



**LARISSA SILVA MELO**

**DISTRIBUIÇÕES E TENDÊNCIAS DE VAZÕES NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS**

**SETE LAGOAS  
2016**



**LARISSA SILVA MELO**

**DISTRIBUIÇÕES E TENDÊNCIAS DE VAZÕES NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS**

**SETE LAGOAS  
2016**

**LARISSA SILVA MELO**

**DISTRIBUIÇÕES E TENDÊNCIAS DE VAZÕES NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, *Campus* Sete Lagoas, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal.

**Orientador:**

**Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior**

**SETE LAGOAS**

**2016**

**LARISSA SILVA MELO**

**DISTRIBUIÇÕES E TENDÊNCIAS DE VAZÕES NA BACIA  
HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias da Universidade Federal de São João Del Rei, *Campus Sete Lagoas*, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias na área de concentração em Produção Vegetal.

**Orientador:**

**Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior**

Sete Lagoas, 29 de julho de 2016.

Banca Examinadora:

Dra. Ana Paula Coelho Madeira Silva - UFSJ

Dr. Diego Antônio França Freitas - UFV

---

Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior – UFSJ  
Orientador

## EPÍGRAFE

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.” (Theodore Roosevelt).

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida, saúde proteção, pelas oportunidades concedidas durante minha vida, e força para concluir mais essa etapa.

Aos meus familiares, que sempre me incentivaram na busca do conhecimento e acreditaram na minha capacidade.

Ao meu orientador, Prof. Dr. João Carlos Ferreira Borges Júnior pela paciência, dedicação, incentivo, sabedoria e pelos ensinamentos e auxílio que foram essenciais para conclusão deste trabalho.

À Universidade Federal de São João Del-Rei, pela oportunidade de cursar o mestrado.

À Fapemig pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias pela oportunidade e ao corpo docente pelos valiosos ensinamentos.

À banca examinadora, pela disponibilidade em participar deste momento.

Aos meus colegas de Mestrado, por tornarem a caminhada mais agradável.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, contribuindo, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AD	- Teste de aderência de Anderson-Darling
ANA	- Agência Nacional de Águas
AAGISA	- Agência de Águas, Irrigação e Saneamento
BIC	- Critério de Informação Bayesiano
CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CEMIG	- Companhia Energética de Minas Gerais
CODEVASF	- Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
DAEE	- Departamento de Águas e Energia Elétrica
DNOS	- Departamento Nacional de Obras de Saneamento
ER	- Distribuição Erlang
FCP	- Função Cumulativa de Probabilidades
FDP	- Função Densidade de Probabilidades
GA	- Distribuição Gama
GU	- Distribuição Gumbel
IG	- Distribuição Inversa Gaussiana
IGAM	- Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
LL	- Distribuição Log Logística
LN	- Distribuição Log Normal
NATURATINS	- Instituto Natureza do Tocantins
OMM	- Organização Meteorológica Mundial
P5	- Distribuição Pearson 5
RA	- Distribuição Rayleigh
TR	- Distribuição Triangular
SEMARH	- Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SEPLANTEC	- Secretaria de Estado do Planejamento e da Ciência e Tecnologia
SERHID	- Secretaria de Recursos Hídricos
SRH	- Superintendência de Recursos Hídricos
SUDERHSA	- Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
WE	- Distribuição Weibull
$D_N$	- estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov
$F_X$	- função densidade de probabilidade
k	- número de classes
P	- medida de probabilidade
Q	- Vazão
S	- estatística do teste Mann Kendall
T	- conjunto de elementos reais ou inteiros
t	- estatística de Student
U	- estatística do teste de Mann-Whitney

$Z$	- variável normal padrão
$\Sigma$	- Somatório
$\omega$	- elemento do espaço amostral
$\Omega$	- espaço amostral
$n$	- tamanho da amostra
$Q_{7,10}$	- vazão mínima de 7 dias com período de retorno de 10 anos
$Q_{90}$	- vazão em que 90% do tempo é superada
$Q_{95}$	- vazão em que 95% do tempo é superada
$F_{o(x)}$	- frequência observada acumulada
$F_{e(x)}$	- frequência esperada acumulada
$\Gamma(n)$	- função Gama
$D_{cal}$	- valor D (Kolmogorov-Smirnov) calculado
$F_n$	- função de distribuição da amostra
$F_0$	- função de distribuição proposta
$D_n$	- distância vertical máxima
$F_n(x)$	- função de distribuição da amostra
$Var(S)$	- variância definida
$Y_i$	- variável em estudo
$X_i$	- ano da observação de ordem $i$
$D_{ij}$	- Declive
$Tr$	- tempo de retorno
$m$	- número de ordem da vazão
$\mu_{ln(X)}$	- Parâmetros da distribuição Log Normal
$\sigma_{ln(X)}$	- Parâmetros da distribuição Log Normal
$\eta$	- Parâmetros da distribuição Gama
$\theta$	- Parâmetros da distribuição Gama
$\alpha$	- Parâmetros da distribuição Gumbel
$\beta$	- Parâmetros da distribuição Gumbel
$D$	- denominador
$\tau$	- coeficiente de correlação de Kendall

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Critérios adotados para outorga em alguns estados brasileiros. ....	12
Tabela 2. Estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas consideradas no trabalho. ....	26
Tabela 3. Dados consistidos séries históricas das estações da BHRV (bacia hidrográfica do Rio das Velhas). ....	28
Tabela 4. Dados de vazões das estações fluviométricas. ....	37
Tabela 5. Valores de vazões de referência ( $m^3 s^{-1}$ ) das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas. ....	38
Tabela 6. Ranking das distribuições de probabilidade aplicadas aos dados de $Q_7$ (vazão mínima com duração de sete dias por ano) segundo critérios de classificação Bayesiano (BIC), Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Anderson-Darling (A-D). ....	39
Tabela 7. Estatística descritiva de $Q_7$ para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas. ....	40
Tabela 8. Estatísticas descritivas para a estação Fazenda Água Limpa. ....	44
Tabela 9. Estatísticas descritivas para a estação Fazenda Água Limpa Jusante. ....	45
Tabela 10. Estatísticas descritivas para a estação Honório Bicalho Montante. ....	46
Tabela 11. Estatísticas descritivas para a estação Honório Bicalho ANA. ....	47
Tabela 12. Estatísticas descritivas para a estação Jequitibá. ....	48
Tabela 13. Estatísticas descritivas para a estação Pinhões. ....	49
Tabela 14. Estatísticas descritivas para a estação Pirapama. ....	50
Tabela 15. Estatísticas descritivas para a estação Ponte da Rodagem. ....	51
Tabela 16. Estatísticas descritivas para a estação Ponte do Licínio. ....	52
Tabela 17. Estatísticas descritivas para a estação Ponte do Licínio Jusante. ....	53
Tabela 18. Estatísticas descritivas para a estação Ponte Raul Soares. ....	54
Tabela 19. Estatísticas descritivas para a estação Ponte Raul Soares Jusante. ....	55
Tabela 20. Estatísticas descritivas para a estação Santo Hipólito. ....	56
Tabela 21. Estatísticas descritivas para a estação Várzea da Palma. ....	57
Tabela 22. Resultado análise de tendência de vazão da estação fluviométrica Pirapama, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. ....	59
Tabela 23. Resultado análise de tendência de vazão da estação fluviométrica Santo Hipólito, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. ....	59
Tabela 24. Resultado análise de tendência de vazão da estação fluviométrica Várzea da Palma, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas. ....	60

Tabela 25. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Fazenda Água Limpa. ....	71
Tabela 26. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Fazenda Água Limpa Jusante.....	72
Tabela 27. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Honório Bicalho Montante.....	73
Tabela 28. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Honório Bicalho ANA. ....	74
Tabela 29. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Jequitibá. ....	75
Tabela 30. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Pinhões. ....	76
Tabela 31. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Pirapama.....	77
Tabela 32. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Ponte da Rodagem.....	78
Tabela 33. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Ponte do Licínio. ....	79
Tabela 34. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Ponte do Licínio Jusante. ....	80
Tabela 35. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Ponte Raul Soares. ....	81
Tabela 36. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Ponte Raul Soares Jusante.....	82
Tabela 37. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Santo Hipólito. ....	83
Tabela 38. Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de $Q_7$ , estimados e ajustados da estação Várzea da Palma.....	84
Tabela 39. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Fazenda Água Limpa. ....	85
Tabela 40. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Fazenda Água Limpa Jusante.....	86
Tabela 41. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Honório Bicalho Montante.....	87
Tabela 42. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Honório Bicalho ANA. ....	88

Tabela 43. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Jequitibá. ....	89
Tabela 44. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Pinhões. ....	90
Tabela 45. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Pirapama. ....	91
Tabela 46. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Ponte da Rodagem. ....	92
Tabela 47. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Ponte do Licínio. ....	93
Tabela 48. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Ponte do Licínio Jusante. ....	94
Tabela 49. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Ponte Raul Soares. ....	95
Tabela 50. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Ponte Raul Soares Jusante. ....	96
Tabela 51. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Santo Hipólito. ....	97
Tabela 52. Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de $Q_7$ e distribuição de percentis, da estação Várzea da Palma. ....	98
Tabela 53. Valores das estatísticas do teste Bayesiano (BIC) das estações para dados de $Q_7$ . ....	99
Tabela 54. Valores das estatísticas do teste Anderson-Darling (A-D) das estações para dados de $Q_7$ . ....	100
Tabela 55. Valores das estatísticas do teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) das estações para dados de $Q_7$ . ....	101
Tabela 56. Vazões de referência $Q_5$ , $Q_{10}$ , $Q_{90}$ , $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas. ....	102
Tabela 57. Vazões de referência $Q_5$ , $Q_{10}$ , $Q_{90}$ , $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 1º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas. ....	102
Tabela 58. Vazões de referência $Q_5$ , $Q_{10}$ , $Q_{90}$ , $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 2º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas. ....	103
Tabela 59. Vazões de referência $Q_5$ , $Q_{10}$ , $Q_{90}$ , $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 3º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas. ....	103

Tabela 60. Vazões de referência $Q_5$ , $Q_{10}$ , $Q_{90}$ , $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 4º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.....	103
Tabela 61. Vazões de referência $Q_5$ , $Q_{10}$ , $Q_{90}$ , $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 5º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.....	104
Tabela 62. Vazões de referência $Q_5$ , $Q_{10}$ , $Q_{90}$ , $Q_{95}$ ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 6º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.....	104

## SUMÁRIO

RESUMO . . . . .	i
ABSTRACT . . . . .	ii
1 INTRODUÇÃO . . . . .	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .	4
2.1 Bacia do Rio das Velhas . . . . .	4
2.2 Vazão de referência . . . . .	7
2.2.1 Vazão mínima de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) . . . . .	7
2.2.2 Vazões de permanência - $Q_{90}$ e $Q_{95}$ . . . . .	9
2.3 Vazões Máximas . . . . .	9
2.4 Outorga . . . . .	10
2.5 Distribuições de probabilidade . . . . .	12
2.5.1 Distribuições de probabilidade utilizadas no trabalho . . . . .	13
2.5.1.1 Distribuição de Gumbel . . . . .	13
2.5.1.2 Distribuição Normal . . . . .	14
2.5.1.3 Distribuição Log Normal . . . . .	14
2.5.1.4 Distribuição Weibull . . . . .	15
2.5.1.5 Distribuição Gama . . . . .	15
2.5.1.6 Distribuição Log Logística . . . . .	15
2.5.1.7 Distribuição Rayleigh . . . . .	16
2.5.1.8 Distribuição Triangular . . . . .	16
2.5.1.9 Distribuição de Erlang . . . . .	17
2.5.1.10 Distribuição Inversa Gaussiana . . . . .	17
2.5.1.11 Distribuição Pearson 5 . . . . .	18
2.6 Testes Estatísticos . . . . .	18
2.6.1 Mann-Kendall . . . . .	18
2.6.2 Kolmogorov-Smirnov (K-S) . . . . .	20
2.6.3 Anderson-Darling (A-D) . . . . .	21
2.6.4 Critério de Informação Bayesiano (BIC) . . . . .	22
3 MATERIAL E MÉTODOS . . . . .	24

3.1	Área de estudo .....	24
3.2	Cálculo das vazões de referência.....	29
3.2.1	Vazão mínima $Q_{7,10}$ .....	29
3.2.2	Vazões de permanência: $Q_{90}$ e $Q_{95}$ .....	30
3.3	Verificação de ajuste das distribuições de probabilidades .....	30
3.4	Análise tendência de vazões .....	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1	Resultados $Q_7$ .....	35
4.1.1	Discussões $Q_7$ .....	41
4.2	Resultados para distribuições gerais e bimestrais.....	43
4.2.1	Discussões para distribuições gerais e bimestrais.....	57
4.3	Análise de tendência.....	59
4.3.1	Discussões análise de tendência .....	60
5	CONCLUSÕES .....	63
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
	APÊNDICE I – Tabelas dados $Q_7$ .....	71
	APÊNDICE II – Tabelas dados agrupados em conjuntos gerais e bimestrais. ....	102

## DISTRIBUIÇÕES E TENDÊNCIAS DE VAZÕES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS

**RESUMO** - Devido à importância da água, há uma evolução nos conceitos de planejamento, gestão e uso dos recursos hídricos, buscando uma resposta eficaz às necessidades humanas e às exigências sociais. Esta evolução tem como um dos fundamentos a análise da hidrologia de uma bacia hidrográfica, através do estudo das séries históricas de vazões, permitindo avaliar a disponibilidade hídrica e detectar mudanças no regime hidrológico significativas em longos períodos. O trabalho tem como objetivos: caracterizar as distribuições empíricas e avaliar os modelos probabilísticos que melhor se ajustam aos dados diários de vazão, organizados para cálculo da vazão mínima de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e nos agrupamentos gerais e bimestrais, de 14 estações fluviométricas da Bacia do Rio das Velhas; e identificar possíveis tendências de vazões em 3 estações fluviométricas da Bacia do Rio das Velhas. Foram utilizados os dados de vazões de 14 estações fluviométricas (Agência Nacional de Águas - ANA), obtidas no portal HidroWeb. Calculou-se as vazões  $Q_{7,10}$  e as vazões mínimas associadas às permanências de 90% e 95%, a fim de estimar as vazões mínimas de referência comumente utilizadas como critério de outorga pelos órgãos gestores de recursos hídricos do país. Os dados de vazão obtidos nas séries históricas foram divididos em sete conjuntos para cada estação fluviométrica, sendo eles:  $Q_{7,10}$ , gerais e 6 bimestres. Para o ajuste de distribuição de probabilidades, foi utilizado o programa @Risk. As distribuições de probabilidades utilizadas, para os dados de vazão  $Q_7$ , foram: Erlang, Gumbel, Gama, Inversa Gaussiana, Weibull, Log Normal, Pearson 5, Log Logística, Rayleigh, Triangular. Para os demais conjuntos de dados, as distribuições utilizadas foram: Log Normal, Pearson 5, Inversa Gaussiana, Gama, Erlang, Gumbel, Weibull, Log Logística, Normal. Para verificar a aderência das probabilidades estimadas às frequências observadas, aplicou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson Darling (A-D) e Critério de Informação Bayesiano (BIC). Para analisar a tendência de vazões, utilizando-se o teste Mann-Kendall, foram escolhidas três estações fluviométricas: Pirapama, Várzea da Palma e Santo Hipólito. Os testes relacionados à análise de tendências temporais foram executados no programa R, juntamente com o pacote “Kendall”. Relacionados aos dados de  $Q_{7,10}$ , considerando o critério BIC e o teste K-S, as distribuições Gumbel e Triangular se ajustaram melhor ao conjunto de dados, em geral. Já pelo teste A-D, as melhores distribuições foram Gumbel e Rayleigh. Diferente do ocorrido nos dados de  $Q_{7,10}$ , não houve aderência indicada pelos testes K-S e A-D aos dados. Relacionado ao estudo de tendência, para as estações Santo Hipólito e Várzea da Palma constatou-se tendência negativa e significativa. Já na estação Pirapama houve tendência positiva.

**Palavras – chave:** Distribuições de probabilidade. Estação fluviométrica. Recursos hídricos.

## FLOW RATE DISTRIBUTION AND TRENDS IN DAS VELHAS RIVER (RIO DAS VELHAS) WATERSHED

**ABSTRACT** – Due to the importance of water, there is an evolution in the concepts of planning, management and use of water resources, searching for an effective response to human needs and social requirements. This evolution has as one of the foundations the analysis of hydrology of a watershed by studying the records of the flow rate, allowing the assessment of water availability and detection of significant changes in hydrological regime over long periods. The present research has the following objectives: to characterize the empirical distributions and evaluate the probabilistic models that best fit the daily flow rate data, organized for the calculation of  $Q_{7,10}$  and in the general and bimonthly grouping, of 14 fluviometric stations in the Das Velhas river basin; to identify possible trends in flow rate of 3 fluviometric stations in the Das Velhas river basin. The flow rate data from 14 fluviometric stations (Agência Nacional de Águas - ANA) were used, obtained from the HidroWeb portal. The flow rates  $Q_{7,10}$  and the minimum flow rates associated with 90% and 95% of permanence were calculated, in order to estimate the reference minimum flow rate commonly used as a criterion for granting use rights by the agencies of water resources management in the country. Flow rate data obtained in the historical records were divided into seven sets for each fluviometric station, which are:  $Q_{7,10}$ , general and six bimesters. To adjust the distribution of probabilities, the software @Risk was used. The distribution of probabilities used for the flow rate data  $Q_7$ , were: Erlang, Gumbel, Gama, Inverse Gaussian, Weibull, Log Normal, Pearson 5, Log Logistic, Rayleigh, Triangular. For the remaining data sets, the following distributions were used: Log Normal, Pearson 5, Inverse Gaussian, Gama, Erlang, Gumbel, Weibull, Log Logistic, Normal. In order to verify the adherence of the estimated probabilities to observed frequencies, the tests Kolmogorov-Smirnov (K-S), Anderson Darling (A-D) and the Bayesian information criterion (BIC) model were applied. Three fluviometric stations were chosen to analyze the flow rates trends using Mann-Kendall test: Pirapama, Várzea da Palma e Santo Hipólito. The tests related to the analysis of temporal trends were run in R environment, together with the “Kendall” package. Regarding the  $Q_{7,10}$  data, in the BIC and the K-S test criterion the Gumbel and Triangular distributions better adjusted to the data set in general. In the A-D test, the best distributions were Gumbel and Rayleigh. Different from the  $Q_{7,10}$  data, there was no adhesion of the test K-S and A-D. Regarding the trend study, it was found a negative and significant trend for Santo Hipólito and Várzea da Palma stations. In the Pirapama station there was a positive trend.

**Keywords:** Probability distribution. Fluviometric station. Water resources.

# 1 INTRODUÇÃO

Uma das questões mais discutidas na atualidade, tanto em escala global, como regional e local, são as preocupações da humanidade em relação à utilização dos recursos hídricos. A exploração dos recursos naturais de maneira predatória, sem levar em consideração a capacidade suporte do ambiente, e o uso desenfreado associado à poluição dos corpos hídricos são fatores que reforçam a constatação de que a água é um recurso natural limitado. As intervenções antrópicas em bacias hidrográficas provocam grandes alterações, podendo favorecer processos erosivos que aumentam a carga de sedimentos nos corpos d'água, comprometendo em quantidade e qualidade recursos hídricos demandados para os usos múltiplos, entre eles o abastecimento público e irrigação.

Apesar da superfície do Globo Terrestre estar coberta pela água dos mares e oceanos, a água doce é um recurso natural escasso. Em seu estudo, Petrella (2001) afirma que 97% da água existente no planeta são compostas de água salgada, não utilizável para consumo humano e irrigação. Dos 3% restantes, que são água doce, dois terços não estão prontamente disponíveis para consumo, por estarem situados nas geleiras e nas calotas polares. Dessa forma, somente 1% da água doce existente está disponível para consumo humano. Ainda assim, três quartos desse percentual encontram-se no meio subterrâneo, restando uma pequena parcela para rios, lagos e ar.

A água é fator estruturador do espaço e condicionador da localização e da dinâmica das atividades antrópicas, possuindo importância estratégica no desenvolvimento e expansão dos povos. A situação de escassez hídrica, em qualidade e quantidade, trouxe novas exigências na integração de esforços na gestão racional dos usos da água (MAGALHÃES et al., 2007). Vários são os usos da água pelo homem. Von Sperling (1996) afirma que os principais usos são o abastecimento público, o doméstico, o industrial, a irrigação e a aquicultura.

Devido à importância da água, há uma evolução no conceito de planejamento, gestão e uso dos recursos hídricos, buscando uma resposta eficaz às necessidades humanas e às exigências sociais para melhorar a utilização da água. Para um gerenciamento adequado dos potenciais hidráulicos disponíveis no mundo, é fundamental conhecer a hidrologia da bacia, considerando-se padrões de variabilidade temporal e espacial.

Na gestão dos recursos hídricos, se deve continuamente promover e buscar a harmonização entre as demandas dos usos múltiplos da água e a disponibilidade hídrica,

entendendo-se esta como o quantitativo a ser utilizado de forma ambientalmente sustentável. Em seu estudo, Mello et al. (2010) ressaltam a importância do estudo sobre o comportamento das variáveis hidrológicas, pois a partir desse conhecimento, é possível determinar os valores adequados de vazões de referência para a disponibilidade hídrica em certa região.

Um dos principais instrumentos de planejamento e gestão de recursos hídricos é a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos. Conforme disposto no Artigo 11 da Lei Federal 9433 (BRASIL, 1997), a disponibilidade hídrica é a informação básica de apoio à tomada de decisão sobre a outorga de direito de uso dos recursos hídricos, que tem como objetivos “assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água”. A outorga permite, ao seu detentor, por um período pré-estabelecido, o direito de uso de determinada quantidade de água, condicionado a sua disponibilidade, de tal modo que assegure ao órgão gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso, ao mesmo tempo em que garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível (MOREIRA, 2006).

Segundo Silveira e Silveira (2001), as vazões mínimas merecem especial atenção em estudos de disponibilidade hídrica, pois é em períodos de ocorrência destas vazões que a disponibilidade de água é considerada crítica para atender todas as demandas, principalmente nos rios que preservam as condições naturais, ou seja, que não possuem reservatórios de acumulação. Em seu estudo, Barbosa et al. (2001) citam que o conhecimento das vazões mínimas é fundamental para avaliar a possibilidade de concessão do uso da água para uma dada finalidade. Essas vazões são definidas através de valores numéricos que representam o volume de água a ser mantido no leito do rio, após as retiradas necessárias para atender os diferentes usos externos. A diversidade de vazões mínimas de referência adotadas, assim como de diferentes percentuais desta vazão para outorga, afeta diferentes usuários e suas atividades econômicas, como irrigação, abastecimento urbano, geração de energia, produção industrial, entre outros.

Através das séries históricas de vazões, é possível analisar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, permitindo avaliar a disponibilidade hídrica e detectar mudanças no regime hidrológico significativas em longos períodos que, por sua vez, fornecem elementos indispensáveis ao processo de gestão dos recursos hídricos associados aos usos múltiplos da água.

Pinto et al. (2010) afirmam que a aleatoriedade dos processos hidrológicos dificultam sua previsão. Porém, dispondo-se de séries históricas de vazão, pode ser feita uma análise

através de ajustes de modelos probabilísticos ou estocásticos à série histórica de vazões. A partir desse ajuste, é possível inferir, a certo nível de confiança, sobre valores extremos de vazão que sejam interessantes à gestão de recursos hídricos.

A partir das distribuições de probabilidades é possível extrapolar além do limite das probabilidades observadas, melhorando a precisão na estimação das vazões, permitindo que as séries históricas sejam completadas, uma vez que o comportamento exato das vazões em anos futuros não pode ser absolutamente previsto. Para uma maior segurança do modelo, ao aplicar alguma distribuição de probabilidade, é necessário que se tenha uma série extensa, uma vez que os eventos extremos, como as grandes vazões, estão diretamente relacionados ao período de retorno. Os métodos probabilísticos são aplicados às estações com longa série de dados fluviométricos consistidos (SANTOS, 2010).

Além disso, é de grande importância estudar a tendência dos componentes do ciclo hidrológico. Estudos nesta linha têm sido mais frequentes, subsidiando o debate sobre as mudanças climáticas, inclusive quanto ao efeito sobre o padrão de ocorrências de cheias e estiagens. Flutuações associadas às condições climáticas podem provocar significativos efeitos sociais e econômicos, impactando sobre a disponibilidade de recursos hídricos e nas atividades que dependem destes.

O presente trabalho configura-se como uma proposta de contribuição para a atualização de estudos de base para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, tendo como objetivos: caracterizar as distribuições empíricas e avaliar os modelos probabilísticos que melhor se ajustam aos dados diários de vazão, organizados para cálculo da  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de 7 dias com período de retorno de 10 anos), e nos agrupamentos gerais e bimestrais, de 14 estações fluviométricas da Bacia do Rio das Velhas; e identificar possíveis tendências de vazões nas estações fluviométricas de Pirapama, Santo Hipólito e Várzea da Palma.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Bacia do Rio das Velhas**

A bacia do Rio das Velhas está localizada na região central do Estado de Minas Gerais, entre as latitudes 17° 15'S e 20° 25'S e longitudes 43° 25'W e 44° 50'W, configurando a Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos SF5 (São Francisco 5). O Rio das Velhas é o maior afluente em extensão da bacia do rio São Francisco, tendo sua principal nascente na cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto, MG, com altitude de cerca de 1.500 m. Já a foz ocorre na confluência com o rio São Francisco, na barra do Guaicuí, em altitude de 478, no Distrito de Várzea da Palma (PDRH, 2015).

O curso principal do rio tem 806,84 km, sendo a área da bacia igual a 27.850 km<sup>2</sup>, isto é, 5% da área do estado de Minas Gerais. A bacia do rio das Velhas apresenta riqueza de cursos d'água, com uma significativa densidade de drenagem que alimenta o rio das Velhas em todo o seu percurso, com destaque para os seus principais afluentes: rio Bicudo, ribeirão Jequitibá, ribeirão da Mata, ribeirão Arrudas, ribeirão do Onça e rio Itabirito (pela margem esquerda); e rio Curimataí, rio Pardo, rio Paraúna/Cipó, rio Taquaraçu e ribeirão Caeté/Sabará (pela margem direita) (CAMARGOS, 2005).

Durante o seu percurso, o rio das Velhas e seus afluentes drenam áreas de 51 municípios, sendo a população mensurada em 4,4 milhões de habitantes (destes, aproximadamente 89% residem em distritos e municípios integralmente inseridos na bacia), conforme dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (PDRH, 2015). A bacia é dividida em quatro macros regiões: Alto (9,8% da área), Médio Alto (15,4% da área), Médio Baixo (43,8% da área) e Baixo (31% da área) Rio das Velhas, nas quais se verificam considerável diversidade segundo aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos. O rio das Velhas apresenta regime de tipo pluvial, como, a quase totalidade dos rios brasileiros. No período de chuvas (outubro-março), verifica-se uma grande elevação no nível das águas.

O maior contingente populacional ocorre no Alto Rio das velhas, que abriga a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Apesar de ocupar apenas 10% da área territorial da bacia, é a principal responsável pela degradação do rio das Velhas, devido à sua elevada densidade demográfica (mais de 70,9% de toda a população da bacia), processo de urbanização e atividades industriais. Nessa região encontra-se o sistema de abastecimento integrado Rio das Velhas, com captação no rio das Velhas e capacidade instalada de 9,0 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> abastecendo 74% da cidade de Belo Horizonte, além das cidades de Raposos, Nova Lima, Sabará e Santa Luzia.

Os principais agentes poluidores são os esgotos industriais e domésticos não tratados e os efluentes gerados pelas atividades minerárias clandestinas atuantes nesta parte da bacia. Por outro lado, as regiões do médio e baixo Rio das Velhas são menos populosas, verificando-se expressivos níveis de atividades agropecuárias. A melhor infraestrutura é observada no alto Rio das Velhas, o que decorre da maior concentração populacional e da maior expressividade dos setores secundário e terciário.

Em relação ao comportamento sazonal das precipitações na bacia, distinguem-se três meses secos, de junho a agosto. A exceção é verificada no alto rio das Velhas, que passa por períodos secos maiores, que variam de 4 a 5 meses (maio a setembro). Outra característica marcante da pluviosidade da bacia refere-se aos máximos totais mensais, atingindo valores acima de 900 mm, o que representa cerca de três vezes a média do mês mais chuvoso em toda a bacia. As médias anuais de temperatura na bacia variam entre 18°C, na região das cabeceiras, até 23°C no extremo norte, junto à foz no rio São Francisco. O aumento das temperaturas médias acompanha o desenvolvimento da calha principal de montante para jusante. Na bacia predominam os seguintes tipos climáticos: clima Quente de Inverno Seco; clima Temperado de Inverno Seco; e clima Tropical com Verão Úmido.

Segundo o Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas (CAMARGOS, 2005), há predominância de sete classes de solo na bacia: Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Vermelho-Escuro, Cambissolos, Argissolo, Litossolos, Neossolo Litólico e Neossolo Flúvico. Definem-se dez classes de mapeamento, havendo classes referentes à cobertura e uso do solo. De significado considerável na bacia, verificam-se áreas de cultivos de ciclo curto, citando-se a produção de milho, feijão e algodão. Cultivos irrigados são observados preponderantemente no baixo Rio das Velhas, embora, por meio de imagens de satélites mais recentes, verifique-se tendência de expansão de áreas irrigadas com métodos como pivô central, também no médio Rio das Velhas.

Nas regiões do médio e baixo curso, há pouca ocorrência de áreas de vegetação nativa, especialmente decorrente da expansão de atividades agropecuárias. Observa-se pressão também em áreas de matas ciliares, o que implica em fator de agravamento do processo de assoreamento de cursos d'água superficiais. Nestas regiões, o cerrado tem sofrido um impacto negativo de práticas de desmatamento, mineração e queimadas.

Em relação à área colhida, observa-se que houve um aumento significativo, de 78.227 hectares em 1990 para 116.153 ha em 1993, apresentando uma evolução expressiva de 48%, ainda que parte desse resultado possa ser creditada às possíveis melhorias introduzidas no

sistema de informações e controle de safras. Conforme Camargos (2005), na bacia do Rio das Velhas as principais culturas são milho, feijão, cana-de-açúcar, arroz, banana, mandioca, café, laranja, soja e tomate. Quanto às atividades de pecuária, esta tem papel significativo em ao menos doze municípios da bacia, embora ainda não se observe, em geral, de desempenhos produtivos otimizados.

De acordo com o PDRH da bacia do Rio das Velhas de 2015, verificou-se que as demandas da região do alto rio das Velhas ultrapassaram os limites outorgáveis, com base no critério de 30% da  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de período de retorno). Este fato indica a necessidade de reavaliação do critério de outorga. Observa-se também que as demandas não representam de forma realista o consumo hídrico. Vazões de permanência, como a  $Q_{95}$ , podem ser embasamentos mais coerentes para critérios de outorga.

Os principais segmentos responsáveis pela retirada de água na bacia são o abastecimento urbano e a irrigação, responsáveis por 36,2% e 32,8% do total retirado (PDRH, 2015). A maior captação de água de toda a bacia ocorre no trecho alto do rio das Velhas, onde está localizado a região metropolitana de Belo Horizonte.

Observa-se evolução em solicitações de outorgas com vistas à irrigação. Apenas no baixo Rio das Velhas, no município de Pirapora, há um grande perímetro de irrigação, mas com captação no Rio São Francisco. Entretanto, o avanço da agricultura irrigada ocorre de forma difusa ao longo da bacia. Sabendo-se que é inerente a este setor o uso expressivo de recursos hídricos, percebe-se a necessidade de se buscar melhoria nos níveis de eficiências das irrigações praticadas, buscando-se adequação de métodos empregados, projetos e estratégias de manejo. Além de melhorias de aspectos quantitativos, o aprimoramento da prática da irrigação implica também na mitigação de impactos ambientais, especialmente no que se refere à conservação de solo e águas superficiais e sub superficiais.

A irrigação pode aumentar a viabilidade financeira e econômica de empreendimentos agrícolas ou propiciar esta viabilidade. Possibilita a expansão da fronteira agrícola e a permanência do homem em áreas sujeitas a climas secos ou com alta probabilidade de ocorrência de veranicos. A maior eficiência econômica, que pode ser obtida com a irrigação, favorece o aumento da competitividade de produtos agrícolas, nos mercados interno e externo, e contribui para a melhoria do padrão de vida de comunidades rurais. Outro benefício da irrigação é a diminuição do risco envolvido na atividade agrícola, já que mitiga as incertezas quanto à produtividade das culturas, oriundas da variabilidade da quantidade e frequência de chuvas. Com base em Camargos (2005), constata-se desigualdade em fatores

socioeconômicos nas quatro regiões da bacia do Rio das Velhas, com piora de indicadores do alto para o baixo Rio das Velhas. É relevante, portanto, a análise potencial de expansão da agricultura irrigada no médio alto, médio baixo e baixo Rio das Velhas, a qual poderia compor um conjunto de estratégias para promover o desenvolvimento destas regiões. Trata-se também de intensificar o uso de recursos hídricos do Estado na busca de revertê-los em benefícios sociais locais.

Verificam-se perspectivas e potenciais consideráveis de expansão da agricultura irrigada, especialmente nas regiões do médio baixo e baixo Rio das Velhas. Geralmente, a agricultura irrigada utiliza maiores volumes de água comparativamente aos consumidos pelos municípios e pela indústria, o que a torna a maior fonte potencial de problemas no tocante ao uso e conservação de recursos hídricos. Em um relatório em 2012, a ANA afirmou que no Brasil 72% da vazão consumida é para a irrigação. Em regiões onde ocorrem restrições quanto à oferta de água e a irrigação é uma prática intensiva, é comum a ocorrência de conflitos entre irrigantes. Assim, é imprescindível, na busca da adequação de aspectos qualitativos e quantitativos, que a expansão de áreas irrigadas ocorra embasada no uso de sistemas de produção sustentáveis segundo critérios agrônômicos, ambientais e econômicos.

Nas UTEs (Unidades Territoriais Estratégicas) da região Médio Baixo e Baixo rio das Velhas, o principal setor responsável pela retirada de água é a irrigação, chegando a corresponder a mais de 70% do total retirado nas UTEs Jabo/Baldim, Peixe Bravo, Ribeirão Tabocas e Onça, Rio Cipó, Ribeirão Picão, Rio Bicudo e Guaicuí. Se analisada a retirada de água na calha do rio das Velhas, no trecho Médio Baixo, a irrigação corresponde a 100%. Já no trecho Baixo da calha do rio das Velhas, a irrigação corresponde a 75%, sendo que os outros 25% correspondem a retiradas de água para mineração. Com relação à água efetivamente consumida na bacia do rio das Velhas, novamente os principais segmentos responsáveis são o abastecimento urbano e a irrigação, responsáveis por 50,48% e 36,44% do total consumido, respectivamente (PDRH, 2015).

## **2.2 Vazão de referência**

### **2.2.1 Vazão mínima de sete dias consecutivos e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ )**

A vazão mínima estatística mais utilizada em estudos de disponibilidade é a  $Q_{7,10}$ , sendo determinada pelo seu valor, duração e período de retorno. O valor corresponde à média da vazão de estiagem na duração considerada e o período de retorno é fornecido pela

distribuição estatística que melhor se ajusta a esta variável. O período de retorno de uma determinada vazão de estiagem corresponde então ao tempo médio em que ela pode ser inferiorizada ou igualada.

No método  $Q_{7,10}$  trabalha-se com vazões mínimas para estabelecer a vazão máxima possível de ser utilizada pelos usuários. O valor obtido (a vazão mínima) visa manter os padrões de qualidade da água em corpos receptores de poluentes, sendo a quantidade suficiente para a sua remoção.

O cálculo da  $Q_{7,10}$  é um importante parâmetro hidrológico frequentemente utilizado com grande aplicação nos estudos de planejamento e gestão dos recursos hídricos. Constitui importante instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos do Brasil, pois fornece estimativa estatística da disponibilidade hídrica dos escoamentos naturais de água. A  $Q_{7,10}$  reflete uma situação crítica de escassez e sua adoção praticamente elimina o risco de suspensão dos usos outorgados na bacia (OLIVEIRA e FIOREZE, 2011).

Smakhtin e Toulouse (1998) examinaram diferentes tipos de vazões de referência em mais de 200 estações de medição na África do Sul e concluíram que a vazão  $Q_{7,10}$  é o índice mais extremo para condições de vazões mínimas. Em alguns estados do Brasil, a legislação relativa à outorga para utilização dos recursos hídricos superficiais em cursos de água estabelece uma porcentagem da  $Q_{7,10}$  como vazão residual mínima a ser mantida a jusante das derivações.

A  $Q_{7,10}$  é obtida calculando as médias móveis das vazões médias diárias de 7 dias consecutivos ao longo de um ano. A mínima dessas médias móveis é retida. O processo é repetido para cada ano da série histórica, obtendo-se uma série de valores mínimos de vazões médias de sete dias consecutivos. Essas vazões são ordenadas em ordem crescente de magnitude, onde são estimadas suas Funções de Distribuição (sendo essa função empírica ou um modelo estatístico que melhor se ajuste aos dados de vazão mínima) e períodos de retorno.

Os dados de vazões das séries históricas submetidos a ajustes de funções de probabilidades e análises estatísticas fornecem vazões de referência que se caracterizam por possibilitar a determinação dos limites de retirada de água outorgadas para atendimento aos usos múltiplos de um corpo hídrico (LANNA, 1993).

### **2.2.2 Vazões de permanência - $Q_{90}$ e $Q_{95}$**

A  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  são vazões de permanência, e seus valores se referem a uma vazão que foi superada ou igualada, respectivamente, em 90% e 95% do tempo correspondente à série de vazões observadas.

As vazões de permanência são utilizadas para o planejamento dos recursos hídricos da bacia hidrográfica, para avaliação do atendimento aos padrões ambientais do corpo receptor, para a alocação de cargas poluidoras e para a concessão de outorgas de captação e de lançamento (VON SPERLING, 2007). Neste sentido, as vazões de permanência podem ser extraídas da curva de permanência das vazões locais, que são construídas com base nas vazões médias diárias de estações fluviométricas de rios distintos.

Para Cruz e Tucci (2008), a curva de permanência não se refere à probabilidade das vazões em qualquer ano, mas sim, uma “garantia” de ocorrência das vazões num horizonte de planejamento. A curva de permanência representa a relação entre a magnitude e a frequência de vazões, diárias, semanais, mensais, de uma determinada bacia hidrográfica, fornecendo a porcentagem de tempo que uma dada vazão é igualada ou superada num período histórico definido. A curva de permanência de vazões é utilizada para caracterizar a distribuição temporal probabilística da disponibilidade hídrica para outorga.

### **2.3 Vazões Máximas**

A vazão máxima de um rio é entendida como sendo um valor associado a um risco de ser igualado ou ultrapassado. A ocorrência de enchentes em períodos de chuvas intensas é um fenômeno natural em uma bacia hidrográfica. De acordo com Mota (2003), precipitações de pequena intensidade, no entanto de longa duração, provocam sérios riscos sociais e materiais na maioria das cidades brasileiras.

Os estudos hidrológicos de vazões máximas são realizados visando maior entendimento do regime hidrológico de uma bacia hidrográfica. Assim, a vazão máxima é necessária para controlar e atenuar as cheias em uma determinada área ou bacia hidrográfica, no dimensionamento de obras hidráulicas de drenagem urbana e rural, em perímetros de irrigação, diques, entre outros.

A estimativa deste valor tem importância decisiva nos custos e na segurança dos projetos de engenharia, por ser resultante de precipitações ocorridas ou com possibilidade de

ocorrer (TUCCI, 2001). Assim, a ocorrência de erros na sua estimativa, quer sejam abaixo ou acima do valor admitido de risco, tem-se por consequência obras sub ou superdimensionadas. As obras subdimensionadas podem acarretar prejuízos econômicos e danos à saúde pública, pois se tratam de um evento de maior magnitude. Já as obras superdimensionadas, a probabilidade de ocorrência é extremamente pequena, ou até mesmo rara, causando um grande desperdício de capital (SILVA et al., 2006).

## **2.4 Outorga**

A Lei 9.433 (BRASIL, 1997) apresenta como um dos instrumentos a outorga de direito de uso dos recursos hídricos. Neste contexto, ressalta-se a importância do conhecimento hidrológico no que se refere à determinação de valores adequados de vazões de referência para disponibilidade hídrica.

Um dos principais instrumentos de gestão e planejamento de recursos hídricos é a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos. A outorga de direito de uso de recursos hídricos é o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante faculta ao outorgado o direito de uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo. A outorga depende da análise, no tempo e no espaço, da disponibilidade e da necessidade hídrica para a conservação do meio biótico (CRUZ e TUCCI, 2005).

De acordo com o inciso IV, do art. 4º da Lei Federal nº 9.984, de 17 de junho de 2000, a ANA (Agência Nacional de Águas) é o órgão responsável em outorgar, por intermédio de autorização, o direito de uso de recursos hídricos em corpos de água de domínio da União, bem como emitir outorga preventiva. Também é competência da ANA a emissão da reserva de disponibilidade hídrica para fins de aproveitamentos hidrelétricos e sua consequente conversão em outorga de direito de uso de recursos hídricos.

No Estado de Minas Gerais, o IGAM é, atualmente, o responsável pelo planejamento e administração de todas as ações direcionadas à preservação da quantidade e da qualidade das águas, sendo também responsável pela gestão dos recursos hídricos do Estado (IGAM, 2012a).

Por meio do Decreto nº 40.055 de 16 de novembro de 1998, são regulamentadas as atribuições do IGAM, cabendo-lhe, entre outras atividades, conceder a outorga do direito de uso das águas, após consulta ao comitê da respectiva bacia hidrográfica. Devido ao lento

processo de implantação dos comitês de bacia hidrográfica, o IGAM tem concedido outorgas de direito de uso dos recursos hídricos baseado na Portaria nº 010/98, que estabelece critérios baseados em “vazões de referência” a serem utilizadas para cálculo das disponibilidades hídricas em cada seção de interesse (IGAM, 2012b).

A vazão mínima de referência para o processo de outorga é o valor de vazão que representa o limite superior de utilização da água em um curso de água e, normalmente, é baseado em vazões de estiagem ou em vazões com alta probabilidade de superação. Parte do percentual dessas vazões deve ser utilizada, sendo o restante considerado como vazão necessária para a manutenção do meio biótico (OLIVEIRA, 2011).

No Brasil, cada Estado tem adotado critérios específicos para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga sem, entretanto, apresentar justificativas para a adoção desses valores (CRUZ, 2001). No processo de outorga, o regime hidrológico dos rios deve ser considerado. Para rios perenes, a outorga é usualmente feita com base na vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) ou nas vazões mínimas associadas às permanências de 95% ( $Q_{95}$ ) e 90% ( $Q_{90}$ ), atribuindo-se valores percentuais a elas, ou seja, outorgando-se apenas parte desses valores de vazões mínimas de referência (SILVA e RAMOS, 2001). Para rios intermitentes, o processo de outorga torna-se mais complexo, pois na época da seca o rio deixa de apresentar vazão (GARRIDO, 2003).

A União adota a vazão correspondente a 70% da  $Q_{95}$  como critério de outorga para águas superficiais, podendo ser essa vazão adaptada a critério de cada Estado (GARRIDO, 2003). Já nos Estados, entre os que adotam critérios para outorga, cada um tem usado valores particulares pragmáticos para o estabelecimento das vazões de referência para outorga.

Os Estados da Bahia, Tocantins e Rio Grande do Norte utilizam a  $Q_{90}$ ; já Goiás, Paraná e Piauí utilizam a  $Q_{95}$ , enquanto Minas Gerais e São Paulo adotam a  $Q_{7,10}$  (ANA, 2007).

O parágrafo 1º do artigo 8º da Portaria 010/98 estipula que “até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), para cada Bacia”. Resolve no parágrafo 2º do mesmo artigo “fixar em 30% (trinta por cento) da  $Q_{7,10}$ , o limite máximo de derivação consuntiva a serem outorgados na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantida, a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da  $Q_{7,10}$ ”. Essa vazão de referência, é a utilizada no estado de Minas Gerais. O limite máximo outorgável é 30% da vazão de

referência para captações a fio d'água. Na Tabela 1 são apresentados critérios de outorga em diferentes entes da União.

**Tabela 1- Critérios adotados para outorga em alguns estados brasileiros.**

Órgão Gestor	Vazão de Referência	Legislação Referente à Vazão Máxima Outorgável
ANA	70% da $Q_{95}$	Critério Variado.
SRH-BA	80% da $Q_{90}$ e 20% para cada usuário individual	Decreto Estadual 6.296/1997
SRH-CE	90% da $Q_{90}$	Decreto Estadual 23.067/1994
SEMARH-GO	70% da $Q_{95}$	Não possui legislação específica
IGAM-MG	30% da $Q_{7,10}$ – para captações a fio d'água.	Portarias IGAM 10/1998, 7/1999, 49/2010.
	50% da $Q_{7,10}$ - limite máximo de captações e lançamentos a serem outorgados, garantindo a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% da $Q_{7,10}$ .	Resolução Conjunta SEMAD-IGAM 1548/2012
AAGISA-PB	90% da $Q_{90}$	Decreto Estadual 19.260/1997
SUDERHSA-PE	50% da $Q_{95}$	Decreto Estadual 4646/2001
SEMAR-PE	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não possui legislação específica
SEMAR-PI	80% da $Q_{95}$ (Rios) e 80% da $Q_{90reg}$ (Açudes)	Não possui legislação específica
SERHID-RN	90% da $Q_{90}$	Decreto Estadual 13.283/1997
SEMAR-RS	Não está definido	-
DAEE-SP	50% da $Q_{7,10}$ por bacia.	Não possui legislação específica
SEPLANTEC – SE	100% da $Q_{90}$ e 30% da $Q_{90}$ para cada usuário.	Não possui legislação específica
NATURATINS –TO	75% $Q_{90}$ por bacia.	Decreto estadual já aprovado pela Câmara de Outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos.

Fonte: Adaptada de Lopes et al. (2009).

## 2.5 Distribuições de probabilidade

A diversidade de vazões de referência adotadas, assim, como os diferentes percentuais desta vazão para outorga, afetam diferentes usuários e suas atividades econômicas. Porém, dispondo-se de séries históricas de vazão, é possível analisar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, permitindo avaliar a disponibilidade hídrica e detectar mudanças no

regime hidrológico significativas em longos períodos, podendo ser feita uma análise através de ajustes de modelos probabilísticos à série histórica de vazões (SILVA et al., 2015).

A distribuição de probabilidade é um modelo matemático que relaciona certo valor da variável em estudo com a sua probabilidade de ocorrência. A partir dela somos capazes de extrapolar além do limite das probabilidades observadas. Como nem todas as séries históricas de vazões são completas, através de determinada distribuição podemos estimar as vazões para determinado tempo.

Existem diversas distribuições de probabilidade que podem ser utilizadas para modelar um conjunto de dados. A distribuição escolhida deve ser a mais robusta, em geral, baseando-se na consistência de seu ajuste aos dados disponíveis. A capacidade da distribuição em reproduzir características relevantes é o que torna a melhor distribuição para ser utilizada nos dados hidrológicos (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

A fim de verificar se uma distribuição teórica de probabilidade se ajusta de forma adequadamente aos dados amostrais, compara-se as frequências amostrais com as frequências teóricas esperadas pelo modelo probabilístico que se está julgando válido para descrever os dados observados (NAGHETTINI e PINTO, 2007).

## **2.5.1 Distribuições de probabilidade utilizadas no trabalho**

### **2.5.1.1 Distribuição de Gumbel**

A distribuição de Gumbel é a distribuição de extremos mais usada na análise de frequência de variáveis hidrológicas. A distribuição Gumbel surge quando se toma o logaritmo de uma variável com a distribuição Weibull. Isto é, se a variável tem uma distribuição Weibull, então a variável  $Y = \log(X)$  tem uma distribuição Gumbel. A Distribuição de Gumbel é geralmente utilizada quando o coeficiente de assimetria da amostra é inferior a 1,50 (ELETROBRAS, 1987).

Sua função densidade de probabilidade (fdp) é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{b} \left( \frac{1}{e^{z+\exp(-z)}} \right)$$

Onde:

$$z = \frac{(x-a)}{b}$$

Em que: b é o parâmetro de forma, e a é o parâmetro de localização contínuo.

### 2.5.1.2 Distribuição Normal

A distribuição de probabilidade contínua mais utilizada é a distribuição normal, também chamada de distribuição Gaussiana, possui grande importância em análise matemática, pois técnicas estatísticas como análise de variância, de regressão e alguns testes de hipótese, assumem ou exigem a normalidade dos dados. No entanto, devido à inerente heterogeneidade, dados climatológicos podem não seguir a distribuição de Gauss (ESSENWANGER, 1986).

A distribuição normal é uma distribuição de dois parâmetros e sua função densidade de probabilidade é dada pela seguinte expressão:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$

para  $-\infty < x < +\infty$  em que  $\mu$  é a média e  $\sigma$  o desvio-padrão da população.  $\mu$  é estimado por  $\bar{x}$  e  $\sigma$  por  $s$ , que são obtidos através das relações:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N}$$
$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}$$

### 2.5.1.3 Distribuição Log Normal

Pode-se dizer que uma amostra obedece à distribuição Log Normal quando o logaritmo dos seus valores obedece à distribuição normal. Uma variável aleatória  $x$  tem distribuição Log Normal se sua fdp for dada por:

$$F(x) = \frac{1}{(x)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right)$$

em que  $F(x)$  é a função densidade de probabilidade da variável;  $x$  o valor da variável aleatória (sendo  $>0$ );  $\mu$  a média dos logaritmos da variável;  $\sigma$  o desvio-padrão dos logaritmos da variável  $x$ .

#### 2.5.1.4 Distribuição Weibull

A distribuição Weibull apresenta aplicações a séries históricas de valores mínimos, sendo normalmente trabalhada para séries de vazões mínimas ou similares. Essa distribuição pertence à família da distribuição de Gumbel e é útil para representar a distribuição de vazões mínimas anuais (CLARKE, 1993). A distribuição de Weibull é uma derivação da distribuição Assintótica de Valores Extremos. Sua fdp é dada por:

$$f(x) = \lambda \beta x^{\beta-1} e^{-\lambda x^\beta}$$

Os parâmetros desta distribuição são  $\lambda$  e  $\beta$ , que estão associados à média e variância, respectivamente, por:

$$\hat{\mu} = \bar{X} = \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{1}{\beta}} \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$$
$$\hat{\sigma}^2 = s^2 = \left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\frac{2}{\beta}} \cdot \left[ \Gamma\left(1 + \frac{2}{\beta}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\right)^2 \right]$$

#### 2.5.1.5 Distribuição Gama

Consiste em uma distribuição de probabilidades com ampla aplicação à hidrologia, com destaque para vazões de maneira geral. Sua fdp é dada por:

$$f(x) = \frac{\lambda}{\Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-\lambda x}$$

Em que:  $\alpha$  é o parâmetro de forma,  $\lambda$  é o parâmetro de escala e  $\Gamma$  é a função Gama.

#### 2.5.1.6 Distribuição Log Logística

A distribuição Log Logística foi proposta por Tadikamalla e Johnson (1982), sendo uma alternativa às distribuições de Weibull e a Log Normal, conforme discutem Colosimo e Giolo (2006).

A distribuição Log Logística é a distribuição de probabilidade de uma variável aleatória cujo logaritmo tem uma distribuição logística. Ela é semelhante em forma à distribuição Log Normal, mas tem cauda com maior simetria à direita. Ahmad et al. (1988)

avaliaram essa distribuição para análise de frequência de inundações e provaram a sua aptidão para tais estudos.

A fdp de uma variável aleatória  $x$ , é dada por:

$$f(x) = \frac{\alpha t^{\alpha-1}}{\beta(1+t^\alpha)^2}$$
$$t = \frac{x-\gamma}{\beta}$$

onde  $\beta > 0$  é o parâmetro de escala,  $\alpha > 0$  é o parâmetro de forma, e  $\gamma > 0$  é o parâmetro de localização.

### 2.5.1.7 Distribuição Rayleigh

A distribuição de Rayleigh é uma distribuição de probabilidade contínua para valores positivos. Geralmente, essa distribuição é observada quando a magnitude global de um vetor está relacionada com os seus componentes de direção.

Sejam  $U \sim N(0, \sigma^2)$  e  $V \sim N(0, \sigma^2)$  variáveis aleatórias independentes. Então,  $X = \sqrt{U^2 + V^2}$  segue uma distribuição de Rayleigh.

A fdp é dada por:

$$fdp(x; \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left\{\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right\}$$

Sendo:  $\sigma$  o parâmetro contínuo de escala.

### 2.5.1.8 Distribuição Triangular

A distribuição triangular é uma distribuição contínua, que é descrita por seus valores mínimo, máximo e de moda. A distribuição tem uma forma triangular. Inicia-se no valor mínimo, aumenta linearmente para pico na moda e depois decresce linearmente com o valor máximo. A forma de triângulo pode ser simétrica ou assimétrica.

Segundo Bressan (2002), essa distribuição da densidade de probabilidade é ainda usada, mais comumente quando se conhece apenas os valores mais prováveis ( $m$ ), mínimo ( $a$ ) e máximo ( $b$ ) da variável, mas não se conhece muito sobre a distribuição empírica dos dados.

A fdp é dada pela fórmula:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2(X-a)}{(m-a)(b-a)} & \text{Se } a \leq X \leq m \\ \frac{2(b-X)}{(b-m)(b-a)} & \text{Se } m < X \leq b \\ 0 & \text{Se } X < a \text{ ou } X > b \end{cases}$$

### 2.5.1.9 Distribuição de Erlang

A distribuição Erlang é uma distribuição de probabilidade contínua com uma ampla aplicabilidade, principalmente devido à sua relação com a distribuição exponencial e a distribuição Gama. Erlang é derivada da soma de um número inteiro de variáveis aleatórias independentes e exponencialmente distribuídas. Quando o parâmetro de forma da distribuição Gama é um número inteiro positivo, a distribuição gama é por vezes chamada de uma distribuição de Erlang.

Sua fdp é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\beta(m-1)!} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{m-1} e^{-x/\beta}$$

Onde:

$m$  é o parâmetro de forma inteiro ( $m > 0$ ).

$\beta$  é o parâmetro de escala contínuo ( $\beta > 0$ ).

### 2.5.1.10 Distribuição Inversa Gaussiana

A inversa gaussiana não é uma inversa direta de uma normal (Gaussiana). O nome inversa vem do fato de que a função geradora dessa distribuição é um logaritmo, que é a função inversa da exponencial.

Sua fdp é dada por:

$$f(x) = \sqrt{\frac{\lambda}{2\pi x^3}} e^{-\left[\frac{\lambda(x-\mu)^2}{2\mu^2 x}\right]}$$

Onde:

$\mu$ : Parâmetro contínuo;

$\lambda$ : Parâmetro contínuo.

### 2.5.1.11 Distribuição Pearson 5

As distribuições Pearson compõem uma família de distribuições de probabilidade contínuas. Foi publicado pela primeira vez por Karl Pearson em 1895. A distribuição do tipo Pearson 5 é um caso especial da distribuição Gama inversa.

Sua função de densidade de probabilidade (FDP), é dada por:

$$f(x) = \frac{1}{\beta \Gamma(\alpha)} \cdot \frac{e^{-\beta/x}}{(x/\beta)^{\alpha+1}}$$

Onde:

$\alpha$  é o parâmetro contínuo de forma.

$\beta$  é o parâmetro contínuo de escala.

$\Gamma$  é a função Gama.

## 2.6 Testes Estatísticos

### 2.6.1 Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall tem sido utilizado em vários estudos de tendências hidrológicas, principalmente na análise de tendência de vazão. Goossens e Berger (1986) afirmaram que esse teste é o melhor método para analisar mudanças climáticas em séries hidrológicas e climatológicas, pois permite a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

O teste Mann-Kendall é um teste não paramétrico sequencial (MANN, 1945; KENDALL, 1975), sugerido pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para avaliação da tendência em séries temporais de dados ambientais. É o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas, e tem sido amplamente aplicado à detecção de tendências. Neste teste, considera-se que, na hipótese de estabilidade de uma série de dados, a sucessão de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma.

Inicialmente proposto por Mann (1945) e posteriormente alterado por Kendall (1975), que criou a correspondente estatística MK. O teste MK consiste em comparar cada valor da série temporal com os valores restantes, sempre em ordem sequencial; é contado o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado.

O teste possui diversos benefícios, entre eles, a não necessidade de que os dados pertençam a uma distribuição particular e a característica de ter resultado pouco afetado por outliers, pois o cálculo baseia-se no sinal das diferenças e não diretamente nos valores da variável (ÖNÖZ E BAYAZIT, 2003).

Fontolan et al. (2012) afirmaram que a identificação de tendências climáticas por meio de análises de regressão linear, em consonância com os testes de Run, Mann-Kendall e Pettitt, pode ser um instrumento valioso para possíveis tomadas de decisões quanto às estratégias relacionadas aos impactos ambientais.

Mortatti (2004) utilizaram em seu estudo o teste de Mann-Kendall para identificar mudanças na tendência de precipitação, confirmando a opinião de diversos autores, sendo seus resultados mais confiáveis.

Considerando a série temporal de N valores anuais (um valor por ano) com termo genérico  $Y_i$ ,  $i = 1, \dots, N$ , de acordo com o teste de Mann-Kendall, cada valor  $Y_i$ ,  $i = 1, \dots, N-1$  é comparado com todos os valores que lhe seguem  $Y_j$ ,  $j = i + 1, i + 2, \dots, N$ , gerando-se uma nova série  $Z_i$  que contém um valor relativo da diferença entre termos da série  $Y_i$ , de acordo com:

$$Z_i = \text{sgn}(Y_i - Y_j) = \begin{cases} 1 & \text{se } Y_i > Y_j \\ 0 & \text{se } Y_i = Y_j \\ -1 & \text{se } Y_i < Y_j \end{cases}$$

Mann (1945) propôs para hipótese nula,  $H_0$ , que o dado vindo de uma população onde as variáveis aleatórias são independentes e igualmente distribuídas. A hipótese alternativa,  $H_1$ , é que os dados seguem uma tendência monotônica no tempo. A estatística do teste é obtida através da soma da série  $Z_i$ :

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(Y_i - Y_j)$$

Quando houver amostras com grande dimensão, em que a estatística do teste ocorre sem a presença de valores nulos de  $Z_i$ , a estatística S segue uma distribuição normal com média nula, ou seja:  $E(S) = 0$ , e variância definida por:

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5)}{18}$$

em que N é o tamanho da série temporal.

Utilizando a equação  $E(S) = 0$ , um valor positivo de  $S$  indica tendência positiva na qual os dados crescem com o tempo. Por outro lado, um valor negativo de  $S$  indica uma tendência negativa (HIPEL e MCLEOD, 1994).

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que mesmo para valores pequenos de  $n$ , pode-se assumir uma distribuição normal desde que o valor da estatística  $Z$  seja dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{(\text{Var}(S))^{1/2}} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Em um teste bilateral para tendência,  $H_0$  deve ser aceito se  $|Z| \leq Z_{\frac{\alpha}{2}}$ ,  $F_N \left( \frac{Z_{\alpha}}{2} \right) = \frac{\alpha}{2}$  sendo  $F_N$  o valor de distribuição normal cumulativa e  $\alpha$  o nível de significância do teste.

O teste de Mann-Kendall possibilita detectar tendências estatisticamente significativas. Para estimar a magnitude dessas tendências é necessário aplicar um estimador estatístico da tendência, como proposto por Sen (1968), por:

$$D_{ij} = \left[ \frac{Y_j - Y_i}{X_j - X_i} \right] \quad \text{para } i > j \text{ e } X_i \neq X_j$$

em que  $Y_i$  representa a variável em estudo e  $X_i$ , o ano em que ocorre a observação de ordem  $i$ . Para estimar a magnitude de uma tendência identificada pelo teste de Mann-Kendall, é adotada a mediana de todos os valores do declive  $D_{ij}$  relativo à série  $Y_i$ .

## 2.6.2 Kolmogorov-Smirnov (K-S)

O teste de Kolmogorov-Smirnov é um dos mais apropriados e amplamente utilizados para variáveis aleatórias contínuas como vazões. K-S é um teste de aderência não paramétrico, onde a partir dele se avalia o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores observados e determinada distribuição teórica específica, para observar a qualidade do ajuste obtido pelas distribuições probabilísticas.

O teste K-S observa a máxima diferença absoluta entre a função de distribuição acumulada assumida para os dados e a função de distribuição empírica dos dados. O teste verifica o valor da diferença e o compara com um valor crítico tabelado que considera o tamanho da amostra e o nível de significância do erro. Maiores valores de probabilidade (p-

valor) estão associados a menores valores de desvios máximos e, dessa forma, maior certeza de não rejeição da hipótese nula.

Scolforo (2006) em seu estudo recomendou o uso do teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a qualidade do ajuste obtido por cada função, onde o teste Kolmogorov-Smirnov compara a frequência cumulativa estimada com a frequência observada. O ponto de maior divergência entre as duas distribuições é o valor D de Kolmogorov-Smirnov.

$$D_{\text{cal}} = \frac{\text{SUP}_x |F_0(x) - F_e(x)|}{n}$$

Sendo:

$F_0(X)$  = frequência observada acumulada;

$F_e(X)$  = frequência esperada acumulada;

$n$  = número de observações;

$D_{\text{cal}}$  = valor D (Kolmogorov-Smirnov) calculado.

Para uma variável aleatória  $X$ , o teste K-S se baseia na análise do ajustamento entre a função de distribuição populacional admitida em  $H_0$ ,  $F_0$ , e a função de distribuição empírica  $F_n$ . Assim, sendo  $F$  a função de distribuição (desconhecida) da população, as hipóteses testadas serão:  $H_0: F(x) = F_0(x)$ ,  $-\infty < x < +\infty$  e  $H_1: F(x) \neq F_0(x)$ , onde  $F_0$  é a função de distribuição proposta, contínua e completamente especificada.

No teste de Kolmogorov-Smirnov considera-se a estatística:

$$D_n = \sup_x |F(x) - F_n(X)|$$

como uma medida da diferença entre a função de distribuição da amostra  $F_n$  e a função de distribuição proposta  $F_0$ .  $D_n$  representa a distância vertical máxima entre as imagens da função de distribuição da amostra,  $F_n(x)$ , e da função de distribuição proposta  $F_0(x)$ , dando uma ideia do ajustamento.

### 2.6.3 Anderson-Darling (A-D)

No teste de aderência Anderson-Darling considera-se a forma da distribuição da população no lugar dos parâmetros. As medidas de ajuste de aderência dependem do método de estimação utilizado, sendo o teste de Anderson-Darling usual para os métodos de máxima verossimilhança e mínimos quadrados.

A estatística de A-D é usada para calcular o p-valor para o teste de qualidade do ajuste, que ajuda a determinar qual distribuição se ajusta da melhor forma aos dados. Esta

estatística mede quão bem os dados seguem uma determinada distribuição (STEPHENS, 1974). Geralmente, quanto melhor uma distribuição se ajusta aos dados, menor é a estatística de A-D. Trata-se de uma modificação do teste Kolmogorov-Smirnov (K-S), sendo, porém, mais sensível. Esse teste dá um peso maior às caudas das distribuições com a introdução de uma função  $\psi$ . Laio et al. (2009) ressaltam que o teste A-D tem proporcionado bons resultados quando aplicados a amostras de variáveis hidrológicas. Se o p-valor do teste de Anderson-Darling for menor do que o nível de significância escolhido, conclui-se que os dados não seguem a distribuição especificada (PALISADE, 2016).

A estatística do teste Anderson-Darling é definida como:

$$A^2 = -N \cdot S$$

$$S = \sum_{i=1}^N \frac{(2i-1)}{N} [\log F(Y_i) + \log(1-F(Y_{N+1-i}))]$$

em que, F é a distribuição cumulativa dos dados e  $Y_i$  são os dados ordenados.

Os valores críticos para o teste Anderson-Darling são dependentes da distribuição específica, sendo testada. Valores tabulados e fórmulas foram publicados por Stephens (1974) para algumas distribuições específicas (normal, log normal, exponencial, Weibull, logística, extremo valor tipo 1, dupla exponencial, uniforme, generalizada Pareto).

#### 2.6.4 Critério de Informação Bayesiano (BIC)

A escolha da melhor distribuição de probabilidade, do ponto de vista estatístico, é um tópico extremamente importante na análise de dados (BOZDANGAN, 1987). O modelo que envolve o mínimo de parâmetros possíveis a serem estimados e que explique bem o comportamento da variável resposta é considerado o melhor modelo a ser utilizado em um conjunto de dados. Nesta linha, diversos critérios para seleção de modelos são apresentados na literatura (BOZDOGAN, 1987; WOLFINGER, 1993, LITTELL et. al, 2002). Dentre os critérios para seleção de modelos, o Critério Bayesiano de Informação (BIC) se destaca.

O critério Bayesiano permite a associação de probabilidade a qualquer grau de crença ou incerteza sobre uma quantidade aleatória, evento ou hipótese. Esse critério, tem como pressuposto a existência de um “modelo verdadeiro” que descreve a relação entre a variável dependente e as diversas variáveis explanatórias entre os diversos modelos a serem

selecionados. Assim, o critério é definido como a estatística que maximiza a probabilidade de se identificar o verdadeiro modelo dentre os avaliados.

O Critério de Informação Bayesiano (BIC), proposto por Schwarz (1978), é dado por:

$$\text{BIC} = -2 \log f\left(\frac{x_n}{\theta}\right) + p \log n$$

Em que:  $f(x_n/\theta)$  é o modelo escolhido,  $p$  é o número de parâmetros a serem estimados e  $n$  é o número de observações da amostra. O modelo com menor BIC é considerado o de melhor ajuste (PALISADE, 2016).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

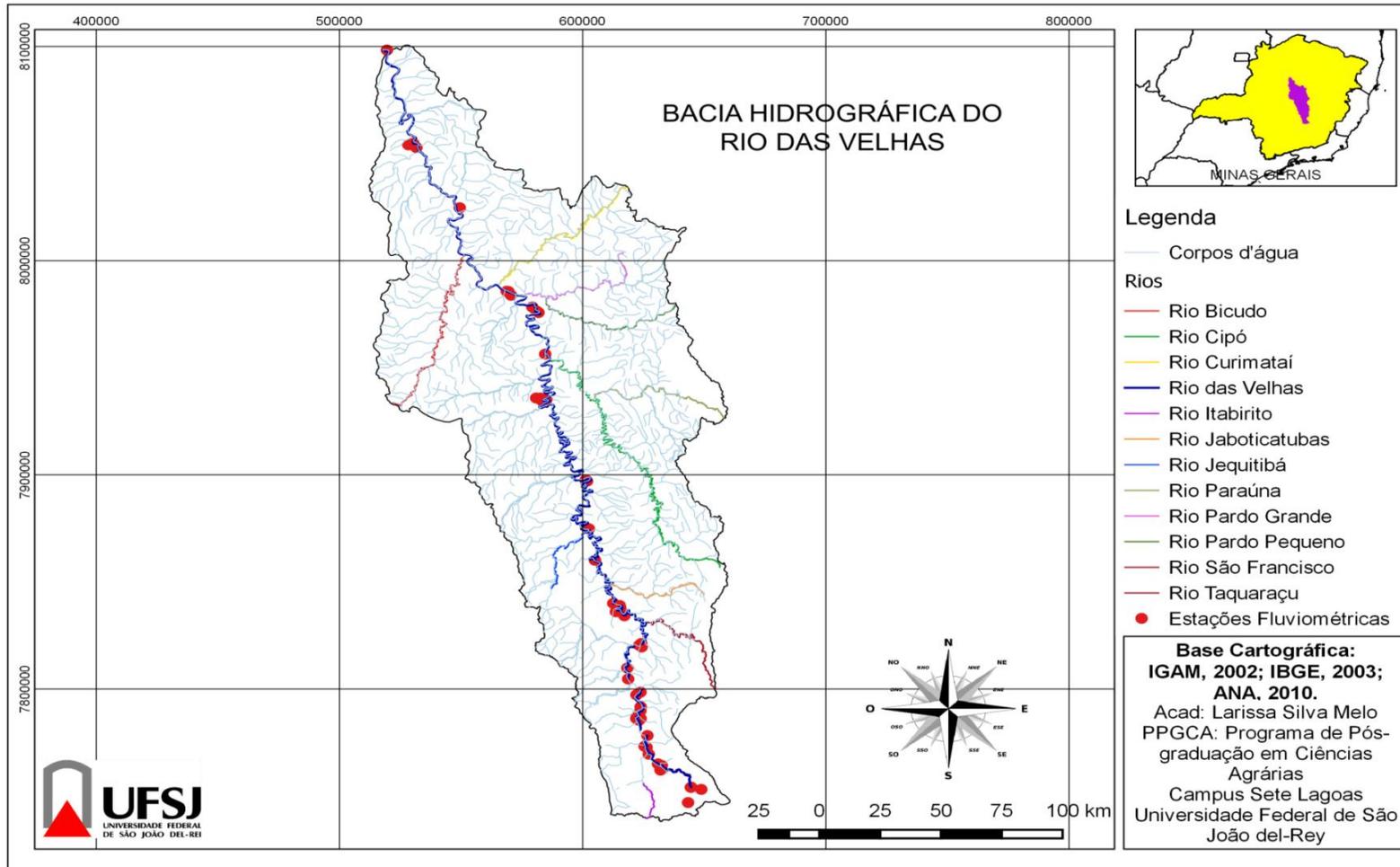
A área de estudo do presente trabalho foi a Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas. A bacia se localiza na região central do Estado de Minas Gerais, entre as latitudes 17° 15'S e 20° 25'S e longitudes 43° 25'W e 44° e 50'W, compreendendo uma área de 29.173 km<sup>2</sup> (Figura 1).

Conforme informações no portal HidroWeb (2013), na área da bacia do Rio das Velhas há 54 estações fluviométricas, sendo 14 de responsabilidade da ANA, 30 do IGAM, 5 da CEMIG, 4 da CODEVASF e 1 do DNOS. O foco do trabalho será em 14 estações de responsabilidade da ANA, pois só estas disponibilizam os dados de vazão, variável de interesse do trabalho (Figura 2).

Os dados consistidos de vazão utilizados das séries históricas foram obtidos no sistema HidroWeb, da Rede Hidro meteorológica Nacional, da Agência Nacional das Águas (ANA). As estações fluviométricas consideradas no presente estudo, incluindo-se informações sobre localização e altitude, estão indicadas na Tabela 2. Dados das estações fluviométricas utilizados no trabalho, considerando tamanho da série histórica (início e término) e falhas, estão demonstrados na Tabela 3.

O período das séries históricas das estações variam de 5 a 77 anos. A estação com menor série é a Ponte da Rodagem (5 anos) e as maiores são estação Santo Hipólito e Várzea da Palma (77 anos). A série com menor porcentagem de falhas, seja diária ou mensal, é a estação Honório Bicalho ANA, com 0,374%. Já a série com maior quantidade de dados faltantes é a estação Ponte Raul Soares, com 14,294% (Tabela 3).

**Figura 1** - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e das estações fluviométricas.

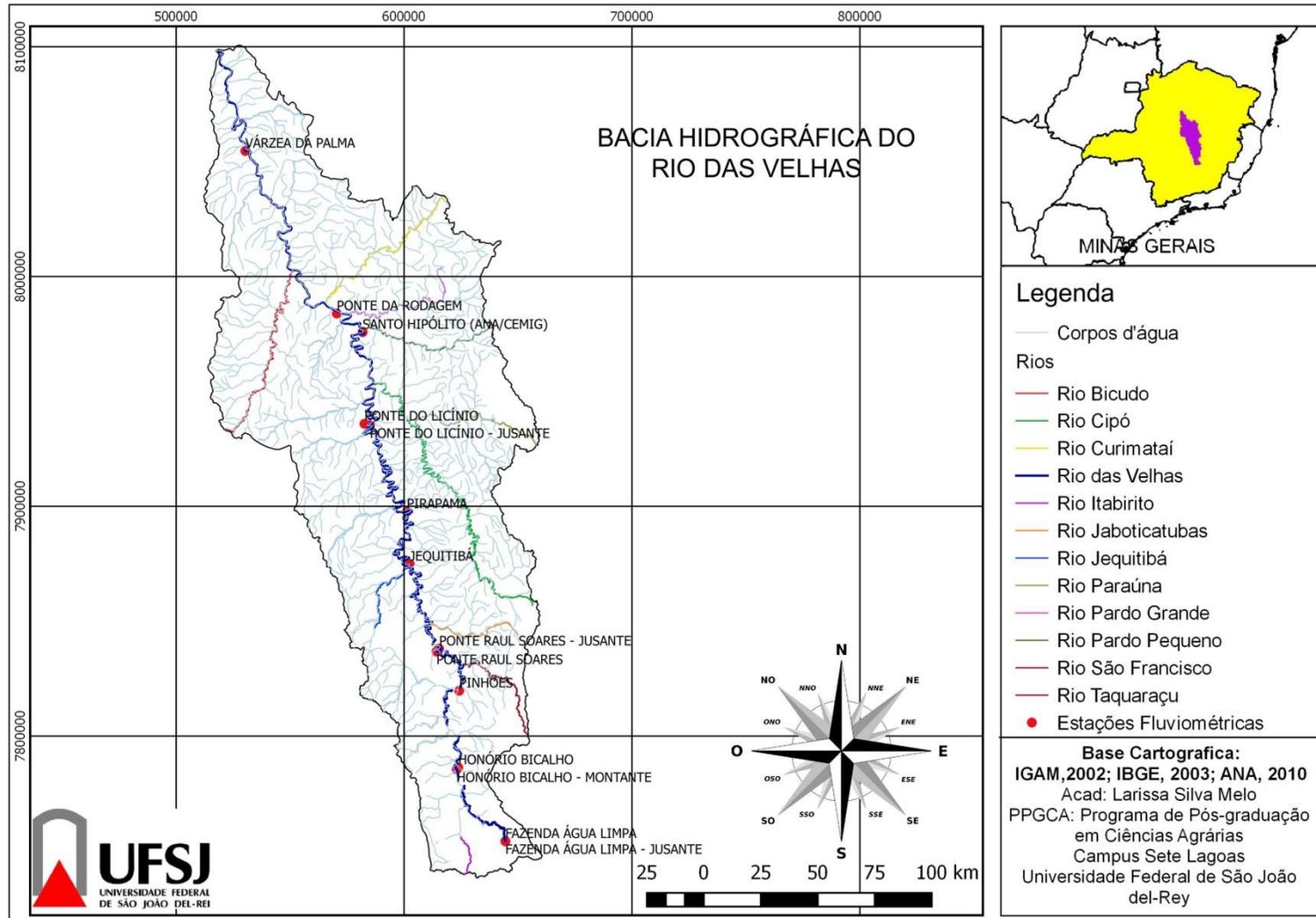


**Tabela 2** - Estações fluviométricas da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas consideradas no trabalho.

Nome	Código	Município	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Responsável	Operadora
Fazenda Água Limpa	41150000	Ouro Preto	-20:18:19	-43:36:59	965	175	ANA	ANA
Fazenda Água Limpa Jusante	41151000	Ouro Preto	-20:18:19	-43:36:59	965	175	ANA	CPRM
Honório Bicalho ANA	41200000	Nova Lima	-20:1:00	-43:49:00	721	1550	ANA	ANA
Honório Bicalho Montante	41199998	Nova Lima	-20:1:26	-43:49:22	721	1550	ANA	CPRM
Jequitibá	41410000	Jequitibá	-19:13:20	-44:1:29	650	7080	ANA	CPRM
Pinhões	41260000	Santa Luzia	-19:42:18	-43:48:53	-	3730	ANA	CPRM
Pirapama	41600000	Cordisburgo	-19:0:40	-44:2:18	616	8050	ANA	CPRM
Ponte da Rodagem	41840000	Santo Hipólito	-18:14:00	-44:20:00	464	19000	ANA	ANA
Ponte do Licínio	41650000	Presidente Juscelino	-18:40:00	-44:13:00	560	10700	ANA	ANA
Ponte do Licínio Jusante	41650002	Presidente Juscelino	-18:40:22	-44:11:38	560	10700	ANA	CPRM
Ponte Raul Soares	41340000	Lagoa Santa	-19:33:35	-43:54:40	637	4860	ANA	CPRM
Ponte Raul Soares Jusante	41340005	Jaboticatubas	-19:33:00	-43:54:00	637	4860	ANA	ANA
Santo Hipólito	41818000	Santo Hipólito	-18:18:22	-44:13:33	499	16600	ANA	CPRM
Várzea da Palma	41990000	Várzea Da Palma	-17:35:41	-44:42:50	464	26500	ANA	CPRM

Fonte: Adaptado de HidroWeb (2013).

**Figura 2 -** Localização das 14 estações fluviométricas consideradas no estudo.



**Tabela 3** - Dados consistidos séries históricas das estações da BHRV (bacia hidrográfica do Rio das Velhas).

Estação	Início	Término	Total Dados	Total Falhas	% Falhas	Falhas Q <sub>7,10</sub>
Fazenda Água Limpa	01/06/1956	31/05/1994	13745	134	0,974	380
Fazenda Água Limpa Jusante	01/05/1994	31/01/2015	7410	171	2,307	323
Honório Bicalho ANA	01/09/1963	31/12/1970	2669	10	0,374	58
Honório Bicalho Montante	01/04/1971	31/01/2015	15646	366	2,339	668
Jequitibá	01/06/1965	31/12/2014	17998	113	0,627	449
Pinhões	01/09/1975	31/12/2014	13801	566	4,101	860
Pirapama	01/07/1956	31/01/2015	19323	2076	10,743	2521
Ponte da Rodagem	01/07/1965	31/12/1970	1912	98	5,125	134
Ponte do Licínio	01/08/1941	31/12/1976	12385	552	4,457	901
Ponte do Licínio Jusante	01/05/1976	31/01/2015	13862	293	2,113	592
Ponte Raul Soares	01/02/1938	30/04/2013	24045	3437	14,294	3996
Ponte Raul Soares Jusante	01/11/1976	31/01/1983	2172	111	5,110	165
Santo Hipólito	01/06/1938	31/01/2015	26278	1726	6,568	2437
Várzea da Palma	01/06/1938	31/01/2015	27754	250	0,900	887

### 3.2 Cálculo das vazões de referência

A fim de estimar as vazões mínimas de referência comumente utilizadas como critério de outorga pelos órgãos gestores de recursos hídricos do país, no presente estudo foram consideradas as vazões mínimas com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e as vazões mínimas associadas às permanências de 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ). Para o cálculo das vazões mínimas de referência, foram analisados os dados consistidos de 14 estações fluviométricas da bacia do Rio das Velhas (Tabela 3).

#### 3.2.1 Vazão mínima $Q_{7,10}$

Uma vez de posse da série de vazões diárias, procedeu-se a análise das 365 médias diárias de vazão, calculando-se a média móvel de sete dias consecutivos ( $Q_7$ ). O conceito de média móvel significa que a média é calculada para sete termos, havendo progressão no conjunto de dados considerados no cálculo (média do 1º ao 7º dia, do 2º ao 8º, 3º ao 9º, etc.). Com os menores valores das médias móveis anuais para sete dias consecutivos, classificados em ordem crescente, formou-se uma série anual, com a qual foram efetuadas as análises estatísticas que permitem extrapolar o valor para diferentes tempos de retorno. Posteriormente, foi feita a análise de frequência para determinar a vazão no período de retorno desejado. Para isto, foram utilizadas as seguintes expressões:

$$p = \frac{m}{N+1} \quad (1)$$

$$Tr = \frac{1}{p} \quad (2)$$

Em que:

p - probabilidade de ocorrência de uma vazão igual ou inferior àquela considerada, em um ano qualquer.

m - número de ordem da vazão, após ela ter sido ordenada de forma crescente ( $m = 1$  para a menor vazão e  $m = N$  para a maior vazão).

N - número de anos com dados disponibilizados para a análise.

Tr - tempo de retorno: é o número médio em anos para que ocorra uma vazão igual ou inferior à vazão considerada, uma vez, em um ano qualquer.

Quando o conjunto de valores de vazão para sete dias consecutivos não está completo, não é possível calcular a  $Q_7$  sem preenchimento de falhas. Optou-se neste trabalho por não utilizar procedimentos de preenchimento de falhas, descartando conjuntos incompletos de dados. Assim, visou-se a não inserir novas fontes de incertezas nas séries históricas. A quantidade de falhas de  $Q_7$  foram contadas para cada estação, sendo demonstradas na Tabela 3.

### **3.2.2 Vazões de permanência: $Q_{90}$ e $Q_{95}$**

Para determinação das vazões de permanência  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  foram utilizadas todas as séries históricas dos dados (para as 14 estações com dados disponibilizados), compreendendo as medições diárias (total de dados = N), de acordo com a metodologia descrita por Von Sperling (2007).

Os dados foram ordenados de forma decrescente, no Excel, e atribuídos um número de ordem para cada um, na seguinte sequência decrescente:  $m=1$  para o maior,  $m = 2$  para o segundo maior,...,  $m = N$  para o menor. Em seguida, para cada par ( $m, Q_m$ ), foi associada uma probabilidade de que haja uma vazão superior a ela. Esta probabilidade foi dada por  $P = m/N$ . Assim, para a maior vazão da série ( $m = 1$ ), a probabilidade de ocorrência de uma vazão superior foi  $1/N+1$ , para a segunda maior vazão foi  $2/N+1$ , e assim por diante, até se ter a menor vazão, que tem associada a ela a probabilidade de excedência de  $N/N+1$  (100%). Após, os dados foram plotados em um gráfico, onde no eixo Y dispuseram-se as vazões diárias e no eixo X as probabilidades em %. Este procedimento resultou no traçado da curva de permanência, que é utilizada quando se deseja conhecer a permanência no tempo de determinados valores.

Posteriormente, para o cálculo empírico, foi identificado o valor da probabilidade de 0,90 (90%) e de 0,95 (95%), por interpolação, pois as vazões associadas a elas são as vazões  $Q_{90}$  (90% das vazões são iguais ou superiores e 10% são inferiores) e  $Q_{95}$  (95% das vazões são iguais ou superiores e 5% são inferiores).

### **3.3 Verificação de ajuste das distribuições de probabilidades**

Não existe um consenso de qual a melhor distribuição de probabilidades, ou seja, a melhor distribuição é aquela que é capaz de reproduzir características relevantes para um determinado conjunto de dados. A partir disso, as distribuições escolhidas para o trabalho,

foram selecionadas através de revisão bibliográfica de diversos estudos e testes preliminares no programa estatístico @Risk, versão 7.0.1 (PALISADE, 2016).

Os dados de vazão obtidos nas séries históricas foram divididos em oito conjuntos para cada estação fluviométrica, sendo eles:

- Vazão  $Q_7$ ;
- Vazões gerais (anual);
- 1º bimestre (janeiro e fevereiro);
- 2º bimestre (março e abril);
- 3º bimestre (maio e junho);
- 4º bimestre (julho e agosto);
- 5º bimestre (setembro e outubro);
- 6º bimestre (novembro e dezembro).

As distribuições de probabilidades utilizadas, para os dados de vazão  $Q_7$ , foram: Erlang, Gumbel, Gama, Inversa Gaussiana, Weibull, Log Normal, Pearson 5, Log Logística, Rayleigh, Triangular. Para os demais conjuntos de dados (Vazões gerais, 1º bimestre, 2º bimestre, 3º bimestre, 4º bimestre, 5º bimestre, 6º bimestre), as distribuições utilizadas foram: Log Normal, Pearson 5, Inversa Gaussiana, Gama, Erlang, Gumbell, Weibull, Log logística, Normal. Para o ajuste de distribuição de probabilidades, foi utilizado o programa @Risk, versão 7.0.1 (PALISADE, 2016). Para estimar os parâmetros de distribuição, o programa @RISK utiliza MLEs (estimadores de máxima verossimilhança) ou ligeiras modificações de MLEs.

Em geral para a aprovação ou não da distribuição, a diferença da frequência calculada com a frequência empírica deve ser menor que o valor crítico encontrado em tabelas próprias de cada teste de acordo com o nível de significância usado, neste trabalho foi de 5% ( $\alpha = 0,05$ ), sendo que quanto mais próximo de zero este valor, o modelo representa de forma mais precisa os dados amostrais. Desta forma, todos os testes testam a hipótese de determinada distribuição empírica pertencer ou não à determinada distribuição teórica.

Para avaliar o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores observados e determinada distribuição teórica específica, foram utilizados os testes de aderência Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Anderson-Darling (A-D). Para seleção de modelo foi utilizado o Critério de Informação Bayesiano (BIC) (PALISADE, 2016).

Os testes estatísticos de aderência são utilizados quando não se conhece a distribuição de probabilidade que descreve uma população, mas se deseja testar a hipótese de que uma determinada distribuição possa ser adequada para descrever tal população, baseando-se em uma amostra. Estes testes consideram a forma da distribuição da população no lugar dos parâmetros.

Em relação às estatísticas dos testes, à medida que o p-valor diminui, menor é a chance de a distribuição ajustada gerar o conjunto de dados original. Por outro lado, à medida que o p-valor se aproxima de um, não há base para rejeitar a hipótese que a distribuição ajustada realmente tenha gerado seu conjunto de dados. Em relação ao valor crítico em determinado nível de significância, qualquer ajuste que tenha o valor da estatística do teste (s) acima do valor crítico é rejeitado, enquanto os ajustes com valores de s abaixo do valor crítico são aceitos. Tipicamente, valores críticos dependem do tipo de ajuste de distribuição, da estatística de ajuste utilizada e o nível de significância. Para cada uma dessas estatísticas, quanto menor o valor, melhor o ajuste.

### **3.4 Análise tendência de vazões**

Foram analisadas as tendências de vazão em três estações fluviométricas: Pirapama, Várzea da Palma e Santo Hipólito. Os dados de vazão de cada estação foram divididos em:

- Vazão  $Q_7$ ;
- Vazões gerais (anual);
- 1º bimestre (janeiro e fevereiro);
- 2º bimestre (março e abril);
- 3º bimestre (maio e junho);
- 4º bimestre (julho e agosto);
- 5º bimestre (setembro e outubro);
- 6º bimestre (novembro e dezembro).

Para analisar a tendência das vazões, foi utilizado o teste estatístico Mann-Kendall. Segundo Ferrari (2012), o teste estatístico não-paramétrico de Mann-Kendall foi proposto inicialmente por Sneyers (1975) e “considera que na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples)”.

O teste de Mann-Kendall foi aplicado considerando o nível de significância de 5%. Foram calculadas a estatística  $S$ , variância de  $S$  ( $\text{Var}(S)$ ), denominador ( $D$ ), o coeficiente de correlação de Kendall ( $\tau$ ) e o p-valor do teste. O valor de tau é o resultado da divisão da estatística  $S$ , pelo denominador ( $D$ ), sendo  $D$ , o valor máximo possível de  $S$  (HIPEL e MCLEOD, 1994).

No teste de Mann-Kendall, uma tendência é considerada negativa ou positiva caso o escore de Mann-Kendall seja negativo ou positivo, respectivamente. Um valor positivo de  $S$  indica tendência positiva na qual os dados crescem com o tempo. Por outro lado, um valor negativo de  $S$  indica uma tendência negativa.

Além disso, a tendência é considerada significativa quando p-valor apresenta um valor menor que o nível de significância do teste, que neste trabalho foi de 5% ( $\alpha = 0,05$ ). O p-valor descreve a probabilidade de ser encontrado um valor mais extremo que o observado na amostra. Quando são encontrados valores muito pequenos do p-valor, fica evidenciado que existe tendência na série analisada.

Os dados de vazões das estações foram preparados para serem utilizados no programa R. Foi criada uma macro, a partir do Visual Basic no Excel, para que determinasse a média das vazões; média de  $Q_7$  para cada ano (dados  $Q_7$ ), média das vazões diárias em cada ano (vazões gerais) e média das vazões diárias em cada bimestre (bimestres). Após a preparação das planilhas, os dados foram executados no programa R.

Os testes relacionados à análise de tendências temporais foram executados no programa R (v. 3.3.1) (R CORE TEAM, 2016), juntamente com o pacote “Kendall” (MCLEOD, 2011).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos das vazões de referência, vazão máxima, vazão média, para todas as estações, se encontram na Tabela 4. Nas estações fluviométricas Honório Bicalho ANA, Ponte da Rodagem e Ponte Raul Soares Jusante não foi possível calcular a  $Q_{7,10}$  com base na distribuição empírica, pois o tamanho da série histórica é inferior a 10 anos.

Os valores da  $Q_{7,10}$  variam entre  $0,914 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $44,753 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , sendo que o menor valor foi obtido na estação Fazenda Água Limpa Jusante e o maior valor foi obtido na estação Várzea da Palma.

Observa-se que normalmente a vazão  $Q_{7,10}$  é mais restritiva, ou seja, apresenta valores menores do que as vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  (Tabela 4). No entanto, a diferença entre estes valores de vazão de referência depende do regime hidrológico do curso d'água (VON SPERLING, 2007). A escolha da  $Q_{7,10}$  como vazão de referência oferece maiores garantias de que não haverá falhas de atendimento às demandas (PEREIRA e LANNA, 1996).

Na versão do PDRH da bacia do Rio das Velhas, de 2004, verificou-se que as demandas, majoritariamente, ultrapassam limites outorgáveis, com base no critério de 30% da  $Q_{7,10}$  (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de período de retorno). De acordo com o Plano Diretor da Bacia do Rio das Velhas de 2015, em seis UTEs da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, não seria possível permitir a retirada de água, além do que se retira, uma vez que a vazão média de retirada excederam os critérios permissíveis para retirada de água (superior a 30% da  $Q_{7,10}$ ). No alto rio das Velhas, a retirada de água superficial da bacia superou o limite outorgável, ou seja, a soma das demandas hídricas de todas as UTEs, superou a disponibilidade hídrica da região (PDRH, 2015).

O fato do valor da  $Q_{7,10}$  ser calculado com base na análise dos períodos críticos de estiagem, mantido fixo ao longo do ano, tem restringido um maior uso de água em meses fora do período de estiagem. Este fato indica a necessidade de reavaliação do critério de outorga. Observa-se também que as demandas não representam de forma realista o consumo hídrico. Vazões de permanência, como a  $Q_{95\%}$ , podem ser embasamentos mais coerentes para critérios de outorga.

Em relação à  $Q_{90}$ , os valores variam entre  $0,96 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $67,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Os valores da  $Q_{95}$  variam de  $0,88 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  e  $57,43 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Tabela 5). Em relação às vazões máximas, o menor valor obtido foi de  $9,238 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , e o maior valor foi de  $4.442,711 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ . Nessas três variáveis, os menores valores foram da estação Ponte Raul Soares Jusante (Tabela 4) e os maiores valores

foram da estação Várzea da Palma. Os valores de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  obtidos a partir das curvas de permanência de cada estação fluviométrica, com base em dados diários, retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado, estão demonstrados na Tabela 5.

Os valores das vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$ , em base diária para todos os bimestres, das 14 estações fluviométricas, estão demonstradas no Apêndice II, nas Tabela 56 a Tabela 62.

#### **4.1 Resultados $Q_7$**

Os rankings das distribuições de densidades de probabilidade segundo critérios de classificação Bayesiano (BIC), Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Anderson-Darling (A-D), estão demonstrados na Tabela 6. Já os valores das estatísticas obtidas a partir de cada critério, constam no Apêndice I (Tabela 53, Tabela 54 e Tabela 55).

O teste de seleção BIC e o teste de aderência Kolmogorov-Smirnov se ajustaram aos dados de apenas 13 estações. Já o teste de aderência Anderson-Darling se ajustou aos dados de 9 estações.

As distribuições Erlang e Gama não aderiram a nenhum conjunto de dados das estações. Já as distribuições Gumbel e Triangular aderiram aos dados de grande parte das estações. Na estação Ponte Raul Soares Jusante não houve aderência de nenhuma distribuição aos dados.

Considerando a distribuição Gumbel, essa ocupou a melhor posição no ranking, considerando todos os testes, nas estações Jequitibá, Ponte do Licínio Jusante, Ponte Raul Soares e Santo Hipólito.

Nas estações Fazenda Água Limpa e Pinhões, houve aderência apenas da distribuição Triangular, ocupando a 1º posição no ranking considerando o teste de aderência K-S e o critério BIC.

Na estação Fazenda Água Limpa Jusante, as distribuições Triangular, Rayleigh e Gumbel aderiram aos dados, sendo que, a Triangular ocupou posição de destaque pelos testes BIC e K-S.

Na estação Honório Bicalho Montante apenas as distribuições Gumbel e Triangular aderiram aos dados, sendo que a Gumbel foi a melhor pelo teste K-S, e Triangular pelo teste BIC.

As estações Honório Bicalho ANA, Jequitibá, Pirapama, Ponte da Rodagem e Ponte do Licínio Jusante obtiveram o ajuste das distribuições Gumbel, Rayleigh e Triangular. De um modo geral, a melhor distribuição foi a de Gumbel, ocupando a melhor posição no ranking.

Na estação Ponte do Licínio, houve aderência das distribuições Gumbel, Inversa Gaussiana, Log Logística, Log Normal e Pearson 5. Considerando o critério Bayesiano e o teste A-D, a distribuição Log Logística foi a melhor; já pelo teste K-S a Log Normal destacou em relação às demais.

As distribuições Pearson 5, Log Normal, Log Logística e Inversa Gaussiana aderiram aos dados da estação Várzea da Palma, sendo a distribuição Pearson 5 a melhor colocada no ranking pelo critério BIC e A-D. Pelo teste K-S, a melhor posição no ranking foi ocupada pela distribuição Log Logística.

A partir da Tabela 7, é possível analisar os valores da estatística da distribuição empírica de  $Q_7$  para as estações fluviométricas. Os valores mínimos das vazões variaram de  $0,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Fazenda Água Limpa) a  $44,94 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Ponte da Rodagem). O menor valor de vazão máxima foi de  $1,66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na estação Fazenda Água Limpa Jusante, já o maior valor foi encontrado na estação Ponte do Licínio, com uma vazão de  $180,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

A menor média de vazão foi da estação Ponte Raul Soares Jusante ( $1,21 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). Já a maior média foi de  $69,64 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , na estação Várzea da Palma. Os valores de moda variam de  $0,8221$  (Ponte Raul Soares Jusante) a  $72,7039 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Santo Hipólito). Os valores da mediana variam de  $0,99$  (Ponte Raul Soares Jusante) a  $60,06 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (Várzea da Palma). O menor valor de desvio padrão foi de  $0,22 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , na estação Fazenda Água Limpa Jusante, e o maior valor  $25,89 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na estação Ponte do Licínio.

A comparação entre o valor da média e o valor da moda, indica a inclinação da distribuição. Apenas as estações Fazenda Água Limpa, Fazenda Água Limpa Jusante, Honório Bicalho Montante e Pinhões possuem uma assimetria negativa. Os valores variam de  $-0,70$  (Fazenda Água Limpa) a  $4,17$  (Ponte do Licínio).

Quando os coeficientes de curtose atingem valores muito altos, as distribuições são mais achatadas e alguns valores de vazão são muito distantes da média. Isso pode ser confirmado na estação Ponte do Licínio, onde possui o maior coeficiente de curtose  $24,37$ , sendo que a vazão máxima é de  $180,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (muito distante da média  $45,81 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ).

**Tabela 4 - Dados de vazões das estações fluviométricas.**

Estação	$Q_{7,10} (m^3 s^{-1})$	$Q_{90} (m^3 s^{-1})$	$Q_{95} (m^3 s^{-1})$	Vazão Máxima ( $m^3 s^{-1}$ )	Vazão Média ( $m^3 s^{-1}$ )	Desvio Padrão ( $m^3 s^{-1}$ )
Fazenda Água Limpa	1,015	1,436	1,279	66,200	3,255	3,464
Fazenda Água Limpa Jusante	0,914	1,278	1,153	51,239	2,620	2,613
Honório Bicalho ANA	-	12,71	11,703	1153,914	31,737	53,498
Honório Bicalho Montante	10,132	13,87	12,393	539,022	30,452	27,766
Jequitibá	23,597	33,322	29,067	1208,000	92,989	99,449
Pinhões	13,964	22,771	18,575	894,211	59,272	62,951
Pirapama	25,075	36,222	31,664	1248,831	102,911	105,154
Ponte da Rodagem	-	59,61	54,529	1627,000	193,801	208,661
Ponte do Licínio	29,224	39,653	33,623	1059,100	119,426	115,153
Ponte do Licínio Jusante	30,232	46,615	40,503	1358,592	130,306	139,732
Ponte Raul Soares	20,005	27,711	24,401	1421,415	72,954	79,242
Ponte Raul Soares Jusante	-	0,978	0,889	9,238	1,674	0,978
Santo Hipólito	42,231	59,866	52,154	2356,272	202,933	235,257
Várzea da Palma	44,753	67,578	57,523	4442,711	306,306	387,720

**Tabela 5** - Valores de vazões de referência ( $m^3 s^{-1}$ ) das estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

Vazões de referências	Fazenda Água Limpa	Fazenda Água Limpa Jusante	Honório Bicalho Montante	Honório Bicalho ANA	Jequitibá	Pinhões	Pirapama	Ponte da Rodagem	Ponte do Licínio	Ponte do Licínio Jusante	Ponte Raul Soares	Ponte Raul Soares Jusante	Santo Hipólito	Várzea da Palma
1%	18,90	12,84	152,65	231,92	567,78	348,44	585,07	1083,00	628,43	778,00	421,44	5,82	1286,71	2079,00
5%	7,61	6,20	74,02	81,99	267,11	156,70	287,51	625,00	351,16	396,27	197,66	3,59	651,40	1055,00
10%	5,29	4,37	52,46	54,56	179,22	109,85	199,93	426,00	251,19	265,82	136,67	2,72	442,48	711,89
20%	3,81	3,05	36,14	33,49	116,00	73,78	133,32	248,00	158,54	167,70	88,84	2,05	268,09	414,11
30%	3,10	2,45	29,55	26,10	88,10	57,21	102,26	191,00	115,26	123,83	68,85	1,68	186,81	283,61
40%	2,68	2,12	25,43	22,02	71,12	47,04	80,68	144,00	92,15	98,3	57,30	1,47	142,10	208,70
50%	2,38	1,89	22,65	19,50	60,71	40,29	68,61	113,00	76,20	83,02	49,31	1,32	115,37	163,08
60%	2,11	1,73	20,18	17,38	52,5	35,51	59,40	94,40	67,50	70,05	43,33	1,24	96,69	132,00
70%	1,86	1,60	17,93	15,70	45,96	31,44	51,01	79,50	57,42	61,51	37,88	1,15	83,49	107,50
80%	1,67	1,45	15,87	14,15	39,90	27,40	43,80	70,00	48,61	53,69	32,92	1,07	71,84	87,10
90%	1,43	1,26	13,80	12,60	33,30	22,72	36,21	59,50	39,56	46,01	27,66	0,96	59,78	67,51
95%	1,28	1,15	12,38	11,69	28,93	18,49	31,65	54,50	33,62	40,5	24,38	0,88	52,15	57,43
99%	0,69	0,92	9,62	9,96	22,92	10,32	22,43	44,80	27,65	32,40	19,29	0,79	41,62	42,36

**Tabela 6** - Ranking das distribuições de probabilidade aplicadas aos dados de Q<sub>7</sub> (vazão mínima com duração de sete dias por ano) segundo critérios de classificação Bayesiano (BIC), Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Anderson-Darling (A-D).

Estações	Crítérios	Erlang	Gama	Gumbel	Inversa Gaussiana	Log Logística	Log Normal	Pearson 5	Rayleigh	Triangular	Weibull
Fazenda Água Limpa	BIC									#1	
	K-S									#1	
	A-D										
Fazenda Água Limpa Jusante	BIC			#3					#2	#1	
	K-S			#2					#3	#1	
	A-D										
Honório Bicalho Montante	BIC			#2						#1	
	K-S			#1						#2	
	A-D										
Honório Bicalho ANA	BIC			#2					#1	#3	
	K-S			#2					#3	#1	
	A-D			#1					#2		
Jequitibá	BIC			#1					#2	#3	
	K-S			#1					#2	#3	
	A-D			#1					#2		
Pinhões	BIC									#1	
	K-S									#1	
	A-D										
Pirapama	BIC			#2					#1	#3	
	K-S			#1					#2	#3	
	A-D			#1					#2		
Ponte da Rodagem	BIC			#3					#2	#1	
	K-S			#1					#2	#3	
	A-D			#1					#2		
Ponte do Licínio	BIC			#5	#4	#1	#3	#2			
	K-S			#5	#2	#4	#1	#3			
	A-D			#5	#4	#1	#3	#2			
Ponte do Licínio Jusante	BIC			#1					#2	#3	
	K-S			#1					#2	#3	
	A-D			#1							
Ponte Raul Soares	BIC			#1						#2	#3
	K-S			#1						#2	#3
	A-D			#1							#2
Ponte Raul Soares Jusante	BIC										
	K-S										
	A-D										
Santo Hipólito	BIC			#1					#2	#3	#4
	K-S			#1					#4	#3	#2
	A-D			#1					#3		#2
Várzea da Palma	BIC				#2	#4	#3	#1			
	K-S					#1					
	A-D				#3		#2	#1			

**Tabela 7** - Estatística descritiva de  $Q_7$  para as estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

	Fazenda Água Limpa	Fazenda Água Limpa Jusante	Honório Bicalho Montante	Honório Bicalho ANA	Jequitibá	Pinhões	Pirapama	Ponte da Rodagem	Ponte do Licínio	Ponte do Licínio Jusante	Ponte Raul Soares	Ponte Raul Soares Jusante	Santo Hipólito	Varzea da Palma
Mínimo	0,25	0,75	4,26	10,05	17,14	4,26	17,87	44,94	21,56	17,53	10,74	0,64	24,25	30,67
Máximo	2,24	1,66	21,54	17,27	58,69	36,82	70,08	71,30	180,03	76,16	51,74	3,07	105,73	158,55
Média	1,47	1,26	14,43	13,18	33,05	22,97	37,99	58,17	45,81	44,15	29,08	1,21	60,57	69,64
Moda*	1,76	1,28	12,86	11,31	31,08	19,73	32,41	52,19	31,34	49,67	23,41	0,82	72,70	57,39
Mediana	1,44	1,29	14,44	12,54	31,24	24,03	35,06	56,57	40,24	43,14	27,31	0,99	57,65	60,06
Desvio Padrão	0,43	0,22	3,69	2,60	8,47	7,15	11,99	10,18	25,89	13,26	8,51	0,77	17,53	25,67
Assimetria	-0,70	-0,52	-0,21	0,82	0,83	-0,44	0,69	0,11	4,17	0,57	0,55	2,56	0,67	1,29
Curtose	4,36	3,23	3,02	2,44	3,88	3,57	3,21	1,40	24,37	3,72	2,90	9,89	3,24	4,63

\* valor estimado

#### 4.1.1 Discussões $Q_7$

Os três testes utilizados mostraram resultados satisfatórios e coerentes, os quais possibilitaram uma boa identificação da adequabilidade das distribuições de probabilidades às séries de vazões.

Os valores de vazões variam de acordo com vários fatores, entre eles: a precipitação na área, contribuição de aquíferos, tamanho e relevo da área de drenagem, capacidade de infiltração da água no solo, uso da terra, retirada de água para múltiplos usos, localização da estação, entre outros. Sendo assim, as maiores médias de vazões estão localizadas principalmente nas estações que se localizam mais a jusante e que possuem maior área de drenagem. Isso ocorre porque o curso d'água recebe maior contribuição de tributários e aquíferos freáticos, captando, assim, maiores volumes de escoamento superficial e subsuperficial

Entre as distribuições de probabilidade estudadas relacionadas à vazão de referência  $Q_{7,10}$ , considerando o Critério de Informação Bayesiano, as distribuições que melhor se ajustaram aos dados foram Triangular e Gumbel. A distribuição Triangular proporcionou melhor ajuste em 5 das 13 estações, já a distribuição Gumbel foi a melhor colocada no ranking em 4 das 13 estações. Considerando o teste Kolmogorov-Smirnov as distribuições Gumbel e Triangular também se destacaram. Porém, a distribuição Gumbel proporcionou melhor ajuste em 7 das 13 estações, e a distribuição Triangular foi a melhor em 4 das 13 estações. Já pelo teste Anderson Darling, a distribuição Gumbel se destacou obtendo o melhor ajuste em 5 das 9 estações. As distribuições Log Logística e Pearson 5 obtiveram o melhor ajuste em 1 das 9 estações.

Em trabalho similar, Queiroz et al. (2010), considerando o teste de Kolmogorov-Smirnov, diferente do que foi obtido no trabalho, concluíram que a distribuição Weibull foi a que melhor se ajustou aos conjuntos de dados. O mesmo resultado foi encontrado no trabalho de Santos et al. (2011), onde os autores verificaram que o cálculo da vazão de referência  $Q_{7,10}$ , pelo ajuste de Weibull, é o mais recomendado para a bacia do rio Miranda (MS), pois, por ser mais restritivo, oferece maior confiabilidade no atendimento às demandas outorgadas. Diferente do que foi encontrado por esses autores, e o mesmo encontrado no trabalho, Silveira et al. (2006) concluíram que a distribuição de Gumbel se adequou melhor para os dados da  $Q_7$ .

Em estudo semelhante, Silva (2006) constatou que a distribuição que produziu ajustes de melhor qualidade foi a Log Normal. Diferente desse resultado, Almeida et al. (2014), em seu estudo sobre  $Q_{7,10}$ , afirmaram que a distribuição Log Normal foi a pior distribuição que se ajustou ao conjunto de dados. Já Silvino et al. (2007), em seu trabalho para estimar as vazões máximas e mínimas do Rio Paraguai, observaram que a distribuição de Weibull apresentou maior aderência para vazões mínimas, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov. A variabilidade de resultados obtidos evidenciam a importância da realização de estudos localizados na bacia hidrográfica.

Em estudos envolvendo vazões mínimas, Kaviski (1983) aplicou as distribuições de probabilidades Log Normal a três parâmetros, Gumbel e Weibull em pequenas bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina. A distribuição selecionada como a mais adequada foi a de Weibull, sendo adotada em 36 estações.

Euclides (1992), estudando a região da bacia do Rio Juatuba, utilizou as distribuições de Gumbel e Log Normal a dois e três parâmetros, e concluiu que as vazões mínimas foram mais bem representadas pela distribuição Log Normal a três parâmetros. Há tendência do modelo Log Normal, em suas duas versões, predominar para vazões mínimas, apesar de o modelo Weibull ter sido o mais adequado, em estudos no estado de Santa Catarina.

Para o cálculo da  $Q_{7,10}$ , Pinto et al. (2010) selecionaram, para cada ano da série histórica, a menor média móvel para o período de sete dias consecutivos. Após a construção da série histórica de vazões mínimas de sete dias consecutivos, obtiveram a  $Q_{7,10}$  com o emprego das distribuições de probabilidade Gumbel, Weibull e Log Normal 3 parâmetros (3P). Verificou-se que a distribuição Weibull, pelo teste de aderência de Qui-quadrado, foi a mais precisa na determinação da vazão mínima média de 7 dias do rio Itabapoana.

Silva et al. (2006) em seu estudo na região do Alto Rio Grande, utilizaram as distribuições de probabilidade Log Normal 3P, Weibull e Gumbel, às séries históricas de vazões mínimas diárias anuais e mínimas anuais das médias de 7 dias consecutivos. A distribuição de probabilidade que melhor representou as vazões mínima diária anual e média mínima de 7 dias, foi a Log Normal 3P.

Uliana et al. (2011), em seu estudo sobre análise estatística para determinar o melhor modelo probabilístico para a  $Q_{7,10}$ , utilizaram os modelos Log Normal, Normal, Weibull, Gama Incompleta, Gumbel. Identificaram que a distribuição Log Normal foi a mais adequada para a determinação da  $Q_{7,10}$  para a bacia hidrográfica do Rio São Mateus-ES.

Oliveira (2013) em seu estudo sobre vazões, concluiu que a distribuição Log Normal a dois parâmetros obteve o melhor ajuste para a obtenção da  $Q_{7,10}$ , pois apresentou 69 menores valores de Qui-Quadrado, quando comparados aos da distribuição Gumbel. Em relação às vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , a distribuição de probabilidades Log Normal a dois parâmetros apresentou-se adequada, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Ao analisar as distribuições de probabilidade que melhor se ajustam aos dados de  $Q_{7,10}$  na sub-bacia hidrográfica do Rio Miranda, Almeida et al. (2014) utilizaram as distribuições: Normal, Log Normal a 2 parâmetros, Weibull, Gumbel e Log Gumbel. Entre os métodos estudados, a Log Gumbel obteve maior aderência e o melhor ajuste para a  $Q_{7,10}$ , demonstrando ser a mais confiável na determinação de vazões mínimas na sub-bacia de referência.

#### **4.2 Resultados para distribuições gerais e bimestrais**

Também foram aplicados os testes Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Anderson-Darling (A-D) a esse conjunto de dados. Porém, não constatou-se aderência dos dados por esses dois testes.

Os resultados dos valores das estatísticas descritivas dos dados gerais e bimestrais para cada estação fluviométrica, se encontram na Tabela 8 a Tabela 21.

**Tabela 8 - Estatísticas descritivas para a estação Fazenda Água Limpa.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	0,20	1,40	1,46	0,69	0,20	0,30	0,20
Máximo	66,20	66,20	24,70	7,14	5,61	16,70	55,70
Média	3,26	5,77	3,74	2,30	1,85	1,99	3,93
Moda*	1,92	2,60	2,71	1,43	1,28	1,03	1,92
Mediana	2,39	3,89	3,14	2,23	1,83	1,79	2,85
Desvio Padrão	3,46	6,31	2,33	0,75	0,53	1,06	3,76
Assimetria	6,88	4,36	3,61	1,07	0,51	5,24	4,85
Curtose	76,22	28,47	22,85	5,67	4,93	52,39	40,07
5%	1,28	1,90	1,72	1,43	1,19	1,08	1,40
10%	1,44	2,18	1,92	1,48	1,28	1,23	1,66
15%	1,55	2,40	2,10	1,55	1,33	1,33	1,79
20%	1,68	2,60	2,25	1,62	1,39	1,38	1,92
25%	1,78	2,76	2,40	1,68	1,46	1,45	2,07
30%	1,88	3,01	2,56	1,79	1,51	1,51	2,24
35%	1,99	3,18	2,71	1,88	1,57	1,60	2,39
40%	2,12	3,41	2,86	2,02	1,68	1,67	2,53
45%	2,25	3,66	3,01	2,15	1,76	1,73	2,68
50%	2,39	3,89	3,14	2,23	1,83	1,79	2,85
55%	2,53	4,14	3,26	2,32	1,88	1,86	3,06
60%	2,69	4,54	3,42	2,40	1,92	1,96	3,26
65%	2,91	4,92	3,64	2,48	1,99	2,05	3,50
70%	3,14	5,23	3,95	2,57	2,05	2,12	3,85
75%	3,41	5,84	4,27	2,68	2,15	2,23	4,24
80%	3,84	6,67	4,65	2,86	2,25	2,32	4,83
85%	4,47	7,89	5,13	3,07	2,39	2,48	5,53
90%	5,30	10,40	6,01	3,24	2,61	2,83	7,08
95%	7,62	17,00	7,62	3,57	2,76	3,51	10,20

\*valor estimado.

**Tabela 9 - Estatísticas descritivas para a estação Fazenda Água Limpa Jusante.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	0,72	0,84	1,29	1,15	1,02	0,72	0,84
Máximo	51,24	51,24	29,66	4,99	2,73	9,28	47,25
Média	2,62	4,26	2,96	1,89	1,56	1,55	3,60
Moda*	1,39	2,45	2,20	1,15	1,02	0,95	1,60
Mediana	1,91	3,15	2,58	1,86	1,56	1,46	2,49
Desvio Padrão	2,61	4,29	1,68	0,45	0,28	0,58	3,65
Assimetria	7,74	5,68	6,22	1,35	0,29	5,58	4,95
Curtose	99,51	50,29	75,34	6,86	3,15	58,48	39,28
5%	1,15	1,46	1,53	1,29	1,09	0,96	1,33
10%	1,29	1,67	1,82	1,36	1,15	1,14	1,53
15%	1,40	1,82	1,93	1,46	1,22	1,17	1,65
20%	1,46	1,93	2,05	1,53	1,29	1,24	1,74
25%	1,53	2,09	2,16	1,56	1,36	1,27	1,89
30%	1,60	2,27	2,24	1,67	1,42	1,30	1,98
35%	1,67	2,45	2,32	1,71	1,46	1,35	2,08
40%	1,74	2,64	2,40	1,74	1,53	1,40	2,20
45%	1,82	2,89	2,48	1,82	1,53	1,44	2,37
50%	1,91	3,15	2,58	1,86	1,56	1,46	2,49
55%	2,01	3,37	2,67	1,89	1,60	1,50	2,73
60%	2,12	3,71	2,75	1,93	1,60	1,53	2,93
65%	2,28	4,06	2,89	1,97	1,67	1,57	3,16
70%	2,48	4,49	3,06	2,01	1,67	1,60	3,45
75%	2,73	4,99	3,21	2,05	1,74	1,67	3,82
80%	3,06	5,59	3,45	2,12	1,81	1,71	4,28
85%	3,55	6,31	3,80	2,24	1,82	1,81	5,06
90%	4,38	7,48	4,38	2,48	1,93	2,00	6,31
95%	6,20	9,74	5,47	2,71	2,01	2,37	9,39

\*valor estimado.

**Tabela 10** - Estatísticas descritivas para a estação Honório Bicalho Montante.

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	3,97	8,28	9,62	6,69	6,69	3,97	10,56
Máximo	539,02	394,94	262,88	65,72	40,45	148,62	459,09
Média	30,45	52,59	34,54	20,99	17,94	18,85	40,30
Moda*	12,51	17,32	23,27	12,51	12,01	12,01	17,88
Mediana	22,75	38,28	29,80	20,50	17,46	17,87	29,20
Desvio Padrão	27,77	45,49	21,19	6,41	4,65	7,38	35,66
Assimetria	5,07	3,07	3,70	0,80	0,44	4,21	3,80
Curtose	44,92	15,96	25,34	5,09	3,03	50,19	25,29
5%	12,52	16,48	15,66	12,01	11,10	11,04	14,59
10%	13,89	19,32	17,33	13,54	12,38	12,38	16,76
15%	15,12	22,75	19,51	14,59	13,02	13,16	18,17
20%	15,93	24,62	20,82	15,13	13,62	14,06	19,51
25%	17,04	27,04	22,65	15,93	14,59	14,71	20,78
30%	18,02	29,03	23,90	16,76	15,12	15,27	22,04
35%	19,05	30,56	25,46	17,87	15,49	15,66	23,90
40%	20,22	32,86	26,78	18,56	15,93	16,48	25,43
45%	21,43	36,01	28,15	19,32	16,73	17,04	27,20
50%	22,75	38,21	29,80	20,50	17,46	17,87	29,20
55%	23,99	41,45	31,17	21,53	18,44	18,24	31,17
60%	25,43	44,45	32,64	22,59	19,02	18,59	33,86
65%	27,20	48,26	34,57	23,37	19,68	19,38	36,24
70%	29,68	52,66	36,15	24,11	20,33	20,30	40,45
75%	32,42	58,24	39,23	25,26	21,23	21,38	45,08
80%	36,22	66,63	42,89	26,10	22,13	22,17	50,69
85%	42,74	79,71	48,18	27,20	23,21	23,59	59,60
90%	52,50	102,81	55,10	29,20	24,11	26,10	74,99
95%	74,05	140,54	67,05	31,34	25,77	30,56	106,48

\*valor estimado.

**Tabela 11 - Estatísticas descritivas para a estação Honório Bicalho ANA.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	6,65	6,65	14,15	11,07	10,45	8,65	7,64
Máximo	1.153,91	1.153,91	341,43	90,43	34,73	189,97	369,25
Média	31,74	73,79	30,46	17,55	15,28	18,75	36,87
Moda*	12,72	20,58	16,11	12,25	11,35	10,17	15,71
Mediana	19,63	41,44	23,76	16,53	14,93	16,05	28,21
Desvio Padrão	53,50	115,39	25,43	5,97	2,75	14,08	38,00
Assimetria	10,72	5,47	6,51	7,54	1,17	8,18	4,82
Curtose	164,36	39,97	67,07	88,94	7,81	92,04	32,94
5%	11,71	18,06	15,38	12,72	11,65	10,44	10,99
10%	12,72	20,59	16,12	13,21	12,25	11,07	13,08
15%	13,54	22,50	17,13	13,43	12,57	11,95	16,24
20%	14,16	24,19	17,82	13,79	12,72	12,72	18,06
25%	14,96	25,86	18,26	14,16	13,07	13,21	20,11
30%	15,80	28,64	18,93	14,54	13,43	13,75	21,22
35%	16,53	31,35	20,00	14,92	13,79	14,16	22,71
40%	17,59	35,44	21,58	15,32	14,16	14,92	24,28
45%	18,26	37,61	22,60	15,80	14,54	15,38	26,43
50%	19,63	41,44	23,76	16,53	14,92	16,05	28,21
55%	20,59	44,70	24,74	17,38	15,38	16,53	29,44
60%	22,08	50,82	26,73	17,82	15,71	17,38	31,35
65%	23,76	58,50	28,21	18,71	16,24	17,82	32,80
70%	26,43	65,83	30,07	19,63	16,53	18,71	35,44
75%	29,44	73,85	32,67	20,59	17,13	19,82	38,36
80%	34,04	85,08	35,44	21,08	17,38	21,58	42,24
85%	40,65	104,84	39,88	21,58	18,26	23,76	49,03
90%	55,00	131,13	50,82	22,08	18,71	26,43	63,87
95%	82,15	208,99	69,20	23,65	20,11	33,35	90,43

\*valor estimado.

**Tabela 12 - Estatísticas descritivas para a estação Jequitibá.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	16,61	27,60	24,50	21,10	18,50	16,61	21,17
Máximo	1.208,00	1.208,00	831,09	265,00	129,00	360,74	1.131,00
Média	92,99	175,86	107,10	56,78	43,82	46,12	133,62
Moda*	41,49	79,37	66,13	47,20	42,60	39,79	64,01
Mediana	60,72	127,00	86,00	54,59	42,60	39,80	93,10
Desvio Padrão	99,45	154,42	74,95	19,20	13,20	22,84	123,95
Assimetria	4,01	2,47	3,46	1,46	1,48	3,53	2,89
Curtose	25,03	10,45	21,42	9,68	8,49	28,72	14,08
5%	29,10	46,91	44,30	29,21	25,40	25,50	37,01
10%	33,32	57,00	52,40	36,00	29,20	27,87	44,60
15%	36,70	66,30	57,79	39,10	31,90	29,75	49,80
20%	39,91	72,79	62,00	42,10	33,32	31,20	55,10
25%	42,90	80,00	65,90	44,70	34,73	32,70	60,30
30%	46,00	87,00	69,30	46,79	36,52	34,40	65,70
35%	49,00	96,90	73,30	48,40	38,40	35,64	70,73
40%	52,60	106,00	77,00	50,45	40,20	36,81	77,00
45%	56,50	115,00	81,50	52,60	41,40	38,10	85,05
50%	60,72	127,00	86,00	54,59	42,60	39,80	93,10
55%	65,34	139,00	91,10	56,50	43,77	41,67	101,53
60%	71,30	150,00	96,32	58,20	45,27	43,50	111,39
65%	78,60	165,00	102,00	60,06	46,59	45,80	122,00
70%	88,20	182,00	111,00	62,23	48,00	48,63	136,48
75%	100,00	205,61	122,00	64,70	49,60	52,41	155,00
80%	116,00	241,00	136,00	68,60	52,00	56,20	183,00
85%	141,98	285,00	153,00	74,70	55,40	60,80	219,74
90%	180,00	356,00	181,06	80,44	60,06	70,60	269,75
95%	268,00	505,00	238,00	92,70	66,60	89,60	379,50

\*valor estimado.

**Tabela 13 - Estatísticas descritivas para a estação Pinhões.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	2,95	14,16	11,39	10,28	7,52	2,95	6,94
Máximo	894,21	894,21	531,19	118,50	88,71	227,92	799,91
Média	59,27	111,71	68,69	38,63	29,67	31,55	79,22
Moda*	28,78	60,72	40,93	35,66	26,28	26,28	35,62
Mediana	40,40	80,29	56,65	36,67	29,39	28,24	56,00
Desvio Padrão	62,95	102,40	45,33	13,66	9,22	15,69	77,97
Assimetria	4,90	3,19	3,71	1,12	0,40	3,36	3,62
Curtose	38,66	16,69	26,11	6,18	5,28	26,56	21,42
5%	18,65	30,84	28,37	16,21	12,47	14,84	23,31
10%	22,88	38,31	35,54	24,59	18,49	19,33	27,31
15%	25,44	44,04	38,79	27,80	22,05	20,78	29,97
20%	27,50	50,09	41,00	29,43	23,66	22,02	32,86
25%	29,40	55,31	43,81	31,24	24,68	23,31	35,76
30%	31,45	60,56	46,36	32,46	25,87	24,38	39,05
35%	33,30	64,66	48,31	33,47	26,74	25,24	42,53
40%	35,54	70,13	51,03	34,47	27,54	26,22	47,13
45%	37,82	74,69	53,74	35,67	28,75	27,12	51,52
50%	40,40	80,29	56,65	36,67	29,39	28,24	56,00
55%	43,43	86,65	59,76	38,01	30,04	29,19	60,37
60%	47,08	95,55	63,16	39,56	31,11	30,84	65,20
65%	51,86	104,31	67,24	40,88	32,16	32,70	72,63
70%	57,30	113,34	71,95	42,21	33,26	34,40	79,66
75%	64,53	125,89	78,25	44,65	34,47	36,25	90,14
80%	74,00	144,85	85,87	46,72	36,06	38,97	105,40
85%	87,43	170,59	98,95	49,63	38,60	41,82	122,16
90%	109,93	215,33	114,11	55,36	41,00	47,05	151,07
95%	156,83	305,92	146,01	65,09	45,27	56,65	219,19

\*valor estimado.

**Tabela 14 - Estatísticas descritivas para a estação Pirapama.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	16,85	16,85	27,76	21,71	17,96	18,71	19,13
Máximo	1.248,83	1.248,83	905,95	239,60	114,97	427,06	1.136,51
Média	102,91	195,66	123,56	65,97	49,21	49,91	136,55
Moda*	56,33	135,35	60,11	52,80	21,71	37,90	38,70
Mediana	68,84	147,00	104,55	62,56	46,97	43,87	92,40
Desvio Padrão	105,15	160,71	79,00	24,58	15,46	24,10	127,81
Assimetria	3,82	2,36	3,04	1,23	0,76	3,40	2,96
Curtose	23,39	9,87	18,38	6,37	3,85	30,45	14,93
5%	31,80	52,91	52,40	31,80	26,15	26,40	38,70
10%	36,40	66,46	60,10	38,70	31,98	29,80	44,85
15%	40,10	77,30	64,91	44,07	34,63	31,80	50,07
20%	43,87	87,55	70,91	46,97	36,92	33,44	55,00
25%	46,99	97,37	75,94	49,65	38,47	35,20	60,10
30%	51,01	106,15	80,68	52,40	40,01	37,15	65,70
35%	54,74	115,77	87,82	54,56	41,92	38,70	71,21
40%	59,43	125,42	93,86	57,08	43,28	40,78	76,67
45%	63,80	135,90	99,28	60,10	45,42	42,20	83,71
50%	68,84	147,00	104,55	62,56	46,97	43,87	92,40
55%	74,36	156,15	109,36	65,58	48,84	45,70	103,76
60%	80,86	170,12	114,39	67,50	51,40	47,35	115,77
65%	90,45	186,56	123,00	70,84	53,18	49,29	127,83
70%	102,76	205,47	131,86	74,36	55,52	53,18	142,37
75%	115,42	233,27	142,20	76,73	57,86	57,86	159,06
80%	133,48	261,05	155,34	81,10	60,99	62,56	185,58
85%	156,15	309,01	176,35	88,61	64,13	69,00	224,92
90%	200,44	389,70	208,50	98,17	69,63	76,73	281,94
95%	288,64	534,33	269,78	111,76	79,10	93,37	378,70

\*valor estimado.

**Tabela 15 - Estatísticas descritivas para a estação Ponte da Rodagem.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	43,90	88,90	86,60	66,70	46,70	43,90	64,60
Máximo	1.627,00	1.627,00	1.233,00	224,00	169,00	707,00	1.540,00
Média	193,80	411,15	212,60	100,14	73,23	101,14	329,62
Moda*	55,40	245,00	96,00	67,70	46,70	44,80	141,00
Mediana	114,00	323,00	174,00	91,20	69,90	71,30	226,00
Desvio Padrão	208,66	283,68	162,83	30,29	16,55	80,65	262,06
Assimetria	2,91	1,52	3,90	1,71	1,02	3,25	1,96
Curtose	13,26	5,48	21,49	6,18	5,28	17,04	7,16
5%	55,40	126,00	98,40	71,00	52,50	45,80	91,20
10%	60,50	141,00	107,00	72,10	54,50	51,50	124,00
15%	65,60	164,00	112,00	74,20	56,40	53,50	137,00
20%	71,00	188,00	118,00	76,40	59,50	57,40	145,00
25%	74,20	215,00	126,00	78,60	60,50	58,40	161,00
30%	79,70	237,00	140,00	80,90	61,50	60,50	173,00
35%	86,60	245,00	144,00	84,30	63,60	63,60	185,00
40%	94,40	261,00	154,00	86,60	65,60	66,70	200,00
45%	102,00	303,00	167,00	88,90	68,80	69,90	209,00
50%	114,00	323,00	174,00	91,20	69,90	71,30	226,00
55%	127,00	353,00	181,00	94,80	72,10	72,60	243,00
60%	145,00	395,00	190,00	99,60	74,20	77,70	268,00
65%	169,00	419,00	200,00	102,00	76,40	85,40	311,00
70%	192,00	475,00	212,00	106,00	80,90	96,00	361,00
75%	215,00	533,00	224,00	110,00	84,30	109,00	415,00
80%	250,00	599,00	247,00	118,00	86,10	121,00	485,00
85%	323,00	732,00	281,00	127,00	92,20	145,00	563,00
90%	426,00	851,00	345,00	140,00	97,20	196,00	671,00
95%	625,00	992,00	439,00	160,00	101,00	270,00	848,00

\*valor estimado.

**Tabela 16 - Estatísticas descritivas para a estação Ponte do Licínio.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	21,47	31,07	29,82	26,75	21,47	21,47	27,96
Máximo	1.059,10	1.059,10	814,07	213,12	120,81	385,67	990,62
Média	119,43	216,96	145,96	72,93	55,41	60,04	170,45
Moda*	53,70	67,30	67,42	44,37	36,88	31,06	67,42
Mediana	77,05	165,62	116,18	69,00	50,78	54,44	121,74
Desvio Padrão	115,15	162,80	101,82	26,65	17,88	31,48	138,82
Assimetria	2,88	1,70	2,21	0,67	0,61	3,04	2,05
Curtose	13,60	6,24	9,93	3,30	2,84	18,92	8,10
5%	34,27	55,18	50,05	33,62	30,44	31,70	50,05
10%	40,24	68,21	61,22	43,67	36,23	32,98	58,93
15%	45,07	79,51	67,43	46,48	38,22	34,27	64,30
20%	49,33	92,15	72,19	48,62	40,24	36,23	67,43
25%	53,70	105,31	77,05	51,51	41,60	38,89	73,80
30%	58,18	112,53	84,51	53,70	43,67	41,60	83,67
35%	63,53	122,67	90,44	56,68	45,07	46,48	92,15
40%	67,43	136,89	99,11	61,22	46,48	49,33	99,99
45%	72,19	150,57	108,90	65,86	48,62	52,24	109,80
50%	77,05	165,62	116,18	69,00	50,78	54,44	121,74
55%	84,51	185,26	127,36	73,00	53,70	56,68	137,86
60%	93,01	204,43	137,86	77,05	57,43	58,93	149,58
65%	103,53	229,70	147,60	82,00	61,98	61,98	169,70
70%	116,18	253,49	160,55	85,35	65,86	65,08	190,53
75%	135,93	280,29	181,07	90,44	69,00	68,21	215,31
80%	159,55	320,06	201,20	95,61	71,39	72,19	248,90
85%	199,05	360,02	228,58	101,75	75,42	79,51	290,99
90%	252,34	431,74	267,37	110,71	79,51	90,44	353,69
95%	352,43	556,72	352,43	120,81	88,73	116,18	460,08

\*valor estimado.

**Tabela 17 - Estatísticas descritivas para a estação Ponte do Licínio Jusante.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	16,74	19,53	40,37	23,10	17,30	16,74	26,44
Máximo	1.358,59	1.358,59	951,21	310,00	153,00	279,55	1.150,00
Média	130,31	263,25	155,10	78,37	59,06	59,60	175,19
Moda*	49,88	170,54	99,57	51,20	49,90	40,50	82,82
Mediana	82,70	191,00	122,22	72,16	56,29	52,40	121,00
Desvio Padrão	139,73	223,61	105,32	29,38	17,29	25,52	153,52
Assimetria	3,54	2,05	2,71	1,40	0,75	2,37	2,35
Curtose	19,51	7,57	13,53	7,33	3,96	13,92	9,89
5%	37,90	69,48	63,78	36,05	33,01	32,80	46,02
10%	45,39	82,34	73,90	49,84	39,75	37,28	53,69
15%	49,84	93,30	81,20	54,00	44,50	39,75	60,90
20%	52,60	102,00	87,20	57,59	47,29	42,24	68,15
25%	56,70	114,00	92,69	60,21	49,20	44,12	76,80
30%	60,90	128,19	96,87	63,50	50,48	45,80	85,08
35%	65,48	144,00	101,79	65,49	51,76	47,29	94,08
40%	70,15	157,31	108,00	68,10	53,69	48,56	102,00
45%	76,21	171,21	114,00	69,50	54,99	51,12	111,01
50%	82,70	191,00	122,22	72,16	56,29	52,40	121,00
55%	90,20	212,04	131,00	74,19	58,10	54,00	135,89
60%	97,57	231,00	140,34	76,89	59,50	57,59	149,33
65%	108,00	250,99	152,00	80,29	60,90	60,90	167,71
70%	122,00	278,24	163,00	84,40	63,80	65,20	191,00
75%	141,00	321,67	176,00	91,80	66,60	69,50	219,00
80%	167,00	370,06	201,03	99,50	70,82	76,21	250,99
85%	208,00	443,00	228,18	108,00	77,57	82,70	290,00
90%	264,00	550,00	274,00	117,00	84,20	90,20	356,77
95%	395,00	770,00	360,00	133,00	94,40	103,00	490,10

\*valor estimado.

**Tabela 18** - Estatísticas descritivas para a estação Ponte Raul Soares.

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	6,93	16,07	17,81	16,93	8,72	6,93	10,58
Máximo	1.421,42	1.393,92	850,39	183,81	125,02	1.003,87	1.421,42
Média	72,95	136,07	84,42	47,31	36,77	40,20	100,86
Moda*	37,27	55,69	57,26	36,71	38,58	31,83	35,45
Mediana	49,45	94,54	69,02	45,64	35,47	35,47	70,56
Desvio Padrão	79,24	130,58	59,63	15,88	10,97	24,93	98,64
Assimetria	5,26	3,34	4,15	1,52	1,00	15,69	3,92
Curtose	46,27	18,84	33,81	8,70	5,61	555,37	28,19
5%	24,40	37,35	35,47	27,38	22,01	20,99	28,90
10%	27,73	44,61	39,85	30,47	24,49	23,30	34,25
15%	30,57	49,86	43,72	32,44	26,18	24,90	37,95
20%	33,04	55,94	47,02	34,46	27,42	26,18	41,77
25%	35,58	61,11	51,19	36,09	28,68	27,73	46,32
30%	37,89	67,29	54,64	37,79	30,07	29,12	50,74
35%	40,49	73,44	58,07	39,46	31,77	30,61	55,45
40%	43,42	79,39	61,02	41,41	32,92	31,86	60,21
45%	46,36	86,10	65,31	43,42	34,25	33,64	65,31
50%	49,45	94,54	69,02	45,64	35,47	35,47	70,56
55%	53,15	103,93	72,79	47,02	36,70	37,24	75,85
60%	57,36	113,56	77,40	49,04	37,79	38,86	82,87
65%	62,38	126,70	82,09	50,45	38,98	41,13	91,19
70%	69,02	139,76	88,89	52,46	41,13	43,48	102,03
75%	77,40	159,33	96,69	54,63	43,07	46,36	116,19
80%	88,60	182,53	107,24	58,07	45,15	49,72	134,96
85%	106,87	214,33	121,47	62,16	47,69	53,84	159,60
90%	136,79	268,76	143,83	66,78	51,37	60,27	198,63
95%	197,98	379,85	183,81	75,85	58,07	74,92	272,12

\*valor estimado.

**Tabela 19 - Estatísticas descritivas para a estação Ponte Raul Soares Jusante.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	0,46	1,07	1,05	0,97	0,83	0,46	0,81
Máximo	9,24	9,24	6,62	3,49	1,79	2,46	6,18
Média	1,67	2,79	1,80	1,33	1,13	1,08	2,01
Moda*	1,06	1,51	1,17	1,04	0,87	0,80	1,08
Mediana	1,34	2,37	1,60	1,29	1,14	1,05	1,75
Desvio Padrão	0,98	1,49	0,68	0,26	0,15	0,24	0,99
Assimetria	2,93	1,69	2,70	2,47	0,12	1,64	1,72
Curtose	14,45	6,00	14,99	18,48	3,10	8,39	6,46
5%	0,90	1,28	1,17	1,04	0,89	0,81	0,98
10%	0,98	1,45	1,22	1,06	0,92	0,85	1,09
15%	1,04	1,53	1,28	1,08	0,96	0,87	1,16
20%	1,08	1,65	1,32	1,11	0,99	0,89	1,23
25%	1,12	1,74	1,36	1,15	1,00	0,91	1,34
30%	1,16	1,81	1,39	1,17	1,06	0,95	1,40
35%	1,20	1,95	1,45	1,20	1,07	0,99	1,50
40%	1,25	2,07	1,49	1,23	1,08	1,02	1,57
45%	1,28	2,22	1,53	1,26	1,10	1,04	1,67
50%	1,34	2,37	1,60	1,29	1,14	1,05	1,75
55%	1,40	2,51	1,67	1,34	1,16	1,08	1,82
60%	1,48	2,64	1,75	1,36	1,17	1,09	1,97
65%	1,57	2,84	1,86	1,40	1,20	1,14	2,08
70%	1,70	3,03	1,95	1,43	1,23	1,16	2,22
75%	1,83	3,28	2,05	1,45	1,25	1,18	2,38
80%	2,06	3,66	2,14	1,49	1,27	1,21	2,52
85%	2,34	4,04	2,28	1,56	1,28	1,27	2,86
90%	2,73	4,81	2,57	1,65	1,31	1,33	3,24
95%	3,59	5,91	3,10	1,72	1,32	1,52	4,11

\*valor estimado.

**Tabela 20 - Estatísticas descritivas para a estação Santo Hipólito.**

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	23,41	31,51	37,69	40,10	29,42	23,41	30,13
Máximo	2.356,27	2.240,30	1.856,93	538,57	176,07	611,28	2.356,27
Média	202,93	405,12	240,86	108,21	78,67	85,80	300,37
Moda*	58,10	235,53	137,05	71,65	57,72	50,34	69,79
Mediana	115,74	286,84	179,14	98,46	74,36	73,75	204,24
Desvio Padrão	235,26	352,06	187,12	42,54	23,46	49,70	280,87
Assimetria	3,30	1,92	2,74	1,93	0,88	3,90	2,31
Curtose	16,81	6,82	13,94	11,65	3,70	26,57	9,71
5%	52,24	91,61	85,56	59,64	47,69	45,32	66,80
10%	59,88	111,94	97,27	67,55	53,10	48,59	79,10
15%	65,92	128,82	109,43	71,66	56,78	52,15	91,42
20%	72,21	150,49	118,31	76,55	59,64	55,05	103,28
25%	78,02	170,01	127,48	81,00	62,55	57,93	117,91
30%	83,59	189,49	136,93	84,61	64,53	60,60	131,49
35%	90,27	211,44	144,43	87,99	67,55	63,54	146,68
40%	97,27	234,47	154,81	91,42	69,59	66,53	164,04
45%	105,72	256,66	167,02	94,91	72,70	70,62	180,68
50%	115,74	286,84	179,14	98,46	74,36	73,75	204,02
55%	127,48	316,03	193,21	102,06	76,94	77,04	229,49
60%	142,47	349,82	211,02	106,95	80,19	81,28	255,74
65%	162,41	393,83	231,20	110,68	82,38	86,72	288,82
70%	186,90	442,49	255,74	116,76	85,73	91,42	325,58
75%	222,69	508,10	283,68	123,51	90,27	97,27	376,78
80%	268,40	591,57	325,58	134,20	96,09	105,72	433,70
85%	337,57	697,64	378,89	150,94	103,28	113,20	524,43
90%	444,69	865,43	455,79	165,53	113,20	127,48	633,74
95%	653,94	1.193,91	605,10	188,47	126,15	164,04	896,54

\*valor estimado.

**Tabela 21** - Estatísticas descritivas para a estação Várzea da Palma.

	Geral	1º bimestre	2º bimestre	3º bimestre	4º bimestre	5º bimestre	6º bimestre
Mínimo	0,03	42,26	38,24	8,42	0,09	0,03	43,31
Máximo	4.442,71	4.442,71	2.373,00	1.034,67	292,52	1.380,37	3.084,16
Média	306,47	647,66	375,83	149,51	98,08	112,31	475,33
Moda*	60,88	212,15	181,61	109,01	65,96	54,38	85,22
Mediana	163,60	436,50	274,94	133,00	89,10	89,05	324,56
Desvio Padrão	387,75	599,01	304,73	72,20	40,28	82,17	444,40
Assimetria	3,30	1,99	2,43	2,23	1,07	4,01	2,11
Curtose	17,12	7,25	10,60	15,13	4,93	35,89	8,49
5%	57,76	129,05	113,54	69,62	48,84	48,71	83,24
10%	67,70	162,51	134,70	79,76	58,02	53,40	104,63
15%	77,16	193,44	153,85	88,60	63,95	56,62	127,46
20%	87,11	220,57	172,10	95,80	67,70	60,05	151,70
25%	97,24	249,40	185,90	102,63	70,85	62,70	176,79
30%	107,75	278,00	201,10	109,00	73,95	66,30	204,90
35%	119,64	312,80	216,61	115,00	77,88	71,45	231,50
40%	132,24	348,30	233,28	121,19	81,04	75,88	261,87
45%	147,05	390,20	251,50	127,00	85,75	81,90	293,00
50%	163,60	436,50	274,88	133,00	89,10	89,09	324,56
55%	185,90	493,81	299,27	140,00	93,23	95,80	366,55
60%	208,76	556,10	330,40	148,74	98,68	104,50	409,40
65%	242,92	625,68	362,87	157,00	104,50	113,50	464,00
70%	284,20	709,30	402,94	166,03	110,53	121,19	527,75
75%	341,10	810,00	455,46	180,43	118,00	132,24	605,80
80%	414,20	938,00	516,30	193,44	128,50	145,38	720,69
85%	529,10	1.115,54	611,00	208,76	138,75	164,26	841,00
90%	712,20	1.459,51	738,81	238,79	152,14	189,70	1.038,47
95%	1057,51	2.053,16	989,00	285,83	171,38	259,73	1.411,40

\*valor estimado.

#### 4.2.1 Discussões para distribuições gerais e bimestrais

Para analisar as distribuições de probabilidade dos dados gerais e bimestrais foram aplicados três testes: critério de classificação Bayesiano (BIC), Kolmogorov-Smirnov (K-S) e Anderson-Darling (A-D). Porém, não houve aderência dos dados pelos testes K-S e A-D. Isso pode ter ocorrido devido às séries históricas serem muito longas, aumentando a probabilidade de ocorrências de valores anômalos, o que implicaria na rejeição da hipótese de nulidade pelo emprego dos métodos K-S e A-D.

Os valores mínimos de vazão variam de  $0,03 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , geral e 5º bimestre, estação Várzea da Palma, a  $88,90 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 1º bimestre, estação Ponte da Rodagem. Já as vazões máximas variaram de  $1,79 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no 4º bimestre, estação Ponte Raul Soares Jusante, a  $4442,71 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , geral e 1º bimestre, estação Várzea da Palma.

O menor valor da média foi de  $1,08 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , no 5º bimestre na estação Ponte Raul Soares Jusante, já o maior valor, foi  $647,66 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , ocorrendo no 1º bimestre na estação Várzea da Palma. O valor da moda variou de  $0,80$  no 5º bimestre na estação Ponte Raul Soares Jusante, a  $245,00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no 1º bimestre na estação Ponte da Rodagem. A menor mediana foi  $1,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  no 5º bimestre na estação Ponte Raul Soares Jusante, e a maior foi de  $323,00 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 1º bimestre na estação Ponte da Rodagem. O desvio padrão teve o menor valor no 4º bimestre,  $0,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , na estação Ponte Raul Soares Jusante e o maior valor foi encontrado 1º bimestre,  $599,01 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , na estação Várzea da Palma..

Os valores de assimetria variam de  $0,12$ , no 4º bimestre na estação Ponte Raul Soares Jusante, a  $15,69$  encontrado no 5º bimestre na estação Ponte Raul Soares. Os valores de curtose variam de  $2,84$ , 4º bimestre na estação Ponte do Licínio, a  $555,37$ , 5º bimestre na estação Ponte Raul Soares.

Em relação a  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  (vazão que é igualada ou superada, em 90% e 95% do tempo, respectivamente), o menor valor registrado da  $Q_{90}$  foi de  $0,85 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , encontrado no 5º bimestre na estação Ponte Raul Soares Jusante, o maior valor foi de  $162,51 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , encontrado no 1º bimestre na estação Várzea da Palma. Em relação à  $Q_{95}$ , essa variou de  $0,81 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , 5º bimestre na estação Ponte Raul Soares Jusante, a  $129,05 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , encontrado no 1º bimestre na estação Várzea da Palma.

As vazões variam de acordo com a área de drenagem e posição ao longo do curso d'água. Sendo assim, as maiores médias de vazões estão localizadas principalmente nas estações que se localizam mais a jusante (estação Várzea da Palma), e que possuem maior área de drenagem. Isso ocorre, porque o curso d'água recebe contribuição dos tributários e aquíferos, possibilitando alto escoamento superficial. As maiores médias de vazões estão localizadas mais a jusante da bacia. Quanto menor a área de drenagem e mais a montante for a estação, maior é possibilidade de essa estação ter a menor média de vazões.

Em relação a variação das vazões nos bimestres, os que possuem maiores médias são o 6º e 1º bimestre. Isso ocorreu pelo fato de que nesses meses há um alto índice pluviométrico comparado aos demais meses. Os bimestres com menores médias são o 4º e o 5º, em decorrência de menores índices pluviométricos e de mais extensos períodos de estiagem em

antecedência, o que acarreta menores descargas hidráulicas de aquíferos que contribuem para o escoamento de base dos rios

### 4.3 Análise de tendência

Os resultados das análises de tendência para as estações Pirapama, Santo Hipólito e Várzea da Palma estão demonstrados nas Tabela 22 a Tabela 24.

Na Tabela 22 estão apresentados os resultados da variáveis do teste Mann-Kendall para a estação Pirapama. Foi detectado tendência positiva em todos os dados (S positivo), porém não houve tendência significativa em nenhum dos conjuntos de dados (p-valor > 0,05). O menor p-valor foi encontrado no 2º bimestre (0,066), e o maior valor foi 0,941, nos dados de Q<sub>7</sub>.

**Tabela 22** - Resultado análise de tendência de vazão da estação fluviométrica Pirapama, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

	S	Var(S)	D	$\tau$	p-valor
Q <sub>7</sub>	12	22222,67	1652,5	0,00726	0,94118
Geral	247	22223,67	1653	0,149	0,098909
1º bimestre	60	20020	1540	0,039	0,67669
2º bimestre	247	17967	1431	0,173	0,066467
3º bimestre	24	16995,33	1378	0,0174	0,85996
4º bimestre	99	17967	1431	0,0692	0,46471
5º bimestre	177	18975	1485	0,119	0,20136
6º bimestre	248	21102,67	1596	0,155	0,089072

Na estação Santo Hipólito (Tabela 23), foi possível detectar tendência negativa (decrecente) em todos os conjuntos de dados (S negativo). Porém, essa tendência foi significativa nos dados de Q<sub>7</sub>, 4º e 5º bimestres (p-valor < 0,05). O p-valor variou de 0,011 (Q<sub>7</sub>) a 0,51 no 6º bimestre.

**Tabela 23** - Resultado análise de tendência de vazão da estação fluviométrica Santo Hipólito, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

	S	Var(S)	D	$\tau$	p-valor
Q <sub>7</sub>	-576*	51692,67	2926	-0,197	0,011438
Geral	-324	51692,67	2926	-0,111	0,15542
1º bimestre	-261	47791,67	2775	-0,0941	0,23432
2º bimestre	-301	45917	2701	-0,111	0,16151
3º bimestre	-415	45917	2701	-0,154	0,053356
4º bimestre	-489*	45917	2701	-0,181	0,022764
5º bimestre	-555*	45917	2701	-0,205	0,0097274
6º bimestre	-145	47791,67	2775	-0,0523	0,51009

\* Significativo pelo teste Mann-Kendall ao nível de 5%.

Para a estação Várzea da Palma (Tabela 24) constatou-se tendência negativa (decrecente) em todos os conjuntos de dados (S negativo). Porém, no 1º bimestre, essa tendência não foi significativa ( $0,062 > 0,05$ ). O menor p-valor foi encontrado na  $Q_7$  (0,0003). Já o maior valor, foi de 0,0628 (1º bimestre).

**Tabela 24** - Resultado análise de tendência de vazão da estação fluviométrica Várzea da Palma, na bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

	S	Var(S)	D	$\tau$	p-valor
$Q_7$	-823*	51689,67	2924,5	-0,281	0,00029975
Geral	-583*	53720,33	3003	-0,194	0,012038
1º bimestre	-424	51692,67	2926	-0,145	0,062817
2º bimestre	-444*	49716,67	2850	-0,156	0,046945
3º bimestre	-526*	51692,67	2926	-0,18	0,020937
4º bimestre	-612*	51692,67	2926	-0,209	0,0072018
5º bimestre	-810*	51692,67	2926	-0,277	0,00037336
6º bimestre	-466*	51692,67	2926	-0,159	0,040834

\* Significativo pelo teste Mann-Kendall ao nível de 5%.

#### 4.3.1 Discussões análise de tendência

O regime hidrológico pode ser entendido como a variabilidade das vazões dos rios, ao longo de um período. Em seu estudo, Poff et al. (1997) argumentam que o fluxo natural de um rio varia na escala temporal de horas, dias, estações sazonais e longos períodos. Para descrever a variação de tendência de vazão, é necessário anos de estudos e observações na área.

Junk et al. (1989) apontam que o regime hidrológico reflete o clima da área de influência a montante. Poff et al. (1997) afirmam que o regime hidrológico apresenta padrões regionais que são determinados pelo tamanho do rio, pela variação do clima, geologia, topografia e cobertura vegetal. Entretanto, o regime de fluxo do rio poderá ser alterado em decorrência de intervenções antrópicas no sistema fluvial ou por mudança no uso da terra de uma dada bacia hidrográfica.

As tendências negativas encontrada nas estações Santo Hipólito e Várzea da Palma podem ter sido influenciadas por uma hipotética redução na quantidade de chuva verificadas nos últimos anos. Com menores índices pluviométricos, menores são o escoamento superficial e a recarga de aquíferos. Diversos estudos demonstram que a chuva pode influenciar ou não nos valores de vazões. As mudanças nas séries hidrológicas podem ocorrer por diferentes causas, como variações em quantidades de chuvas e nas retiradas de água para

atendimento a múltiplos usos. Os menores valores de S se encontram no 4º e 5º bimestres, demonstrando fortes tendências negativas. Nesses períodos há uma grande redução de chuva, portanto, há uma maior demanda de irrigação. Nos dados de  $Q_7$ , também foi observado uma forte tendência de decréscimo. Uma vez que há uma diminuição dessa vazão, menor será a quantidade de água disponibilizada para os múltiplos usos, sendo um fator preocupante. Nas UTEs Rio Bicudo, Ribeirão Picão, Ribeirão da Mata, Ribeirão Jequitibá, Rio Itabirito, UTE Carste e trecho alto da calha do rio das Velhas não foi possível permitir a retirada de água, pois as vazões médias de retirada excederam os critérios permissíveis para retirada de água (superior a 30% da  $Q_{7,10}$ ) (PDRH, 2015).

Para esta estação Pirapama, os resultados destoaram dos encontrados para as outras estações. A tendência positiva, possivelmente, pode estar relacionada ao início da série na década de 60, quando ocorreu uma das mais severas secas do estado de MG. Assim, começando com baixos valores de vazões, pode ter havido um mascaramento da tendência que seria detectada se a série tivesse início similar às das outras duas estações.

Igual ao que foi encontrado no presente trabalho, Marengo e Alves (2005), em seu estudo sobre tendência de vazões, concluíram que as vazões do Rio Paraíba do Sul, observadas em postos fluviométricos de SP e RJ, mostraram uma tendência negativa durante os últimos 50 anos. As tendências negativas nas vazões sugerem um possível impacto da influência humana (na forma de gerenciamento dos recursos hídricos, a geração de energia, os esgotos lançados no rio, a irrigação e o crescimento populacional) como possíveis causas para estas tendências e não a uma mudança climática do regime de chuva na bacia.

Rosin (2015) estudou cinco estações fluviométricas localizadas no interior da Bacia do Rio das Mortes, no Estado de Mato Grosso. Para as estações cujas análises detectaram tendência negativa em todas as séries, identificou-se forte conexão em relação ao tipo de uso e sobre-exploração dos recursos hídricos. Já nas estações que apresentaram tendência de aumento, notaram que o tipo de uso e as características físicas do solo influenciaram a dinâmica hídrica na bacia.

Ferreira et al. (2015) objetivaram identificar possíveis tendências em séries anuais de vazão de rios e procuram verificar possíveis correlações devido aos impactos causados pelas construções de barragens e o aumento populacional sobre as variáveis hidroclimáticas. Foram utilizados dados de vazões de cinco municípios do estado de São Paulo, que se situam nas proximidades da calha do rio Tietê. Como resultado, as tendências confirmadas de crescimento ocorreram para as séries de vazão do rio Sorocaba a partir de 1986. Comparando

o valor obtido no teste estatístico com as datas de início de operação e construção das barragens para a operação de usinas hidroelétricas nas proximidades desses locais, verificou-se que para os municípios de Araçatuba, Mogi das Cruzes e Reginópolis, os lagos formados por essas obras influenciaram nos índices de vazões dessas localidades.

## 5 CONCLUSÕES

As maiores médias de vazões estão localizadas principalmente nas estações mais a jusante e que possuem maior área de drenagem (Várzea da Palma). Em relação aos bimestres, os que possuem maiores médias de vazões diárias são o 1º e o 6º; já as menores médias de vazões diárias ocorrem nos bimestres 4º e 5º, a depender da estação em análise.

Dentre as distribuições de probabilidade estudadas relacionadas à vazão de referência  $Q_{7,10}$ , considerando o Critério de Informação Bayesiano, as distribuições que melhor se ajustaram aos dados foram Triangular e Gumbel. A distribuição Triangular proporcionou melhor ajuste em 5 das 13 estações, já a distribuição Gumbel foi a melhor colocada no ranking em 4 das 13 estações. Considerando o teste Kolmogorov-Smirnov as distribuições Gumbel e Triangular também se destacaram. Porém a distribuição Gumbel proporcionou melhor ajuste em 7 das 13 estações, e a distribuição Triangular foi a melhor em 4 das 13 estações. Já pelo teste Anderson Darling, a distribuição Gumbel se destacou obtendo o melhor ajuste em 5 das 9 estações. As distribuições Log Logística e Pearson 5 obtiveram o melhor ajuste em 1 das 9 estações.

Diferente do ocorrido nos dados de  $Q_7$ , não se constatou aderência das distribuições de probabilidade analisadas aos dados diários nos conjuntos gerais e bimestrais, por meio dos testes Kolmogorov-Smirnov e Anderson Darling.

Constataram-se tendências negativas para as estações Santo Hipólito e Várzea da Palma. Na estação Santo Hipólito a tendência negativa foi significativa nos dados de  $Q_7$ , 4º e 5º bimestre. Já na estação Várzea da Palma, constatou-se tendências negativas e significativas para os dados de  $Q_7$  e os bimestres 2º, 3º, 4º, 5º e 6º. Na estação Pirapama houve tendência positiva. Porém, essa tendência não foi significativa em nenhum conjunto de dados.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Diagnóstico da outorga de direitos de usos de recursos hídricos – Fiscalização dos usos de recursos hídricos no Brasil. Brasília: ANA, 2007. 167 p. Disponível em: <  
<http://www.ana.gov.br/sprtew/4/4-ANA.swf>>.
- AHMAD, M.I.; SINCLAIR, C.D.; WERRITTY, A. Log-logistic flood frequency analysis. **Journal of Hydrology**, Berlin, v.98, p.205-224, 1988.
- ALMEIDA, I. K. SOBRINHO, T. A., SANTOS, B. B., STEFFEN, J. L., BACCHI, C. G. V. Métodos estatísticos na determinação de vazão de referência. **Comunicata Scientiae** 5(1): 11-17, 2014.
- BARBOSA, A.M. e FILL, H.D., 2001, “Modelo de Previsão de Vazão Baseado no Hidrograma Unitário”. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Volume 6, n. 4, pp. h165-174.
- BOZDONGAN. H. Model selection and Akaike's Information Criterion (AIC): The general theory and its analytical extensions. **Psychometrika**. v.52, n.3, 345-370, Sep. 1987.
- BRASIL. *Lei nº 9.433*, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do artigo 21 da Constituição Federal, e altera o artigo 1º da Lei nº 8.001 de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.
- BRESSAN, G. **Modelagem e simulação de sistemas computacionais: abordagem sistemática de modelagem e análise de desempenho de sistemas**. São Paulo: Larc–PCS/Epusp, 2002. 12p.
- CAMARGOS, L.M.M. **Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas**: resumo executivo dezembro 2004. Luíza de Marillac Moreira Camargos (coord.). - Belo Horizonte : Instituto Mineiro de Gestão das Águas, Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas, 2005.
- CLARKE, R. T. Hidrologia Estatística. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Editora da UFRGS. Livro da Coleção ABRH, Cap. 17, 1993.
- COLOSIMO, E.A.; GIOLO, S.R. **Análise de Sobrevivência Aplicada**. São Paulo: Edgar Blucher, 2006. 392p.
- CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Otimização e simulação comparativa de cenários de outorga. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 75-91, 2005.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.13, n.1, p.111-124. 2008.

ELETROBRÁS. **Guia para cálculo de cheia de projeto de vertedores**. Rio de Janeiro: Eletrobrás. 1987.

ESSENWANGER, O. M. **Elementes of Statistical Analisis**. Elsevier, p. 424, 1986.

EUCLYDES, H. P. **Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Juatuba-MG**. 1992. 66p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FERRARI, A. L. **Variabilidade e tendência da temperatura e pluviosidade nos municípios de Pirassununga, Rio Claro, São Carlos e São Simão (SP): Estudo sobre mudança climática de curto prazo em escala local**. 2012. 156 p. Tese (Doutorado)- Universidade de São Paulo, São Carlos.

FERREIRA, D. H. L.; PENEREIRO, J. C.; FONTOLAN, M. R. Análises estatísticas de tendências das séries Hidro-climáticas. **Holos**, Ano 31, Vol. 2, 2015.

FONTOLAN, M. R.; MESCHIATTI, M. C.; PENEIRO, J. C.; FERREIRA, D. H. J. 2012. Caracterização Estatística de Tendências em Séries anuais de Dados Hidro Climáticos no Estado de São Paulo. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 6, n. 1, p 52-64.

GARRIDO, R.J.S. Subprojeto 4.2B – avaliação dos mecanismos financeiros para o gerenciamento sustentável da bacia do rio São Francisco. In: **Projeto de gerenciamento integrado das atividades desenvolvidas em terra na bacia do São Francisco**. Brasília, DF: ANA/GEF/PNUMA/OEA, 2003. 335p. (Relatório Final).

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

HIPPEL, K.W. & MCLEOD, A.I. (1994), Time Series Modelling of Water Resources and Environmental Systems, Amsterdam: **Elsevier**. ISBN: 0-444-89270-2

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Outorga de direito de uso dos recursos hídricos. <http://www.igam.mg.gov.br/outorga>. 2012a.

IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Legislação Estadual. <http://www.siam.mg.gov.br/sla/action>. 2012b.

JUNK, W; BAYLEY, P. B; SPARKS, R. E. The flood pulse concept in riverflood plain systems, p.110-127. In: D. P. Dodge [ed.] Proceedings of the International Large River Symposium. **Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences**. 1989.

KAVISKI, E. Vazões de estiagens em pequenas bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina. In: **Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos**, 5, 1983. Florianópolis. Anais. Florianópolis: ABRH, 1983, p.43-67.

KENDALL, M. G. 1975. Rank Correlation Methods. London: Charles Griffin, 120 P.

LAIO, F., DI BALDASSARRE, G., E MONTANARI, A., Model selection techniques for the frequency analysis of hydrological extremes, **Water Resources Research**. v. 45, 2009.

LANNA, A. E. Elementos de estatística e probabilidade. In: TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: ABRH; UFRGS, 1993. p. 79-176.

LITTELL, R. C.; MILLIKEN, G. A. STROUP, W. W.; WOLFINGER, R. D. SAS System for Mixed Models. **Cary: Statistical Analysis System Institute**, 2002. 633p.

LOPES, A. V.; PANTE, A. R.; CARVALHO, F. V. L.; CASTRO, L. M. A.; SILVA, L. M. C. Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no país: diretrizes e prioridades. In: Agência Nacional das Águas. **Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília**, 2009. 153 p.

MAGALHÃES, Jr., ANTÔNIO P. J. **Indicadores Ambientais e Recursos Hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. 688p.

MANN, H. B. 1945. Econometrica. **The econometric society**, v.13, n.3, p.245- 259.

MARENGO, J. A., ALVES, L. M. **Tendências Hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. 2005. INPE: sid.inpe.br/ePrint@80/2005/05.11.13.21 v1. 2005-05-12 1.

MCLEOD, A. I. (2011). Kendall: Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test. R package version 2.2. <https://CRAN.R-project.org/package=Kendall>

MELLO, C.R., VIOLA, M.R., BESKOW, S. 2010. Vazões máximas e mínimas para bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande, MG. **Ciência e Agrotecnologia** 34: 494-502.

MOREIRA, M. C. **Gestão de recursos hídricos: sistema integrado para otimização da outorga de uso da água**. 2006. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

MORTATTI, J., JÚNIOR, M.J.B., MILDE, L.C., PROBST, J.L. Tietê and Piracicaba River's Hydrology: discharge time series and hydrograph separation. **Revista de Ciência e Tecnologia**. V. 12, Nº 23 – pp. 55-67, 2004.

MOTA, S. **Urbanização e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552p.

OLIVEIRA, J.R.S. **Otimização do aproveitamento da disponibilidade de águas superficiais na bacia do Ribeirão Entre Ribeiros**. 2011. 228p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

OLIVEIRA L.F.C., FIOREZE A.P. 2011. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 15: 9-15.

OLIVEIRA, V. A. **Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais**. 2013. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ÖNÖZ, B.; BAYAZIT, M.C. The Power of statistical teste for trend detection, Turkish. **J. Engineering Environmental Science.**, v. 27, p. 247-251, 2003.

PALISADE CORPORATION – Guide to Using @Risk. Risk Analysis and Simulation Add-In for Microsoft® Excel - Versão.7.0.1, (2016). 880 p. New York: Palisade Corporation. [www.palisade.com](http://www.palisade.com).

PDRH, 2015: Resumo Executivo. **Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas**. Belo Horizonte, 2015.

PEREIRA, J.S.; LANNA, A.E.L. Análise de critério de outorga dos direitos de uso. In: III Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Salvador. **Anais do III simpósio de recursos hídricos do nordeste, ABRH**: 1996. P.335-342.

PETRELLA, R. **O manifesto da água: argumentos para um contrato mundial**. RJ: Vozes, 2001.

PINTO, L. C.; MACHADO, E. F. P.; DE MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Análise de Distribuições de Probabilidades e Estimativa da  $Q_{7,10}$  para a Região do Rio Itabapoana, Espírito Santo/Rio De Janeiro. In: **XIX CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA**, 19, 27 set. - 01 out. 2010. Lavras. Anais. Lavras: UFLA, 2010.

POFF, N. L.; ALLAN, J. D; BAIN, M. B; KARR, J. R; PRESTEGAARD, K. L; RICHTER, B. D; SPARKS, R. E; STROMBERG, J. The natural flow regime. **BioScience** v.47, n.10, p.769-784, 1997.

QUEIROZ, M. M. F., SAMPAIO, S. C., GOMES, B. M., LOST, C.. Estudo de vazões mínimas  $Q_{1,10}$  e  $Q_{7,10}$  de rios do Paraná segundo distribuição generalizada. **Revista Verde**

(Mossoró – RN – Brasil) v.5, n.3, p. 32 - 46 julho/setembro de 2010

<http://revista.gvaa.com.br>.

R CORE TEAM (2016). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROSIN, C. **Análise de tendências hidrológicas na Bacia do Rio das Mortes e 25 suas relações com as mudanças na cobertura do solo**. 2015. 152p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Mato Grosso.

SANTOS, L. C. C. **Estimativa de Vazões Máximas de Projeto por Modelos Determinísticos e Probabilísticos**. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo.

SANTOS, B. B.; SOBRINHO, T. A.; ALMEIDA, I. K.; FARIA, B. P.; MACHADO, D. O. Avaliação da disponibilidade hídrica para concessão de outorgas baseada em vazões mínimas de referência. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2011.

SCHWARZ, G. Estimating the dimensional of a model. **Annals of Statistics, Hayward**, v.6, n.2, p.461-464, Mar. 1978.

SCOLFORO, J. R. S. **Biometria florestal: Modelos de crescimento e produção florestal**. Lavras, UFLA/FAEPE. p.393, 2006.

SEN, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau, **J. American Statistical Association.**, 63, 1379-1389.

SILVA, D.D.; RAMOS, M.M. **Planejamento e gestão integrados de recursos hídricos**. Brasília, DF: MMA/SRH/ABEAS/UFV, 89 p. 2001.

SILVA, J. M. A. Metodologia para obtenção do hidrograma de escoamento superficial em encostas e canais. Parte II: modelo computacional e análise de sensibilidade. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 03, p. 704-712, 2006.

SILVA, A. M., OLIVEIRA, P. M., MELLO, C. R., PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.10, n.2, p.374– 380, 2006. Campina Grande, PB, DEAg/UFCEG.

SILVA, B. M. B.; SILVA, D. D.; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente Água** vol. 10 n. 3 Taubaté – Jul. / Sep. 2015.

- SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 125-164.
- SILVEIRA, A.; MOURA, R. M. P.; ANDRADE, N. L. R. Determinação da  $Q_{7,10}$  para o rio Cuiabá, Mato Grosso, Brasil e comparação com a vazão regularizada após a múltiplo de manso. **XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental** 26 al 30 de noviembre de 2006, Punta del Este – Uruguay Asociación Interamericana de Ingeniería sanitaria y Ambiental – AIDIS.
- SILVINO, A. N. O. SILVEIRA, A., MUSIS, C. R., WYREPKOWSKI, C.C., CONCEIÇÃO, F. T. 2007. Determinação de vazões extremas para diversos períodos de retorno para o Rio Paraguai utilizando métodos estatísticos. **Geociências** 26: 369-378.
- SMAKHTIN, V.Y., TOULOUSE, M. 1998. **Relationships between low-flow characteristics of South African streams**. Water SA. 24: 107-112.
- SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. **Genève: Organisation Météorologique Mondial**, 192 pp, OMM Note Technique, 143, 1975.
- STEPHENS, M. A. 1974. "EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons," **Journal of the American Statistical Association**, 69, 730-737.
- TADIKAMALLA, P.R.; JOHNSON, N.L. Systems of frequency curves generated by transformations of logistic variables. **Biometrika, London**, v.69, n.2, p.461-465, 1982.
- TUCCI, C.E.M. Vazão Máxima e Hidrograma de Projeto. In: TUCCI, C.E.M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. Segunda Edição. Porto Alegre: Ed. Universidade/ABRH, 2001. p.527-572.
- ULIANA, E. M.; MARTINS, C. A. S.; SILVA, J. G. F.; REIS, E. F. Análise estatística para determinação da  $Q_{7,10}$  na bacia do rio São Mateus-ES. In: **XI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação**, 2011, São José dos Campos SP. As Contribuições da Ciência Para a Sustentabilidade do Planeta. São José dos Campos: Universidade do Vale do Paraíba (UNIVAP), 2011.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243p.
- VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 7. Ed. Belo Horizonte, MG: Ed. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588p.

WOLFINGER, R. D. Covariance estrutura selection in general mixed models.  
**Communications in Statistics**. V.22. p1079-1106. 1993.

## APÊNDICE I – Tabelas dados Q<sub>7</sub>.

**Tabela 25** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Fazenda Água Limpa.

	Weibull	Triangular	Gumbel	Rayleigh
Núm. de parâmetros estimados	3,00	3,00	2,00	2,00
Número de parâmetros ajustados 1	alpha	Mínimo	A	B
Valor ajustado	8,74	0,13	1,25	0,95
95% do limite inferior	N/D	-0,05	1,09	0,72
95% do limite superior	N/D	0,55	1,42	1,10
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	0,60	0,33	0,38
Número de parâmetros ajustados 2	beta	Mais Provável	B	Fator de deslocamento
Valor ajustado	3,29	1,76	0,49	0,20
95% do limite inferior	N/D	1,06	0,37	0,08
95% do limite superior	N/D	2,25	0,61	0,46
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	1,18	0,24	0,38
Número de parâmetros ajustados 3	Fator de deslocamento	Máximo		
Valor ajustado	-1,64	2,35		
95% do limite inferior	N/D	2,02		
95% do limite superior	N/D	2,50		
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	0,48		

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 26** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Fazenda Água Limpa Jusante.

	Triangular	Weibull	Rayleigh	Gumbel	Erlang	Gama
Núm. de parâmetros estimados	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	Mínimo	alpha	b	a	M	alpha
Valor ajustado	0,67	7,02	0,42	1,15	1,00	1,00
95% do limite inferior	0,54	N/D	0,29	1,05	N/D	N/D
95% do limite superior	0,96	N/D	0,51	1,27	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	0,42	N/D	0,22	0,21	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 2	Mais Provável	beta	Fator de deslocamento	b	Beta	beta
Valor ajustado	1,35	1,37	0,71	0,23	0,51	0,51
95% do limite inferior	0,82	N/D	0,63	0,15	N/D	N/D
95% do limite superior	1,67	N/D	0,87	0,31	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	0,85	N/D	0,24	0,15	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 3	Máximo	Fator de deslocamento			Fator de deslocamento	Fator de deslocamento
Valor ajustado	1,73	-0,02			0,75	0,75
95% do limite inferior	1,48	N/D			N/D	N/D
95% do limite superior	1,84	N/D			N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	0,36	N/D			N/D	N/D

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 27** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Honório Bicalho Montante.

	Weibull	Triangular	Gumbel	Rayleigh
Núm. de parâmetros estimados	3,00	3,00	2,00	2,00
Número de parâmetros ajustados 1	alpha	Mínimo	a	b
Valor ajustado	4,95	3,48	12,57	7,86
95% do limite inferior	N/D	1,98	11,47	6,16
95% do limite superior	N/D	6,73	13,78	8,99
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	4,76	2,31	2,83
Número de parâmetros ajustados 2	beta	Mais Provável	b	Fator de deslocamento
Valor ajustado	17,29	16,72	3,82	3,93
95% do limite inferior	N/D	11,25	2,91	3,04
95% do limite superior	N/D	21,31	4,62	5,87
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	10,06	1,71	2,84
Número de parâmetros ajustados 3	Fator de deslocamento	Máximo		
Valor ajustado	- 1,44	22,47		
95% do limite inferior	N/D	19,60		
95% do limite superior	N/D	23,51		
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	3,91		

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 28** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Honório Bicalho ANA.

	Rayleigh	Gumbel	Triangular	Inversa Gaussiana	Log Normal	Weibull	Log Logística
Núm. de parâmetros estimados	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	b	a	Mínimo	mu	mu	alpha	Gama
Valor ajustado	3,41	12,06	10,05	4,81	4,67	1,96	10,05
95% do limite inferior	1,51	10,87	8,28	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	4,56	13,79	11,82	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	3,04	2,92	3,54	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 2	Fator de deslocamento	b	Mais Provável	lambda	sigma	beta	beta
Valor ajustado	9,03	1,85	10,05	15,86	2,74	5,06	2,13
95% do limite inferior	8,12	0,83	10,07	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	11,56	2,79	17,54	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	3,44	1,97	7,47	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 3			Máximo	Fator de deslocamento	Fator de deslocamento	Fator de deslocamento	alpha
Valor ajustado			19,30	8,37	8,54	8,72	1,01
95% do limite inferior			14,07	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior			20,67	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança			6,60	N/D	N/D	N/D	N/D

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 29** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Jequitibá.

	Gumbel	Rayleigh	Log Logística	Pearson5	Log Normal	Inversa Gaussiana	Gama	Erlang	Weibull	Triangular
Núm. de parâmetros estimados	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	a	b	Gama	alpha	mu	mu	alpha	m	alpha	Mínimo
Valor ajustado	29,18	13,33	5,54	26,44	32,01	32,87	8,02	8,00	2,16	15,70
95% do limite inferior	27,26	10,56	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	13,59
95% do limite superior	31,34	15,25	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	21,48
Amplitude do intervalo de confiança	4,09	4,68	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	7,89
Número de parâmetros ajustados 2	b	Fator de deslocamento	beta	beta	sigma	lambda	beta	beta	beta	Mais Provável
Valor ajustado	6,94	16,18	26,28	1.053,65	8,36	510,92	2,94	2,94	19,59	27,59
95% do limite inferior	5,37	14,75	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	17,80
95% do limite superior	8,31	19,40	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	37,81
Amplitude do intervalo de confiança	2,95	4,65	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	20,01
Número de parâmetros ajustados 3			alpha	Fator de deslocamento	Máximo					
Valor ajustado			5,92	-8,36	1,04	0,18	9,51	9,53	15,68	60,26
95% do limite inferior			N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	53,23
95% do limite superior			N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	63,68
Amplitude do intervalo de confiança			N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	10,45

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 30** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Pinhões.

	Triangular	Weibull	Gumbel	Rayleigh
Núm. de parâmetros estimados	3,00	3,00	2,00	2,00
Número de parâmetros ajustados 1	Mínimo	alpha	a	b
Valor ajustado	2,61	5,99	19,29	14,67
95% do limite inferior	-0,53	N/D	16,82	11,17
95% do limite superior	9,51	N/D	22,00	17,06
Amplitude do intervalo de confiança	10,04	N/D	5,18	5,89
Número de parâmetros ajustados 2	Mais Provável	beta	b	Fator de deslocamento
Valor ajustado	24,63	39,30	7,71	3,47
95% do limite inferior	9,89	N/D	5,70	1,63
95% do limite superior	35,78	N/D	9,46	7,49
Amplitude do intervalo de confiança	25,89	N/D	3,76	5,86
Número de parâmetros ajustados 3	Máximo	Fator de deslocamento		
Valor ajustado	38,92	-13,50		
95% do limite inferior	32,39	N/D		
95% do limite superior	41,53	N/D		
Amplitude do intervalo de confiança	9,13	N/D		

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 31 - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Pirapama.**

	Rayleigh	Gumbel	Weibull	Triangular	Gama	Erlang	Inversa Gaussiana	Log Normal	Pearson5	Log Logística
Núm. de parâmetros estimados	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	B	a	alpha	Mínimo	alpha	m	mu	mu	alpha	Gama
Valor ajustado	17,93	32,44	1,91	15,01	5,35	5,00	40,43	40,14	21,54	3,23
95% do limite inferior	14,54	29,96	N/D	12,46	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	20,40	35,04	N/D	22,05	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	5,86	5,08	N/D	9,59	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 2	Fator de deslocamento	b	beta	Mais Provável	beta	beta	lambda	sigma	beta	beta
Valor ajustado	15,58	9,76	24,69	30,24	5,21	5,42	456,11	12,07	1.097,04	32,91
95% do limite inferior	13,78	7,67	N/D	18,02	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	19,63	11,62	N/D	40,90	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	5,85	3,96	N/D	22,88	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 3			Fator de deslocamento	Máximo	Fator de deslocamento	alpha				
Valor ajustado			16,06	73,30	10,16	10,89	-2,43	-2,13	-15,40	5,03
95% do limite inferior			N/D	64,97	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior			N/D	77,18	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança			N/D	12,21	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 32** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Ponte da Rodagem.

	Rayleigh	Gumbel	Triangular	Weibull	Inversa Gaussiana	Log Normal	Log Logística	Pearson5
Núm. de parâmetros estimados	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	b	a	Mínimo	alpha	mu	mu	Gama	alpha
Valor ajustado	13,94	53,60	36,28	1,50	41,66	56,32	44,85	0,20
95% do limite inferior	4,71	48,06	30,82	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	18,95	62,12	58,38	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	14,24	14,07	27,56	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 2	Fator de deslocamento	b	Mais Provável	beta	lambda	sigma	beta	beta
Valor ajustado	40,79	8,11	71,30	16,32	783,86	9,46	9,23	0,03
95% do limite inferior	36,68	2,72	42,59	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	52,83	12,58	71,16	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	16,15	9,86	28,57	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 3			Máximo	Fator de deslocamento	Fator de deslocamento	Fator de deslocamento	alpha	Fator de deslocamento
Valor ajustado			71,30	43,34	16,51	1,86	1,06	44,92
95% do limite inferior			63,01	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior			77,61	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança			14,60	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 33** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Ponte do Licínio.

	Log Logística	Pearson5	Log Normal	Inversa Gaussiana	Gumbel	Gama	Erlang	Rayleigh	Triangular
Núm. de parâmetros estimados	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	2,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	Gama	alpha	mu	mu	a	alpha	m	b	Mínimo
Valor ajustado	17,81	4,83	28,08	29,87	37,64	1,73	1,00	30,28	21,56
95% do limite inferior	-2,08	2,06	18,73	19,88	33,78	N/D	N/D	22,91	14,42
95% do limite superior	26,76	21,19	46,00	45,26	41,93	N/D	N/D	34,94	29,54
Amplitude do intervalo de confiança	28,83	19,13	27,27	25,39	8,15	N/D	N/D	12,04	15,12
Número de parâmetros ajustados 2	Beta	beta	sigma	lambda	b	beta	beta	Fator de deslocamento	Mais Provável
Valor ajustado	22,28	129,62	19,09	69,43	12,18	14,44	24,25	11,42	21,56
95% do limite inferior	12,00	29,54	11,66	19,13	8,91	N/D	N/D	7,33	21,63
95% do limite superior	42,34	1.166,44	33,42	343,76	15,09	N/D	N/D	20,05	58,81
Amplitude do intervalo de confiança	30,34	1.136,91	21,76	324,63	6,18	N/D	N/D	12,72	37,17
Número de parâmetros ajustados 3	Alpha	Fator de deslocamento	Fator de deslocamento	Fator de deslocamento		Fator de deslocamento	Fator de deslocamento		Máximo
Valor ajustado	2,89	11,28	17,06	15,93		20,76	21,56		185,19
95% do limite inferior	1,58	-15,50	1,33	2,58		N/D	N/D		150,11
95% do limite superior	6,41	21,96	25,04	23,37		N/D	N/D		198,84
Amplitude do intervalo de confiança	4,83	37,47	23,71	20,78		N/D	N/D		48,73

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 34 - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Ponte do Licínio Jusante.**

	Log Logística	Triangular	Gumbel	Rayleigh	Log Normal	Inversa Gaussiana	Gama	Erlang	Weibull
Núm. de parâmetros estimados	3,00	3,00	2,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	Gama	Mínimo	a	b	mu	mu	alpha	m	alpha
Valor ajustado	- 29,11	14,48	37,92	22,12	84,48	86,44	21,32	21,00	2,53
95% do limite inferior	N/D	8,88	34,33	16,95	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	N/D	25,57	41,87	25,54	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	16,68	7,53	8,59	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 2	beta	Mais Provável	b	Fator de deslocamento	sigma	lambda	beta	beta	beta
Valor ajustado	72,07	38,60	11,79	15,74	13,05	3.797,86	2,82	2,85	35,39
95% do limite inferior	N/D	19,03	8,74	13,06	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	N/D	65,95	14,44	21,78	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	46,92	5,70	8,72	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Número de parâmetros ajustados 3	alpha	Máximo			Fator de deslocamento				
Valor ajustado	10,32	81,06			-40,32	-42,29	-16,03	-15,60	12,67
95% do limite inferior	N/D	67,89			N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
95% do limite superior	N/D	86,59			N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Amplitude do intervalo de confiança	N/D	18,71			N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 35** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Ponte Raul Soares.

	Gumbel	Triangular	Inversa Gaussiana	Log Normal	Pearson5	Gama	Erlang	Weibull	Log Logística	Rayleigh
Núm. de parâmetros estimados	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Número de parâmetros ajustados 1	a	Mínimo	mu	mu	alpha	alpha	m	alpha	Gama	b
Valor ajustado	25,09	9,85	39,77	38,96	37,55	11,48	11,00	2,54	- 0,65	14,64
95% do limite inferior	23,30	7,82	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	1,71	N/D	12,30
95% do limite superior	26,97	14,74	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	3,90	N/D	16,51
Amplitude do intervalo de confiança	3,66	6,91	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	2,19	N/D	4,21
Número de parâmetros ajustados 2	b	Mais Provável	lambda	sigma	beta	beta	beta	beta	beta	Fator de deslocamento
Valor ajustado	7,24	24,15	877,31	8,48	1.851,83	2,49	2,55	22,76	28,52	10,18
95% do limite inferior	5,93	13,37	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	16,25	N/D	8,85
95% do limite superior	8,52	31,73	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	30,94	N/D	12,97
Amplitude do intervalo de confiança	2,59	18,36	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	14,69	N/D	4,12
Número de parâmetros ajustados 3		Máximo	Fator de deslocamento	alpha						
Valor ajustado		53,46	- 10,69	- 9,88	- 21,58	0,48	1,02	8,87	6,07	
95% do limite inferior		47,97	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	2,05	N/D	
95% do limite superior		56,17	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	14,77	N/D	
Amplitude do intervalo de confiança		8,19	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	12,72	N/D	

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 36 - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Ponte Raul Soares Jusante.**

	Gumbel	Log Normal	Inversa Gaussiana	Log Logística	Rayleigh	Triangular
Núm. de parâmetros estimados	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00
Número de parâmetros ajustados 1	a	mu	mu	Gama	b	Mínimo
Valor ajustado	0,94	0,62	0,66	0,64	0,87	0,64
95% do limite inferior	0,72	N/D	N/D	N/D	0,39	0,11
95% do limite superior	1,27	N/D	N/D	N/D	1,17	1,17
Amplitude do intervalo de confiança	0,55	N/D	N/D	N/D	0,78	1,06
Número de parâmetros ajustados 2	b	sigma	lambda	beta	Fator de deslocamento	Mais Provável
Valor ajustado	0,35	0,77	0,60	0,30	0,20	0,64
95% do limite inferior	0,16	N/D	N/D	N/D	- 0,03	0,65
95% do limite superior	0,53	N/D	N/D	N/D	0,85	2,89
Amplitude do intervalo de confiança	0,37	N/D	N/D	N/D	0,88	2,24
Número de parâmetros ajustados 3		Fator de deslocamento	Fator de deslocamento	alpha		Máximo
Valor ajustado		0,58	0,54	1,03		3,41
95% do limite inferior		N/D	N/D	N/D		1,84
95% do limite superior		N/D	N/D	N/D		3,82
Amplitude do intervalo de confiança		N/D	N/D	N/D		1,98

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 37** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Santo Hipólito.

	Gumbel	Pearson5	Log Normal	Inversa Gaussiana	Gama	Erlang	Triangular	Log Logística	Weibull	Rayleigh
Núm. de parâmetros estimados	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Número de parâmetros ajustados 1	a	alpha	mu	mu	alpha	m	Mínimo	Gama	alpha	b
Valor ajustado	52,42	31,21	72,76	74,47	9,53	10,00	22,36	0,52	2,38	29,22
95% do limite inferior	49,08	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	18,83	N/D	1,68	24,61
95% do limite superior	56,12	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	31,21	N/D	3,39	32,66
Amplitude do intervalo de confiança	7,04	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	12,38	N/D	1,71	8,05
Número de parâmetros ajustados 2	b	beta	sigma	lambda	beta	beta	Mais Provável	beta	beta	Fator de deslocamento
Valor ajustado	14,68	2.852,98	17,44	1.363,66	5,62	5,47	50,73	57,59	44,34	23,10
95% do limite inferior	12,07	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	30,83	N/D	32,21	20,30
95% do limite superior	17,15	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	64,80	N/D	56,15	28,26
Amplitude do intervalo de confiança	5,08	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	33,97	N/D	23,94	7,96
Número de parâmetros ajustados 3		Fator de deslocamento	Máximo	alpha	Fator de deslocamento					
Valor ajustado		- 33,87	- 12,20	-13,90	7,02	5,88	110,83	6,07	21,25	
95% do limite inferior		N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	100,91	N/D	11,30	
95% do limite superior		N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	116,09	N/D	31,14	
Amplitude do intervalo de confiança		N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	15,18	N/D	19,84	

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 38** - Parâmetros de distribuições de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub>, estimados e ajustados da estação Várzea da Palma.

	Log Logística	Gumbel	Pearson5	Log Normal	Inversa Gaussiana	Gama	Weibull	Triangular	Rayleigh
Núm. de parâmetros estimados	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Número de parâmetros ajustados 1	Gama	a	alpha	mu	mu	alpha	alpha	Mínimo	b
Valor ajustado	25,19	58,56	7,01	49,24	51,57	2,93	1,64	28,23	35,13
95% do limite inferior	9,40	54,44	3,52	35,79	37,72	N/D	N/D	23,98	29,58
95% do limite superior	36,12	63,10	19,82	73,22	74,93	N/D	N/D	38,88	39,38
Amplitude do intervalo de confiança	26,72	86,57	16,30	37,42	37,21	N/D	N/D	14,90	9,79
Número de parâmetros ajustados 2	beta	b	beta	sigma	lambda	beta	beta	Mais Provável	Fator de deslocamento
Valor ajustado	37,93	17,90	362,45	25,80	213,70	14,33	44,67	48,37	26,99
95% do limite inferior	25,32	14,63	117,79	19,14	74,85	N/D	N/D	31,78	23,78
95% do limite superior	55,69	20,88	1753,87	35,09	842,35	N/D	N/D	71,10	33,24
Amplitude do intervalo de confiança	30,36	6,25	1636,08	15,95	767,50	N/D	N/D	39,31	9,46
Número de parâmetros ajustados 3	alpha		Fator de deslocamento	Máximo					
Valor ajustado	3,11		9,51	20,38	18,07	27,63	29,81	161,69	
95% do limite inferior	2,05		-22,78	-2,89	-4,56	N/D	N/D	145,01	
95% do limite superior	5,03		25,42	32,76	30,42	N/D	N/D	169,91	
Amplitude do intervalo de confiança	2,97		48,20	35,65	34,98	N/D	N/D	24,89	

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

**Tabela 39** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Fazenda Água Limpa.

	Input	WE	TR	GU	RA
Mínimo	0,25	- 1,64	0,13	-∞	0,20
Máximo	2,24	∞	2,35	∞	∞
Média	1,47	1,47	1,42	1,53	1,39
Moda*	1,7629	1,61	1,76	1,25	1,15
Mediana	1,44	1,52	1,48	1,43	1,32
Desvio Padrão	0,43	0,42	0,47	0,63	0,62
Assimetria	- 0,70	- 0,58	-0,40	1,14	0,63
Curtose	4,36	3,42	2,40	5,40	3,25
5%	0,35	0,70	0,56	0,71	0,51
10%	1,02	0,90	0,74	0,84	0,64
15%	1,08	1,03	0,87	0,93	0,74
20%	1,20	1,13	0,99	1,01	0,83
25%	1,23	1,21	1,09	1,09	0,92
30%	1,27	1,28	1,18	1,16	1,00
35%	1,35	1,35	1,26	1,23	1,08
40%	1,39	1,41	1,34	1,29	1,16
45%	1,41	1,46	1,41	1,36	1,24
50%	1,44	1,52	1,48	1,43	1,32
55%	1,51	1,57	1,55	1,50	1,40
60%	1,57	1,62	1,61	1,58	1,49
65%	1,67	1,67	1,67	1,67	1,58
70%	1,76	1,72	1,73	1,76	1,67
75%	1,76	1,78	1,78	1,86	1,78
80%	1,80	1,83	1,84	1,99	1,90
85%	1,88	1,90	1,91	2,15	2,05
90%	2,01	1,98	1,99	2,36	2,24
95%	2,20	2,09	2,10	2,72	2,52

\*valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 40** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Fazenda Água Limpa Jusante.

	Input	TR	WE	RA	GU	ER	GA
Mínimo	0,75	0,67	- 0,02	0,71	-∞	0,75	0,75
Máximo	1,66	1,73	∞	∞	∞	∞	∞
Média	1,26	1,25	1,26	1,24	1,28	1,26	1,26
Moda*	1,2847	1,35	1,32	1,13	1,15	0,75	0,75
Mediana	1,29	1,27	1,28	1,20	1,23	1,10	1,10
Desvio Padrão	0,22	0,22	0,22	0,27	0,30	0,51	0,51
Assimetria	- 0,52	- 0,28	- 0,46	0,63	1,14	2,00	2,00
Curtose	3,23	2,40	3,19	3,25	5,40	9,00	9,00
5%	0,88	0,86	0,88	0,84	0,89	0,77	0,77
10%	0,96	0,94	0,97	0,90	0,95	0,80	0,80
15%	1,02	1,00	1,04	0,95	1,00	0,83	0,83
20%	1,10	1,05	1,09	0,99	1,04	0,86	0,86
25%	1,14	1,09	1,13	1,03	1,07	0,90	0,90
30%	1,17	1,13	1,16	1,06	1,10	0,93	0,93
35%	1,19	1,17	1,20	1,10	1,14	0,97	0,97
40%	1,25	1,21	1,23	1,13	1,17	1,01	1,01
45%	1,27	1,24	1,25	1,17	1,20	1,05	1,05
50%	1,29	1,27	1,28	1,20	1,23	1,10	1,10
55%	1,30	1,30	1,31	1,24	1,27	1,16	1,16
60%	1,35	1,33	1,33	1,28	1,30	1,22	1,22
65%	1,35	1,35	1,36	1,32	1,34	1,29	1,29
70%	1,39	1,38	1,39	1,36	1,39	1,37	1,37
75%	1,42	1,41	1,42	1,41	1,44	1,46	1,46
80%	1,43	1,45	1,45	1,46	1,50	1,57	1,57
85%	1,43	1,48	1,48	1,53	1,57	1,72	1,72
90%	1,50	1,53	1,52	1,61	1,67	1,93	1,93
95%	1,58	1,59	1,58	1,74	1,84	2,29	2,29

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 41** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Honório Bicalho Montante.

	Input	WE	TR	GU	RA
Mínimo	4,26	- 1,44	3,48	$-\infty$	3,93
Máximo	21,54	$\infty$	22,47	$\infty$	$\infty$
Média	14,43	14,43	14,22	14,78	13,78
Moda*	12,8612	15,08	16,72	12,57	11,79
Mediana	14,44	14,62	14,69	13,97	13,18
Desvio Padrão	3,69	3,67	3,97	4,90	5,15
Assimetria	-0,21	-0,25	-0,35	1,14	0,63
Curtose	3,02	2,87	2,40	5,40	3,25
5%	9,69	8,05	7,03	8,38	6,45
10%	10,21	9,53	8,50	9,38	7,54
15%	10,50	10,54	9,62	10,13	8,41
20%	10,90	11,33	10,57	10,75	9,18
25%	11,66	12,00	11,41	11,32	9,89
30%	12,57	12,60	12,17	11,86	10,57
35%	12,78	13,15	12,86	12,39	11,22
40%	12,95	13,66	13,51	12,91	11,87
45%	13,93	14,14	14,12	13,43	12,52
50%	14,44	14,62	14,69	13,97	13,18
55%	14,75	15,08	15,24	14,54	13,86
60%	15,76	15,55	15,76	15,14	14,57
65%	16,43	16,02	16,26	15,79	15,32
70%	16,72	16,51	16,75	16,51	16,13
75%	16,91	17,03	17,25	17,34	17,02
80%	17,63	17,60	17,80	18,31	18,03
85%	18,14	18,24	18,42	19,52	19,24
90%	19,10	19,03	19,16	21,18	20,80
95%	20,61	20,14	20,13	23,93	23,17

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 42** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Honório Bicalho ANA.

	Input	RA	GU	TR	IG	LN	WE	LL
Mínimo	10,05	9,03	-∞	10,05	8,37	8,54	8,72	10,05
Máximo	17,27	∞	∞	19,30	∞	∞	∞	∞
Média	13,18	13,29	13,13	13,13	13,18	13,21	13,20	154,45
Moda*	11,3159	12,43	12,06	10,05	11,47	11,54	12,24	10,07
Mediana	12,54	13,03	12,74	12,76	12,56	12,57	12,92	12,18
Desvio Padrão	2,60	2,23	2,37	2,18	2,65	2,74	2,39	∞
Assimetria	0,82	0,63	1,14	0,57	1,65	1,96	0,66	∞
Curtose	2,44	3,25	5,40	2,40	7,55	10,51	3,30	∞
5%	10,05	10,12	10,03	10,29	10,19	10,19	9,83	10,17
10%	10,05	10,59	10,52	10,53	10,54	10,55	10,33	10,29
15%	11,32	10,97	10,88	10,77	10,82	10,83	10,72	10,44
20%	11,32	11,30	11,18	11,03	11,07	11,09	11,07	10,59
25%	11,32	11,61	11,46	11,29	11,31	11,33	11,40	10,77
30%	11,49	11,90	11,72	11,56	11,55	11,57	11,71	10,97
35%	11,49	12,19	11,97	11,84	11,79	11,81	12,01	11,21
40%	12,24	12,47	12,22	12,14	12,03	12,05	12,31	11,48
45%	12,24	12,75	12,48	12,44	12,29	12,30	12,61	11,80
50%	12,24	13,03	12,74	12,76	12,56	12,57	12,92	12,18
55%	12,85	13,33	13,01	13,10	12,85	12,85	13,23	12,65
60%	12,85	13,64	13,30	13,45	13,16	13,16	13,56	13,23
65%	13,36	13,96	13,62	13,83	13,51	13,51	13,91	13,98
70%	13,36	14,31	13,97	14,23	13,90	13,90	14,28	14,97
75%	13,36	14,70	14,36	14,67	14,36	14,35	14,70	16,35
80%	16,86	15,13	14,83	15,16	14,92	14,90	15,17	18,41
85%	16,86	15,66	15,42	15,72	15,62	15,61	15,73	21,84
90%	17,27	16,33	16,22	16,37	16,61	16,62	16,46	28,65
95%	17,27	17,36	17,55	17,23	18,29	18,39	17,57	48,88

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 43** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Jequitibá.

	Input	GU	RA	LL	P5	LN	IG	GA	ER	WE	TR
Mínimo	17,14	$-\infty$	16,18	5,54	- 8,36	1,04	0,18	9,51	9,53	15,68	15,70
Máximo	58,69	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	60,26
Média	33,05	33,19	32,88	33,10	33,05	33,05	33,05	33,05	33,05	33,04	34,51
Moda*	31,0856	29,18	29,50	30,35	30,03	30,04	30,03	30,12	30,11	30,40	27,59
Mediana	31,24	31,72	31,87	31,82	31,99	32,01	32,03	32,08	32,08	32,22	33,28
Desvio Padrão	8,47	8,90	8,73	8,97	8,38	8,36	8,34	8,31	8,32	8,45	9,42
Assimetria	0,83	1,14	0,63	1,86	0,84	0,80	0,76	0,71	0,71	0,53	0,40
Curtose	3,88	5,40	3,25	15,36	4,38	4,16	3,97	3,75	3,75	3,07	2,40
5%	20,56	21,56	20,44	21,52	21,38	21,34	21,32	21,24	21,24	20,65	20,85
10%	23,43	23,39	22,29	23,67	23,37	23,33	23,30	23,22	23,22	22,61	22,98
15%	25,87	24,74	23,77	25,14	24,81	24,78	24,75	24,69	24,69	24,15	24,61
20%	26,90	25,88	25,08	26,33	26,02	25,99	25,97	25,93	25,93	25,48	25,99
25%	27,46	26,91	26,28	27,37	27,11	27,09	27,07	27,05	27,04	26,70	27,21
30%	28,67	27,89	27,43	28,31	28,12	28,11	28,10	28,09	28,09	27,85	28,34
35%	28,91	28,84	28,55	29,21	29,10	29,10	29,09	29,10	29,10	28,96	29,50
40%	29,44	29,79	29,65	30,08	30,06	30,06	30,07	30,09	30,09	30,05	30,70
45%	31,09	30,74	30,75	30,94	31,02	31,03	31,04	31,08	31,08	31,13	31,96
50%	31,20	31,72	31,87	31,82	31,99	32,01	32,03	32,08	32,08	32,22	33,28
55%	32,69	32,75	33,02	32,73	33,00	33,03	33,06	33,12	33,12	33,34	34,66
60%	33,13	33,84	34,22	33,68	34,06	34,09	34,13	34,20	34,20	34,50	36,13
65%	34,76	35,03	35,49	34,72	35,19	35,23	35,28	35,35	35,35	35,72	37,68
70%	35,09	36,34	36,86	35,87	36,43	36,48	36,53	36,61	36,61	37,03	39,36
75%	37,69	37,83	38,37	37,18	37,82	37,87	37,92	38,01	38,01	38,47	41,18
80%	40,00	39,59	40,09	38,76	39,43	39,48	39,54	39,62	39,62	40,09	43,19
85%	40,83	41,79	42,14	40,77	41,41	41,45	41,51	41,57	41,57	42,02	45,48
90%	43,63	44,80	44,78	43,64	44,05	44,08	44,12	44,14	44,14	44,49	48,19
95%	49,96	49,80	48,80	48,76	48,32	48,29	48,27	48,19	48,19	48,21	51,72

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 44** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Pinhões.

	Input	TR	WE	GU	RA
Mínimo	4,26	2,61	- 13,50	-∞	3,47
Máximo	36,82	38,92	∞	∞	∞
Média	22,97	22,05	22,95	23,74	21,85
Moda*	19,7328	24,63	24,62	19,29	18,13
Mediana	24,03	22,60	23,46	22,12	20,74
Desvio Padrão	7,15	7,47	7,07	9,88	9,61
Assimetria	- 0,44	- 0,20	- 0,37	1,14	0,63
Curtose	3,57	2,40	3,03	5,40	3,25
5%	7,45	8,93	10,43	10,84	8,16
10%	13,77	11,55	13,49	12,87	10,20
15%	15,72	13,56	15,52	14,36	11,83
20%	18,47	15,25	17,09	15,63	13,27
25%	19,64	16,75	18,42	16,78	14,59
30%	19,80	18,10	19,58	17,86	15,85
35%	21,11	19,34	20,64	18,92	17,08
40%	21,38	20,49	21,63	19,97	18,29
45%	21,77	21,58	22,56	21,03	19,50
50%	24,03	22,60	23,46	22,12	20,74
55%	24,35	23,58	24,35	23,26	22,00
60%	24,63	24,51	25,23	24,47	23,32
65%	24,80	25,44	26,12	25,78	24,72
70%	26,57	26,44	27,03	27,24	26,23
75%	26,94	27,53	28,00	28,90	27,89
80%	28,10	28,73	29,04	30,85	29,78
85%	31,74	30,10	30,23	33,30	32,04
90%	33,06	31,71	31,66	36,64	34,94
95%	34,57	33,82	33,69	42,18	39,37

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 45** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Pirapama.

	Input	RA	GU	WE	TR	GA	ER	IG	LN	P5	LL
Mínimo	17,87	15,58	-∞	16,06	15,01	10,16	10,89	-2,43	- 2,13	-15,40	3,23
Máximo	70,08	∞	∞	∞	73,30	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Média	37,99	38,06	38,08	37,97	39,51	37,99	37,99	37,99	38,00	38,00	38,38
Moda*	32,4140	33,52	32,44	32,82	30,24	32,79	32,57	32,97	33,12	33,27	33,60
Mediana	35,06	36,70	36,02	36,44	37,87	36,28	36,21	36,29	36,30	36,32	36,14
Desvio Padrão	11,99	11,75	12,52	11,93	12,34	12,04	12,12	12,04	12,07	12,08	13,79
Assimetria	0,69	0,63	1,14	0,69	0,41	0,87	0,89	0,89	0,93	0,95	2,46
Curtose	3,21	3,25	5,40	3,37	2,40	4,12	4,20	4,33	4,57	4,78	28,61
5%	19,36	21,33	21,73	21,28	21,67	21,56	21,57	21,57	21,56	21,53	21,56
10%	25,00	23,82	24,30	23,67	24,43	24,10	24,08	24,20	24,23	24,26	24,49
15%	26,42	25,81	26,19	25,60	26,55	26,04	25,99	26,15	26,20	26,25	26,54
20%	27,65	27,56	27,79	27,32	28,33	27,70	27,64	27,82	27,87	27,93	28,21
25%	30,24	29,19	29,25	28,93	29,90	29,22	29,15	29,33	29,38	29,44	29,68
30%	31,46	30,73	30,63	30,46	31,38	30,66	30,59	30,76	30,81	30,86	31,04
35%	32,09	32,23	31,97	31,95	32,91	32,06	31,98	32,14	32,18	32,23	32,33
40%	32,44	33,71	33,29	33,43	34,49	33,45	33,37	33,51	33,54	33,58	33,59
45%	34,07	35,19	34,64	34,93	36,14	34,85	34,77	34,88	34,91	34,94	34,85
50%	34,63	36,70	36,02	36,44	37,87	36,28	36,21	36,29	36,30	36,32	36,14
55%	37,15	38,25	37,46	38,01	39,69	37,76	37,70	37,75	37,75	37,76	37,48
60%	39,92	39,86	39,00	39,65	41,61	39,33	39,27	39,29	39,28	39,27	38,90
65%	40,78	41,57	40,66	41,39	43,66	41,00	40,96	40,94	40,91	40,90	40,45
70%	42,10	43,41	42,51	43,27	45,86	42,84	42,82	42,75	42,71	42,68	42,17
75%	46,97	45,45	44,61	45,36	48,25	44,90	44,90	44,79	44,74	44,69	44,17
80%	48,30	47,76	47,09	47,73	50,89	47,29	47,32	47,17	47,10	47,03	46,58
85%	49,85	50,52	50,18	50,58	53,89	50,21	50,28	50,08	50,00	49,92	49,68
90%	56,11	54,07	54,41	54,26	57,45	54,10	54,22	53,97	53,90	53,82	54,16
95%	58,30	59,48	61,44	59,90	62,10	60,28	60,50	60,23	60,22	60,17	62,31

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 46** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Ponte da Rodagem.

	Input	RA	GU	TR	WE	IG	LN	LL	P5
Mínimo	44,94	40,79	-∞	36,28	43,34	16,51	1,86	44,85	44,92
Máximo	71,30	∞	∞	71,30	∞	∞	∞	∞	∞
Média	58,17	58,26	58,28	59,63	58,07	58,17	58,18	206,01	∞
Moda*	52,1911	54,73	53,60	71,30	51,18	54,98	55,88	45,16	44,94
Mediana	56,57	57,20	56,57	61,04	56,12	57,10	57,40	54,08	46,11
Desvio Padrão	10,18	9,13	10,40	8,25	10,01	9,60	9,46	∞	∞
Assimetria	0,11	0,63	1,14	-0,57	1,07	0,69	0,51	∞	∞
Curtose	1,40	3,25	5,40	2,40	4,39	3,80	3,46	∞	∞
5%	44,94	45,25	44,70	44,11	45,59	44,44	44,08	45,42	44,95
10%	44,94	47,19	46,83	47,35	46,98	46,82	46,72	46,01	44,96
15%	44,94	48,74	48,40	49,84	48,19	48,55	48,59	46,64	44,99
20%	51,93	50,10	49,74	51,94	49,34	50,00	50,13	47,34	45,02
25%	51,93	51,36	50,95	53,79	50,45	51,30	51,49	48,12	45,06
30%	51,93	52,56	52,09	55,46	51,54	52,51	52,75	48,99	45,13
35%	52,36	53,73	53,20	57,00	52,64	53,67	53,95	49,99	45,23
40%	52,36	54,88	54,31	58,43	53,76	54,81	55,10	51,14	45,39
45%	52,36	56,03	55,42	59,77	54,92	55,95	56,25	52,48	45,66
50%	52,36	57,20	56,57	61,04	56,12	57,10	57,40	54,08	46,11
55%	60,79	58,40	57,77	62,25	57,38	58,28	58,58	56,01	46,92
60%	60,79	59,66	59,05	63,41	58,73	59,52	59,80	58,39	48,50
65%	60,79	60,99	60,43	64,51	60,19	60,84	61,09	61,42	51,81
70%	67,73	62,42	61,96	65,58	61,80	62,28	62,48	65,42	59,59
75%	67,73	64,00	63,70	66,61	63,63	63,88	64,01	70,93	80,74
80%	67,73	65,80	65,76	67,60	65,75	65,72	65,77	79,09	151,65
85%	71,30	67,94	68,34	68,57	68,35	67,96	67,88	92,44	480,81
90%	71,30	70,70	71,85	69,50	71,80	70,91	70,63	118,56	3.211,42
95%	71,30	74,91	77,69	70,41	77,26	75,57	74,93	194,26	93.972,38

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 47** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Ponte do Licínio.

	Input	LL	P5	LN	IG	GU	GA	ER	RA	TR
Mínimo	21,56	17,81	11,28	17,06	15,93	-∞	20,76	21,56	11,42	21,56
Máximo	180,03	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	185,19
Média	45,81	45,16	45,13	45,15	45,81	44,67	45,81	45,81	49,38	76,10
Moda*	31,3420	35,18	33,52	32,95	32,21	37,64	31,37	21,56	41,70	21,56
Mediana	40,24	40,10	40,08	40,29	40,63	42,11	41,19	38,37	47,08	69,48
Desvio Padrão	25,89	23,64	20,13	19,09	19,60	15,62	19,02	24,25	19,84	38,57
Assimetria	4,17	∞	3,68	2,35	1,97	1,14	1,52	2,00	0,63	0,57
Curtose	24,37	∞	55,02	14,23	9,45	5,40	6,46	9,00	3,25	2,40
5%	25,72	25,87	25,81	25,49	25,35	24,28	24,44	22,80	21,12	25,70
10%	29,74	28,24	27,96	27,61	27,43	27,48	26,53	24,11	25,32	29,95
15%	31,18	30,05	29,65	29,33	29,15	29,84	28,38	25,50	28,69	34,33
20%	31,34	31,61	31,17	30,89	30,74	31,85	30,14	26,97	31,65	38,83
25%	31,43	33,06	32,61	32,39	32,28	33,66	31,87	28,53	34,39	43,48
30%	32,61	34,44	34,03	33,88	33,83	35,38	33,61	30,21	37,00	48,28
35%	35,20	35,80	35,45	35,38	35,40	37,05	35,39	32,00	39,53	53,26
40%	35,96	37,18	36,92	36,93	37,04	38,71	37,23	33,94	42,03	58,44
45%	37,74	38,60	38,45	38,56	38,77	40,38	39,15	36,05	44,54	63,84
50%	40,15	40,10	40,08	40,29	40,63	42,11	41,19	38,37	47,08	69,48
55%	45,00	41,70	41,85	42,16	42,64	43,91	43,38	40,92	49,69	75,42
60%	46,28	43,45	43,79	44,21	44,86	45,82	45,77	43,78	52,42	81,70
65%	47,41	45,41	45,97	46,51	47,35	47,90	48,40	47,02	55,30	88,38
70%	47,82	47,68	48,49	49,15	50,21	50,20	51,36	50,76	58,41	95,56
75%	50,06	50,39	51,48	52,26	53,58	52,82	54,79	55,18	61,84	103,37
80%	50,88	53,79	55,18	56,08	57,71	55,91	58,89	60,59	65,75	112,01
85%	55,93	58,39	60,09	61,05	63,06	59,77	64,05	67,57	70,41	121,81
90%	62,99	65,43	67,33	68,23	70,67	65,05	71,15	77,40	76,40	133,44
95%	72,20	79,45	80,83	81,07	83,93	73,82	82,95	94,21	85,54	148,60

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 48** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Ponte do Licínio Jusante.

	Input	LL	TR	GU	RA	LN	IG	GA	ER	WE
Mínimo	17,53	- 29,11	14,48	-∞	15,74	-40,32	-42,29	-16,03	-15,60	12,67
Máximo	76,16	∞	81,06	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Média	44,15	44,09	44,72	44,72	43,47	44,15	44,15	44,15	44,15	44,09
Moda*	49,6750	41,62	38,60	37,92	37,86	41,22	41,25	41,33	41,31	41,70
Mediana	43,14	42,97	43,47	42,24	41,79	43,16	43,18	43,22	43,21	43,30
Desvio Padrão	13,26	13,11	13,76	15,12	14,49	13,05	13,04	13,03	13,04	13,29
Assimetria	0,57	0,90	0,26	1,14	0,63	0,47	0,45	0,43	0,44	0,34
Curtose	3,72	6,34	2,40	5,40	3,25	3,39	3,34	3,28	3,29	2,84
5%	20,09	25,08	23,44	24,99	22,83	24,53	24,50	24,43	24,44	23,63
10%	30,16	29,15	27,16	28,09	25,90	28,25	28,22	28,17	28,17	27,23
15%	34,66	31,82	30,00	30,37	28,35	30,88	30,86	30,82	30,82	29,94
20%	34,92	33,91	32,40	32,31	30,52	33,04	33,03	33,00	33,00	32,25
25%	36,58	35,69	34,52	34,07	32,52	34,95	34,94	34,93	34,92	34,31
30%	37,90	37,29	36,43	35,73	34,43	36,70	36,70	36,70	36,69	36,23
35%	38,60	38,77	38,19	37,35	36,28	38,37	38,37	38,38	38,37	38,05
40%	39,04	40,19	39,88	38,95	38,10	39,98	39,99	40,00	40,00	39,82
45%	42,41	41,58	41,63	40,57	39,93	41,57	41,58	41,61	41,60	41,56
50%	42,79	42,97	43,47	42,24	41,79	43,16	43,18	43,22	43,21	43,30
55%	43,57	44,38	45,40	43,98	43,70	44,79	44,81	44,85	44,85	45,06
60%	46,24	45,85	47,44	45,84	45,69	46,47	46,50	46,55	46,54	46,87
65%	46,74	47,42	49,61	47,85	47,80	48,25	48,28	48,33	48,33	48,75
70%	49,13	49,13	51,94	50,07	50,07	50,16	50,20	50,25	50,25	50,76
75%	49,48	51,06	54,48	52,61	52,58	52,27	52,31	52,36	52,36	52,94
80%	49,67	53,33	57,28	55,60	55,43	54,68	54,72	54,76	54,76	55,38
85%	55,17	56,16	60,47	59,34	58,83	57,56	57,59	57,63	57,63	58,25
90%	60,53	60,07	64,25	64,45	63,22	61,32	61,33	61,35	61,36	61,87
95%	71,81	66,76	69,17	72,93	69,89	67,15	67,12	67,08	67,10	67,26

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 49** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Ponte Raul Soares.

	Input	GU	TR	IG	LN	P5	GA	ER	WE	LL	RA
Mínimo	10,74	-∞	9,85	- 10,69	- 9,88	- 21,58	0,48	1,02	8,87	- 0,65	10,18
Máximo	51,74	∞	53,46	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
Média	29,08	29,27	29,15	29,08	29,09	29,09	29,08	29,08	29,08	29,19	28,53
Moda*	23,4189	25,09	24,15	26,47	26,47	26,46	26,59	26,53	27,57	26,36	24,82
Mediana	27,31	27,75	28,18	28,21	28,19	28,18	28,26	28,24	28,58	27,87	27,42
Desvio Padrão	8,51	9,29	9,08	8,47	8,48	8,50	8,44	8,46	8,52	9,43	9,59
Assimetria	0,55	1,14	0,31	0,64	0,66	0,69	0,59	0,60	0,34	1,79	0,63
Curtose	2,90	5,40	2,40	3,68	3,79	3,91	3,52	3,55	2,84	14,28	3,25
5%	18,07	17,15	15,44	16,83	16,85	16,87	16,75	16,76	15,95	16,92	14,87
10%	20,22	19,05	17,75	19,00	19,02	19,04	18,94	18,93	18,26	19,22	16,90
15%	21,06	20,46	19,52	20,56	20,58	20,61	20,52	20,51	20,01	20,79	18,53
20%	22,21	21,65	21,02	21,87	21,89	21,90	21,85	21,83	21,49	22,05	19,96
25%	23,26	22,73	22,34	23,04	23,05	23,06	23,03	23,01	22,81	23,15	21,29
30%	23,78	23,75	23,53	24,12	24,13	24,14	24,13	24,11	24,05	24,16	22,55
35%	24,20	24,74	24,64	25,16	25,16	25,17	25,18	25,16	25,22	25,11	23,77
40%	25,24	25,73	25,77	26,18	26,17	26,17	26,21	26,19	26,35	26,03	24,98
45%	25,76	26,72	26,95	27,19	27,18	27,17	27,23	27,21	27,47	26,95	26,19
50%	27,31	27,75	28,18	28,21	28,19	28,18	28,26	28,24	28,58	27,87	27,42
55%	28,39	28,82	29,48	29,26	29,24	29,22	29,31	29,30	29,71	28,83	28,68
60%	30,17	29,96	30,85	30,35	30,33	30,30	30,41	30,40	30,87	29,84	30,00
65%	31,79	31,19	32,31	31,51	31,48	31,46	31,58	31,57	32,08	30,94	31,40
70%	33,30	32,56	33,88	32,77	32,74	32,71	32,84	32,83	33,36	32,15	32,90
75%	34,72	34,12	35,59	34,17	34,14	34,11	34,24	34,24	34,76	33,53	34,56
80%	35,76	35,96	37,47	35,79	35,75	35,72	35,84	35,85	36,33	35,19	36,45
85%	39,63	38,25	39,62	37,74	37,71	37,68	37,77	37,79	38,16	37,30	38,70
90%	41,79	41,39	42,16	40,30	40,28	40,27	40,29	40,33	40,48	40,31	41,60
95%	44,12	46,60	45,47	44,34	44,36	44,39	44,24	44,29	43,93	45,67	46,02

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 50** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Ponte Raul Soares Jusante.

	Input	GU	LN	IG	LL	RA	TR
Mínimo	0,64	$-\infty$	0,58	0,54	0,64	0,20	0,64
Máximo	3,07	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	$\infty$	3,41
Média	1,21	1,15	1,20	1,21	12,32	1,30	1,56
Moda*	0,8221	0,94	0,73	0,73	0,64	1,08	0,64
Mediana	0,99	1,07	0,97	0,98	0,94	1,23	1,45
Desvio Padrão	0,77	0,45	0,77	0,70	$\infty$	0,57	0,65
Assimetria	2,56	1,14	5,60	3,15	$\infty$	0,63	0,57
Curtose	9,89	5,40	89,51	19,49	$\infty$	3,25	2,40
5%	0,64	0,56	0,66	0,66	0,66	0,48	0,71
10%	0,64	0,65	0,69	0,69	0,67	0,60	0,78
15%	0,83	0,72	0,72	0,72	0,69	0,70	0,86
20%	0,83	0,78	0,75	0,75	0,72	0,79	0,93
25%	0,83	0,83	0,78	0,78	0,74	0,87	1,01
30%	0,84	0,88	0,81	0,81	0,77	0,94	1,09
35%	0,84	0,93	0,85	0,85	0,80	1,01	1,18
40%	0,95	0,97	0,88	0,89	0,84	1,09	1,27
45%	0,95	1,02	0,92	0,93	0,89	1,16	1,36
50%	0,95	1,07	0,97	0,98	0,94	1,23	1,45
55%	1,02	1,12	1,02	1,03	1,01	1,31	1,55
60%	1,02	1,18	1,08	1,09	1,09	1,39	1,66
65%	1,14	1,24	1,14	1,16	1,19	1,47	1,77
70%	1,14	1,30	1,23	1,25	1,33	1,56	1,89
75%	1,14	1,38	1,33	1,36	1,52	1,66	2,03
80%	1,15	1,47	1,46	1,50	1,81	1,77	2,17
85%	1,15	1,58	1,64	1,69	2,28	1,91	2,34
90%	3,07	1,73	1,92	1,99	3,22	2,08	2,54
95%	3,07	1,99	2,49	2,53	5,98	2,34	2,79

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 51** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Santo Hipólito.

	Input	GU	P5	LN	IG	GA	ER	TR	LL	WE	RA
Mínimo	24,25	-∞	-33,87	-12,20	- 13,90	7,02	5,88	22,36	0,52	21,25	23,10
Máximo	105,73	∞	∞	∞	∞	∞	∞	110,83	∞	∞	∞
Média	60,57	60,90	60,57	60,57	60,57	60,57	60,57	61,31	60,76	60,55	59,72
Moda*	72,7039	52,42	54,70	54,72	54,72	54,95	55,10	50,73	55,04	56,54	52,32
Mediana	57,65	57,80	58,53	58,56	58,60	58,71	58,76	59,27	58,11	59,27	57,50
Desvio Padrão	17,53	18,83	17,47	17,44	17,40	17,35	17,30	18,44	19,04	17,56	19,14
Assimetria	0,67	1,14	0,77	0,73	0,70	0,65	0,63	0,33	1,79	0,41	0,63
Curtose	3,24	5,40	4,13	3,97	3,82	3,63	3,60	2,40	14,28	2,92	3,25
5%	35,37	36,31	35,83	35,78	35,73	35,57	35,55	33,57	35,98	34,00	32,45
10%	42,27	40,18	40,14	40,08	40,02	39,89	39,90	38,21	40,63	38,49	36,51
15%	44,74	43,02	43,25	43,19	43,14	43,04	43,08	41,77	43,80	41,93	39,75
20%	46,57	45,44	45,85	45,80	45,76	45,70	45,74	44,77	46,36	44,88	42,62
25%	48,20	47,63	48,17	48,14	48,11	48,08	48,13	47,41	48,58	47,53	45,26
30%	49,62	49,70	50,34	50,32	50,30	50,30	50,36	49,80	50,61	50,02	47,77
35%	52,64	51,71	52,41	52,41	52,40	52,43	52,49	52,04	52,53	52,39	50,22
40%	53,46	53,70	54,44	54,45	54,46	54,52	54,58	54,35	54,39	54,70	52,63
45%	54,65	55,72	56,47	56,49	56,51	56,60	56,65	56,75	56,24	56,98	55,05
50%	57,65	57,80	58,53	58,56	58,60	58,71	58,76	59,27	58,11	59,27	57,50
55%	58,70	59,97	60,65	60,70	60,74	60,87	60,92	61,92	60,04	61,59	60,02
60%	63,48	62,28	62,87	62,93	62,99	63,13	63,17	64,71	62,08	63,99	62,65
65%	64,97	64,78	65,24	65,31	65,38	65,53	65,56	67,69	64,29	66,50	65,43
70%	66,26	67,56	67,82	67,90	67,98	68,14	68,15	70,89	66,73	69,18	68,44
75%	71,07	70,71	70,70	70,79	70,88	71,03	71,03	74,37	69,53	72,10	71,75
80%	72,70	74,44	74,05	74,13	74,22	74,36	74,34	78,22	72,87	75,39	75,52
85%	81,92	79,10	78,12	78,20	78,28	78,38	78,34	82,59	77,14	79,26	80,01
90%	84,93	85,46	83,55	83,59	83,64	83,65	83,57	87,77	83,21	84,17	85,80
95%	96,43	96,02	92,24	92,18	92,13	91,92	91,77	94,52	94,03	91,52	94,62

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 52** - Resultados da estatística de distribuições de densidade de probabilidade para dados de Q<sub>7</sub> e distribuição de percentis, da estação Várzea da Palma.

	Input	P5	IG	LN	GU	LL	GA	WE	RA	TR
Mínimo	30,67	9,51	18,07	20,38	-∞	25,19	27,63	29,81	26,99	28,23
Máximo	158,55	+∞	+∞	+∞	+∞	+∞	+∞	+∞	+∞	161,69
Média	69,64	69,74	69,64	69,63	68,89	70,44	69,64	69,76	71,03	79,43
Moda	57,39	54,72	54,25	54,60	58,56	55,81	55,31	55,17	62,13	48,37
Mediana	60,06	63,71	64,17	64,00	65,12	63,13	64,97	65,58	68,37	74,73
Desvio Padrão	25,67	26,88	25,33	25,80	22,95	34,33	24,54	24,88	23,01	29,37
Assimetria	1,29	2,22	1,47	1,71	1,13	30,26	1,16	0,91	0,63	0,52
Curtose	4,63	14,91	6,61	8,65	5,40	+∞	5,04	3,90	3,24	2,40
5%	39,22	40,06	39,69	39,78	38,92	39,92	38,84	37,18	38,25	39,82
10%	45,75	43,85	43,46	43,58	43,63	43,91	42,82	41,22	43,12	44,62
15%	48,37	46,78	46,44	46,56	47,10	46,92	46,03	44,65	47,03	48,31
20%	51,34	49,36	49,09	49,20	50,04	49,49	48,90	47,79	50,47	51,69
25%	52,18	51,76	51,59	51,67	52,71	51,84	51,61	50,79	53,65	55,19
30%	52,83	54,09	54,03	54,07	55,24	54,09	54,23	53,71	56,67	58,80
35%	54,38	56,40	56,46	56,46	57,69	56,29	56,84	56,61	59,61	62,54
40%	57,32	58,75	58,94	58,88	60,12	58,49	59,47	59,53	62,51	66,43
45%	58,08	61,17	61,49	61,38	62,59	60,76	62,17	62,51	65,42	70,49
50%	59,40	63,71	64,17	64,00	65,12	63,13	64,97	65,58	68,37	74,73
55%	61,69	66,42	67,02	66,79	67,76	65,66	67,92	68,79	71,40	79,19
60%	67,86	69,36	70,10	69,80	70,58	68,41	71,08	72,18	74,56	83,91
65%	74,30	72,61	73,48	73,12	73,63	71,48	74,51	75,82	77,91	88,93
70%	78,64	76,30	77,29	76,86	77,01	75,01	78,31	79,81	81,52	94,33
75%	81,13	80,60	81,68	81,19	80,85	79,20	82,63	84,28	85,50	100,20
80%	87,54	85,83	86,94	86,41	85,40	84,43	87,72	89,44	90,04	106,69
85%	98,25	92,59	93,59	93,06	91,07	91,45	94,03	95,70	95,44	114,06
90%	100,70	102,24	102,79	102,39	98,83	102,07	102,55	103,92	102,40	122,80
95%	121,85	119,42	118,26	118,46	111,71	122,94	116,40	116,75	113,00	134,19

\* valor estimado; ER – distribuição Erlang; GU – distribuição Gumbel; GA – distribuição Gama; IG – distribuição Inversa Gaussiana; WE – distribuição Weibull; LN – distribuição Log Normal; P5 – distribuição Pearson 5; LL – distribuição Log Logística ; RA – distribuição Rayleigh; TR – distribuição Triangular.

\*\*Valores negativos de vazões, ocorrendo devido o padrão matemático da distribuição de matemática.

**Tabela 53** - Valores das estatísticas do teste Bayesiano (BIC) das estações para dados de Q<sub>7</sub>.

Estações	Erlang	Gama	Gumbel	Inversa Gaussiana	Log Logística	Log Normal	Pearson 5	Rayleigh	Triangular	Weibull
Fazenda Água Limpa			65,72					67,58	54,72	52,23
Fazenda Água Limpa Jusante	23,96	23,96	7,49					6,34	2,69	3,51
Honório Bicalho Montante			261,97					266,80	256,51	255,34
Honório Bicalho ANA			39,70	41,38	43,88	41,47		39,56	39,21	41,73
Jequitibá	361,10	361,14	357,37	361,02	360,76	360,97	360,92	358,57	363,55	362,22
Pinhões			281,80					282,37	272,96	273,07
Pirapama	457,90	457,79	454,39	458,00	459,95	458,12	458,25	453,18	457,43	457,17
Ponte da Rodagem			47,47	49,09	51,13	49,11	57,13	46,84	46,62	48,56
Ponte do Licínio	312,32	309,07	307,42	306,03	302,20	304,52	303,29	326,08	344,37	
Ponte do Licínio Jusante	328,73	328,73	327,06	328,68	327,52	328,65		327,20	328,28	329,45
Ponte Raul Soares	512,97	512,97	509,91	512,90	514,53	512,93	512,94	513,86	512,66	514,45
Ponte Raul Soares Jusante			15,37	13,48	13,87	13,35		18,46	17,29	
Santo Hipólito	665,44	665,43	661,86	665,31	666,15	665,31	665,29	665,14	665,91	667,21
Várzea da Palma		696,32	693,26	694,92	695,98	694,92	694,81	698,48	706,58	699,19

**Tabela 54** - Valores das estatísticas do teste Anderson-Darling (A-D) das estações para dados de Q<sub>7</sub>.

		Erlang	Gama	Gumbel	Inversa Gaussiana	Log Logística	Log Normal	Pearson 5	Rayleigh	Triangular	Weibull
Fazenda Água Limpa	A-D P-Valor*			1,86 -					3,44 -	0,95 N/D	0,38 N/D
Fazenda Água Limpa Jusante	A-D P-Valor*	- N/D	3,59 N/D	0,79 0,04					1,11 0,03	0,22 N/D	0,14 N/D
Honório Bicalho Montante	A-D P-Valor*			0,78 0,04					2,60 -	0,48 N/D	0,24 N/D
Honório Bicalho ANA	A-D P-Valor*			0,30 0,64	0,24 N/D	0,87 N/D	0,24 N/D		0,42 0,46	- N/D	0,33 N/D
Jequitibá	A-D P-Valor*	0,31 N/D	0,31 N/D	0,27 0,72	0,29 N/D	0,19 N/D	0,28 N/D	0,27 N/D	0,54 0,30	1,21 N/D	0,48 N/D
Pinhões	A-D P-Valor*			1,43 0,00					2,51 -	0,76 N/D	0,37 N/D
Pirapama	A-D P-Valor*	0,21 N/D	0,21 N/D	0,20 0,89	0,21 N/D	0,24 N/D	0,21 N/D	0,21 N/D	0,26 0,86	0,74 N/D	0,26 N/D
Ponte da Rodagem	A-D P-Valor*			0,27 0,74	0,28 N/D	0,71 N/D	0,28 N/D	1,34 N/D	0,29 0,78	- N/D	0,32 N/D
Ponte do Licínio	A-D P-Valor*	- N/D	0,81 N/D	0,67 0,07	0,58 0,06	0,35 0,27	0,45 0,15	0,38 0,23	3,05 -	- N/D	
Ponte do Licínio Jusante	A-D P-Valor*	0,54 N/D	0,54 N/D	0,70 0,06	0,53 N/D	0,33 N/D	0,53 N/D		1,02 0,04	0,83 N/D	0,70 N/D
Ponte Raul Soares	A-D P-Valor*	0,44 N/D	0,44 N/D	0,33 0,54	0,43 N/D	0,43 N/D	0,42 N/D	0,42 N/D	1,13 0,03	0,66 N/D	0,63 0,07
Ponte Raul Soares Jusante	A-D P-Valor*			0,83 0,02	0,42 N/D	0,79 N/D	0,40 N/D		1,47 0,00	- N/D	
Santo Hipólito	A-D P-Valor*	0,35 N/D	0,35 N/D	0,28 0,68	0,32 N/D	0,27 N/D	0,31 N/D	0,30 N/D	0,96 0,07	0,80 N/D	0,59 0,07
Várzea da Palma	A-D P-Valor*		0,76 N/D	1,00 0,01	0,58 0,05	0,56 0,04	0,57 0,05	0,54 0,07	1,85 0,00	5,36 N/D	1,02 N/D

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

- : O programa @Risk não gerou resultado.

**Tabela 55** - Valores das estatísticas do teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) das estações para dados de Q7.

		Erlang	Gama	Gumbel	Inversa Gaussiana	Log Logística	Log Normal	Pearson 5	Rayleigh	Triangular	Weibull
Fazenda Água Limpa	K-S P-Valor*			0,15 0,02					0,25 -	0,15 0,12	0,09 N/D
Fazenda Água Limpa Jusante	K-S P-Valor*	0,32 N/D	0,32 N/D	0,17 0,11					0,21 0,06	0,11 0,82	0,09 N/D
Honório Bicalho Montante	K-S P-Valor*			0,09 0,44					0,19 0,00	0,11 0,38	0,07 N/D
Honório Bicalho ANA	K-S P-Valor*			0,18 0,68	0,16 N/D	0,25 N/D	0,16 N/D		0,19 0,67	0,18 0,87	0,18 N/D
Jequitibá	K-S P-Valor*	0,07 N/D	0,07 N/D	0,07 0,77	0,07 N/D	0,05 N/D	0,07 N/D	0,07 N/D	0,10 0,44	0,15 0,09	0,09 N/D
Pinhões	K-S P-Valor*			0,16 0,01					0,24 -	0,15 0,13	0,09 N/D
Pirapama	K-S P-Valor*	0,06 N/D	0,06 N/D	0,06 0,93	0,06 N/D	0,07 N/D	0,06 N/D	0,06 N/D	0,07 0,83	0,10 0,42	0,06 N/D
Ponte da Rodagem	K-S P-Valor*			0,19 0,78	0,21 N/D	0,26 N/D	0,22 N/D	0,48 N/D	0,21 0,75	0,29 0,43	0,17 N/D
Ponte do Licínio	K-S P-Valor*	0,21 N/D	0,12 N/D	0,12 0,21	0,10 0,38	0,11 0,11	0,09 0,44	0,10 0,32	0,23 0,00	0,50 -	
Ponte do Licínio Jusante	K-S P-Valor*	0,14 N/D	0,14 N/D	0,13 0,05	0,14 N/D	0,11 N/D	0,14 N/D		0,16 0,05	0,17 0,06	0,15 N/D
Ponte Raul Soares	K-S P-Valor*	0,08 N/D	0,08 N/D	0,06 0,84	0,08 N/D	0,07 N/D	0,08 N/D	0,08 N/D	0,12 0,04	0,08 0,42	0,09 0,14
Ponte Raul Soares Jusante	K-S P-Valor*			0,30 0,03	0,24 N/D	0,26 N/D	0,22 N/D		0,43 0,00	0,54 0,00	
Santo Hipólito	K-S P-Valor*	0,07 N/D	0,06 N/D	0,06 0,67	0,06 N/D	0,07 N/D	0,06 N/D	0,06 N/D	0,12 0,05	0,10 0,14	0,07 0,29
Várzea da Palma	K-S P-Valor*		0,11 N/D	0,12 0,01	0,10 0,02	0,08 0,06	0,09 0,02	0,09 0,03	0,16 0,00	0,21 0,00	0,11 N/D

N/D: Não foi possível o processamento pelo programa @Risk

- : O programa @Risk não gerou resultado.

## APÊNDICE II – Tabelas dados agrupados em conjuntos gerais e bimestrais.

**Tabela 56** - Vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.

Estações	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Fazenda Água Limpa	7,62	5,30	1,44	1,28
Fazenda Água Limpa Jusante	6,20	4,38	1,29	1,15
Honório Bicalho Montante	74,05	52,50	13,89	12,52
Honório Bicalho ANA	82,15	55,00	12,72	11,71
Jequitibá	268,00	180,00	33,32	29,10
Pinhões	156,83	109,93	22,88	18,65
Pirapama	288,64	200,44	36,40	31,80
Ponte da Rodagem	625,00	426,00	60,50	55,40
Ponte do Licínio	352,43	252,34	40,24	34,27
Ponte do Licínio Jusante	395,00	264,00	45,39	37,90
Ponte Raul Soares	197,98	136,79	27,73	24,40
Ponte Raul Soares Jusante	3,59	2,73	0,98	0,90
Santo Hipólito	653,94	444,69	59,88	52,24
Várzea da Palma	1057,51	712,20	67,70	57,76

**Tabela 57** - Vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 1º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.

Estações	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Fazenda Água Limpa	17,00	10,40	2,18	1,90
Fazenda Água Limpa Jusante	9,74	7,48	1,67	1,46
Honório Bicalho Montante	140,54	102,81	19,32	16,48
Honório Bicalho ANA	208,99	131,13	20,59	18,06
Jequitibá	505,00	356,00	57,00	46,91
Pinhões	305,92	215,33	38,31	30,84
Pirapama	534,33	389,70	66,46	52,91
Ponte da Rodagem	992,00	851,00	141,00	126,00
Ponte do Licínio	556,72	431,74	68,21	55,18
Ponte do Licínio Jusante	770,00	550,00	82,34	69,48
Ponte Raul Soares	379,85	268,76	44,61	37,35
Ponte Raul Soares Jusante	5,91	4,81	1,45	1,28
Santo Hipólito	1193,91	865,43	111,94	91,61
Várzea da Palma	2053,16	1459,51	162,51	129,05

**Tabela 58** - Vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 2º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.

Estações	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Fazenda Água Limpa	7,62	6,01	1,92	1,72
Fazenda Água Limpa Jusante	5,47	4,38	1,82	1,53
Honório Bicalho Montante	67,05	55,10	17,33	15,66
Honório Bicalho ANA	69,20	50,82	16,12	15,38
Jequitibá	238,00	181,06	52,40	44,30
Pinhões	146,01	114,11	35,54	28,37
Pirapama	269,78	208,50	60,10	52,40
Ponte da Rodagem	439,00	345,00	107,00	98,40
Ponte do Licínio	352,43	267,37	61,22	50,05
Ponte do Licínio Jusante	360,00	274,00	73,90	63,78
Ponte Raul Soares	183,81	143,83	39,85	35,47
Ponte Raul Soares Jusante	3,10	2,57	1,22	1,17
Santo Hipólito	605,10	455,79	97,27	85,56
Várzea da Palma	989,00	738,81	134,70	113,54

**Tabela 59** - Vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 3º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.

Estações	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Fazenda Água Limpa	3,57	3,24	1,48	1,43
Fazenda Água Limpa Jusante	2,71	2,48	1,36	1,29
Honório Bicalho Montante	31,34	29,20	13,54	12,01
Honório Bicalho ANA	23,65	22,08	13,21	12,72
Jequitibá	92,70	80,44	36,00	29,21
Pinhões	65,09	55,36	24,59	16,21
Pirapama	111,76	98,17	38,70	31,80
Ponte da Rodagem	160,00	140,00	72,10	71,00
Ponte do Licínio	120,81	110,71	43,67	33,62
Ponte do Licínio Jusante	133,00	117,00	49,84	36,05
Ponte Raul Soares	75,85	66,78	30,47	27,38
Ponte Raul Soares Jusante	1,72	1,65	1,06	1,04
Santo Hipólito	188,47	165,53	67,55	59,64
Várzea da Palma	285,83	238,79	79,76	69,62

**Tabela 60** - Vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 4º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.

Estações	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Fazenda Água Limpa	2,76	2,61	1,28	1,19
Fazenda Água Limpa Jusante	2,01	1,93	1,15	1,09
Honório Bicalho Montante	25,77	24,11	12,38	11,10
Honório Bicalho ANA	20,11	18,71	12,25	11,65
Jequitibá	66,60	60,06	29,20	25,40
Pinhões	45,27	41,00	18,49	12,47
Pirapama	79,10	69,63	31,98	26,15
Ponte da Rodagem	101,00	97,20	54,50	52,50
Ponte do Licínio	88,73	79,51	36,23	30,44
Ponte do Licínio Jusante	94,40	84,20	39,75	33,01
Ponte Raul Soares	58,07	51,37	24,49	22,01
Ponte Raul Soares Jusante	1,32	1,31	0,92	0,89
Santo Hipólito	126,15	113,20	53,10	47,69
Várzea da Palma	171,38	152,14	58,02	48,84

**Tabela 61** - Vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 5º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.

Estações	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Fazenda Água Limpa	3,51	2,83	1,23	1,08
Fazenda Água Limpa Jusante	2,37	2,00	1,14	0,96
Honório Bicalho Montante	30,56	26,10	12,38	11,04
Honório Bicalho ANA	33,35	26,43	11,07	10,44
Jequitibá	89,60	70,60	27,87	25,50
Pinhões	56,55	47,05	19,33	14,84
Pirapama	93,37	76,73	29,80	26,40
Ponte da Rodagem	270,00	196,00	51,50	45,80
Ponte do Licínio	116,18	90,44	32,98	31,70
Ponte do Licínio Jusante	103,00	90,20	37,28	32,80
Ponte Raul Soares	74,92	60,27	23,30	20,99
Ponte Raul Soares Jusante	1,52	1,33	0,85	0,81
Santo Hipólito	164,04	127,48	48,59	45,32
Várzea da Palma	259,73	189,70	53,34	48,71

**Tabela 62** - Vazões de referência  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{90}$ ,  $Q_{95}$  ( $m^3 s^{-1}$ ), em base diária para o 6º bimestre, para estações fluviométricas da bacia hidrográfica do Rio das Velhas, obtidas a partir das distribuições de densidade de probabilidade empíricas.

Estações	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{90}$	$Q_{95}$
Fazenda Água Limpa	10,20	7,08	1,66	1,40
Fazenda Água Limpa Jusante	9,39	6,31	1,53	1,33
Honório Bicalho Montante	106,48	74,99	16,76	14,59
Honório Bicalho ANA	90,43	63,87	13,08	10,99
Jequitibá	379,50	269,75	44,60	37,01
Pinhões	219,19	151,07	27,31	23,31
Pirapama	378,70	281,84	44,85	38,70
Ponte da Rodagem	848,00	671,00	124,00	91,20
Ponte do Licínio	460,08	353,69	58,93	50,05
Ponte do Licínio Jusante	490,10	356,77	53,69	46,02
Ponte Raul Soares	272,12	198,63	34,25	28,90
Ponte Raul Soares Jusante	4,11	3,24	1,09	0,98
Santo Hipólito	896,54	633,74	79,10	66,80
Várzea da Palma	1411,40	1038,47	104,63	83,24