crítico	Valor de (P)	Significância
GEV	0,1092	0,2006	0,6313	$\alpha=0,05$

Tabela 5- Teste de Aderência Através do Método de Kolmogorov-Smirnov (Q_{mín})- Dist. Weibull

Distribuição	Estatística de Teste	Valor Crítico	Valor de (P)	Significância
Weibull	0,1526	0,2006	0,2325	$\alpha=0,05$

CONCLUSÕES

O rio possui um período sazonal bem definido, com estiagem entre Março e Agosto, e cheia entre Setembro e Fevereiro. As vazões máximas e mínimas anuais da UHE-Lajeado, ambas possuem comportamento homogêneo, ou seja, não houve mudanças significativas no que tange fenômenos hidroclimáticos ao longo do tempo.

Com base nos resultados é possível afirmar que em média, 75% das vazões mínimas anuais concentram-se abaixo de 595 m³/s, enquanto que 75% das máximas anuais estão acima de 7.271 m³/s, apresentando assim variações bruscas de vazões ao longo do ano na seção de estudo.

As distribuições GEV e Normal representam bem a frequência de eventos extremos de cheia na seção da UHE-Lajeado, assim como a distribuição Weibull se ajusta bem aos eventos e estiagem.

AGRADECIMENTOS- Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (UFAL) e a FAPEAL pelo apoio ao desenvolvimento de pesquisas científicas e manutenção da bolsa de estudos.

BIBLIOGRAFIA

ANA. *Região Hidrográfica do Tocantins Araguaia*. 2012, disponível em: www2.ana.gov.br/paginas/Portais/bacia/TocantinsAraguaia.aspx

NAGHETTINI, M; PINTO, E.J. *Hidrologia Estatística*. CPRM, 2007.

ONS. *Séries Históricas de Vazões*. 2007, disponível em: www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx

POFF, N. L., ALLAN, D., BAIN, M. B., KARR, J. R., PRESTEGAARD, K. L., RICHTER, B. D., SPARKS, R.E. e STROMBERG, J. C (1997). *The Natural Flow Regime*. Bioscience 47(11): 769-784.