

## ANÁLISE DA RELAÇÃO CHUVA-VAZÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JUCU – BRAÇO NORTE (ES)

Marina Nascimento da Costa Lima<sup>1</sup>  
Joãozito Cabral Amorim Júnior<sup>2</sup>

### RESUMO

A presente pesquisa tem por objetivo analisar a relação existente entre as variáveis chuva e vazão na bacia hidrográfica do Rio Jucu - Braço Norte (ES). A bacia de estudo está inserida na região hidrográfica do Atlântico Sudeste, ocupando parte da região Serrana do ES. Para a realização deste trabalho foram utilizados dados pluviométricos e fluviométricos diários, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) do posto fluviométrico da Fazenda Jucuruaba (cód. 57230000), em Viana, compreendendo uma série histórica entre 1972 e 2002 (30 anos). Foi realizada a tabulação dos dados, com auxílio dos softwares Hidro1.2 e SisCAH 1.0, e desenvolvidas as seguintes etapas que contribuíram para o entendimento da relação chuva-vazão: caracterização da bacia, análise das características fisiográficas, análise estatística dos dados, cálculo das médias mensais e anuais de precipitação e vazão no estabelecimento de vazões específicas. Os resultados obtidos com o estudo indicam que a bacia tem baixa propensão a enchentes, período chuvoso entre os meses de novembro a fevereiro e período de estiagem entre maio e agosto. Os valores de vazão máxima, média e mínima tendem a duplicar em um período de retorno de 100 anos e todos os métodos estatísticos utilizados apontaram uma vazão específica de 150 L/s/km<sup>2</sup> para um período de retorno de 10 anos.

**Palavras-chave:** Chuva-vazão. Rio Jucu. Vazões máximas.

---

<sup>1</sup> Técnica em infraestrutura de Vias e Transportes (IFES) e graduanda em engenharia civil pela MULTIVIX.

<sup>2</sup> Docente Multivix Serra, M.Sc. em Engenharia Ambiental (UFES).

## 1 INTRODUÇÃO

A grande oferta de água em nosso planeta conduz à falsa sensação de recurso inesgotável. No entanto, apenas 0,14% do total dessa água é doce, teoricamente apta ao consumo imediato por estar disponível em lagos, rios e lençóis subterrâneos. Atualmente, 29 países não possuem água doce para toda a população e projeta-se que, em 2050, 50 países não terão água suficiente para suas necessidades básicas (Bettega et al. 2006). Do baixo percentual de água doce, ainda há que se excluir a porção muito contaminada por poluentes a ponto de tornar-se o recurso inutilizável ou de difícil utilização para o consumo humano. As principais fontes de contaminação são: esgotos urbanos sem tratamento, aterros sanitários, agrotóxicos, garimpos e resíduos industriais (IEMA, 2019).

Enchente é um fenômeno natural que pode causar a ocupação de leitos de rios e causar graves problemas econômicos e sociais. Estimativas de vazões máximas são essenciais para o planejamento e adoção de medidas para minimização de impactos decorrentes da ocorrência de cheias. Existem diversos métodos disponíveis para obtenção de valores estimativos para vazões máximas de projeto (SANTOS, 2010).

A crescente demanda pelo uso da água, a necessidade de disponibilidade e de controle deste recurso, tanto em quantidade como em qualidade, e sua relevância econômica, ambiental e, sobretudo enquanto recurso vital aos seres humanos, alimenta uma grande demanda por conhecimentos capazes de aprimorar constantemente sua gestão (MARTINS, 2017).

O presente estudo contempla uma importante área localizada na região Centro-Sul do estado do Espírito Santo. A bacia hidrográfica do Rio Jucu - Braço Norte. Dentre os principais benefícios trazidos pela bacia do rio, destacam-se a geração de energia elétrica, desenvolvimento industrial, irrigação de lavouras, turismo, pesca e abastecimento de água.

A bacia do Rio Jucu é responsável pelo abastecimento de água de 60% da população da Grande Vitória, nos municípios de Vila Velha, Viana, a maior parte de Cariacica e toda a ilha de Vitória. Apesar de sua incontestável importância socioeconômica, o rio encontra-se bastante degradado, sofrendo impactos ambientais desde as cabeceiras, como o desmatamento e o uso de

agrotóxicos nas lavouras; até a foz onde sofre principalmente com o lançamento de resíduos sólidos e esgoto, tanto doméstico como industrial.

O monitoramento hidrológico em bacias hidrográficas é de extrema importância, haja visto que o crescimento populacional, as ações antrópicas e as mudanças climáticas provocam problemas nos recursos hídricos. Chuvas intensas causam problemas relacionados a cheias em bacias hidrográficas, de modo que o monitoramento hidrológico é indispensável para a gestão das mesmas (MARTINS, 2017).

A rede hidrométrica básica da Agência Nacional de Águas (ANA) contempla bacias de grande e médio porte no Brasil, as que têm maior produção de energia hidrelétrica, captação e armazenamento de água para abastecimento e irrigação. O monitoramento em pequenas bacias geralmente é de responsabilidade de grupos de pesquisa vinculados a universidades ou de empresas privadas. A falta de monitoramento hidrológico resultou no desenvolvimento de modelos hidrológicos para estimar vazão máxima e a sequência temporal de vazões resultante de um evento de precipitação em bacias hidrográficas.

O objetivo deste trabalho é analisar diferentes métodos determinísticos e probabilísticos utilizados na prática para definição de vazões máximas. Para estimativa de vazões de enchente foram considerados os seguintes métodos: ajustes das distribuições probabilísticas Gumbel, Pearson III, Log Pearson III, Log Normal II e Log Normal III.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 ÁREA DO ESTUDO**

A bacia de estudo está delimitada pela linha vermelha, onde o ponto A (cabeceira) corresponde a nascente do Braço Norte e o ponto B (exutório) corresponde a junção do Braço Norte com o Braço Sul, onde a Estação Fazenda Jucuruaba está localizada, conforme demonstrado na Figura 1.

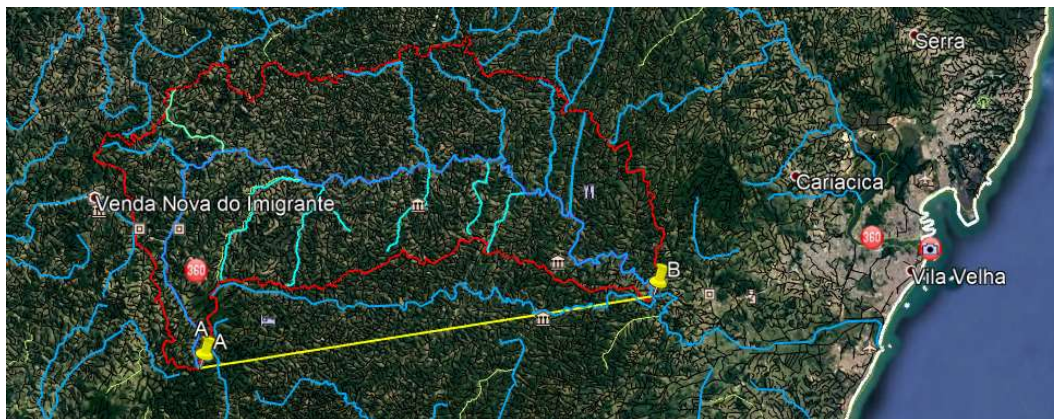


Figura 1 – Bacia de estudo - Rio Jucu Braço Norte.  
Fonte: Google Earth

O Rio Jucu possui duas vertentes – Braço Norte e Braço Sul, que nascem, ambas, na área rural do município de Domingos Martins, na região Serrana do estado.

## 2.2 CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA BACIA

Para analisar a recorrência de enchentes que ocorrem na bacia, foram analisadas suas características fisiográficas: área de drenagem (A), perímetro da bacia (P), coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Kf) e índice de circularidade (Ic).

### Área de drenagem (A)

Área plana delimitada por seus divisores topográficos, expressa em km<sup>2</sup>.

### Perímetro (P)

Comprimento da linha ao longo dos divisores topográficos, expresso em km.

### Coeficiente de compacidade (Kc)

É um número adimensional que varia de acordo com a forma da bacia. Coeficientes menores que 1 correspondem a bacias circulares e maiores que 1 a bacias alongadas, portanto, quanto maior o valor de kc, menor a propensão a enchentes. Coeficiente obtido por meio da equação (01):

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (\text{Equação 01})$$

### Fator de forma (Kf)

Quanto menor o valor de kf, ou seja, quanto maior for o comprimento do rio principal (L), menor a propensão a enchentes. Coeficiente obtido por meio da equação (02):

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (\text{Equação 02})$$

### Índice de circularidade (Ic)

Outro índice que indica a forma da bacia, onde, quanto mais o valor de Ic se aproxima de 1, mais próxima à forma circular e, portanto, maior propensão a enchentes. Índice obtido por meio da equação (03):

$$IC = \frac{A12,57.A}{P^2} \quad (\text{Equação 03})$$

## 2.3 OBTENÇÃO DOS DADOS HIDROLÓGICOS

### Fonte e seleção de dados pluviométricos e fluviométricos e análise estatística das variáveis chuva e vazão

No tratamento inicial dos dados foi realizada a tabulação de dados pluviométricos e fluviométricos diários, relacionados ao posto situado na Fazenda Jucuruaba em Viana, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA), em sítio eletrônico no portal Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). O Quadro 1 fornece dados a estação do estudo:

CÓDIGO	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	LATITUDE	LONGITUDE
57230000	Fazenda Jucuruaba	Viana	-20 24 54	-40 29 07

Quadro 1 – Dados da estação pluviométrica e fluviométrica.

Fonte: Elaborado pelo pesquisador (Dados retirados do Inventário das estações - ANA)

O posto foi selecionado levando-se em consideração a consistência dos dados disponíveis, principalmente aqueles que apresentaram uma menor quantidade de falhas e série histórica mais longa, visando uma maior representatividade e veracidade dos resultados.

Dados compreendidos entre os anos de 1972 e 2012 (30 anos), os anos 1990 e 1991 foram descartados por haver falhas nas médias das vazões. O início do ano hidrológico adotado foi a partir do mês de outubro, porcentagem de falhas máxima permitida de 5% e tempo de retorno de 10 anos.

A combinação das médias mensais e anuais das vazões e das chuvas foram feitas por meio do software Excel, bem como os gráficos que relacionam as variáveis chuva e vazão.

#### Determinação de vazões específicas médias

A determinação de vazões específicas médias é de suma importância na compreensão do comportamento hidrológico de uma bacia, pois expressa a capacidade desta produzir escoamento superficial e serve como elemento comparativo entre bacias. Segundo Tucci (2002), a vazão específica é definida como a vazão da bacia dividida pela sua área. Seu resultado será dado em  $m^3/s/km^2$ . As vazões específicas foram estimadas utilizando a Equação 04:

$$Q_{esp} = \frac{Q}{A} \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

$Q_{esp}$  = vazão específica média [ $m^3/s/km^2$ ];

$Q$  = vazão média de referência [ $m^3/s$ ];

A = área de drenagem da bacia [km<sup>2</sup>].

### Determinação de vazões máximas e mínimas

A metodologia utilizada para obtenção das vazões máximas e mínimas baseou-se na média aritmética das vazões dos sete dias consecutivos, apresentando maior e menor valor de vazão média para o referido período em cada ano da série de dados realizado pelo sistema computacional SisCAH 1.0.

Foram utilizadas as distribuições de densidade de probabilidade com melhores ajustes aos dados. Os modelos probabilísticos testados foram: Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Gumbel.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Características fisiográficas da bacia

A amplitude altimétrica entre os pontos A (1.191m) e B (58m), ilustrados anteriormente na Figura 1, é de 1.133m. A bacia tem 219 km de perímetro e 1.154 km<sup>2</sup> de área, o rio principal possui 111 km de comprimento. Com estes dados foi possível calcular os coeficientes de compacidade, forma e índice de circularidade, resumidos no Quadro 2 a seguir:

CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS DA BACIA			
Descrição	Símbolo	Unidade	Valor
Área	A	km <sup>2</sup>	1.154,00
Perímetro	P	km	219,00
Comprim. rio principal	L	km	111,00
Amplitude altimétrica	H	m	1.133,00
Coef. de compacidade	Kc	-	1,805
Fator de forma	Kf	-	0,094
Índice de circularidade	Ic	-	0,303

Quadro 2 – Características fisiográficas do rio Jucu Braço Norte.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

O coeficiente de compacidade revelou um valor alto e adimensional, variando de acordo com o formato da bacia. Esse índice aumenta à medida que a forma da bacia deixa de ser circular. Tais resultados e a razão de alongação baixa apontam que a bacia do rio Jucu possui formato alongado e apresenta

baixa probabilidade à ocorrência de enchentes em condições normais de precipitação. Bacias com formato irregular apresentam coeficiente de compacidade maior e bacias alongadas têm menos chance de chuvas intensas ocorrerem ao longo de sua área simultaneamente (CARDOSO et al., 2006).

A forma de uma bacia hidrográfica está diretamente relacionada com o tempo de concentração, ou seja, o tempo para a água infiltrar ou escoar após a precipitação. Em bacias alongadas, como a do rio Jucu, os afluentes entram em contato com o principal curso d'água em diversos locais durante o fluxo. Em bacias circulares, a concentração do deflúvio ocorre em um só ponto, diminuindo o tempo de concentração e aumentando as chances de ocorrência de enchentes (SINGH et al., 2014). Além disso, bacias com formatos alongadas apresentam baixas possibilidades de chuvas intensas ocorrerem em toda sua extensão simultaneamente (LORENZON et al., 2015).

#### Dados pluviométricos e fluviométricos e análise estatística das variáveis chuva e vazão

Os Quadros 3 e 4 a seguir apresentam os valores das médias mensais e anuais de chuva e vazão. A obtenção de tais valores foi possível após ser feita a tabulação dos dados fornecidos pelo HidroWeb no Excel.

<b>MÉDIAS MENSAIS DE CHUVA E VAZÃO (1972 - 2002)</b>						
<b>MESES</b>	<b>JAN</b>	<b>FEV</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAI</b>	<b>JUN</b>
<b>CHUVA (mm)</b>	155,7	84,9	131,9	97,3	65,3	37,8
<b>VAZÃO (m³/s)</b>	39,8	29,9	31,2	27,4	22,6	18,6
<b>MESES</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OUT</b>	<b>NOV</b>	<b>DEZ</b>
<b>CHUVA (mm)</b>	53,8	53,6	84,0	115,5	172,1	191,5
<b>VAZÃO (m³/s)</b>	17,6	15,6	16,3	19,6	32,7	38,7

Quadro 3 – Médias mensais de chuva e vazão (1972-2002).  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.



MÉDIAS ANUAIS DE CHUVA E VAZÃO (1972 - 2002)						
ANO	1972	1973	1974	1975	1976	1977
CHUVA (mm)	1230,6	1244,4	1170,7	1342,6	1090,1	1210,6
VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	28,1	32,5	28,9	29,8	18,8	19,8
ANO	1978	1979	1980	1981	1982	1983
CHUVA (mm)	1587,8	1467,1	1161,8	1062,6	1181,3	1879,3
VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	24,6	39,8	26,6	23,4	26,7	32,5
ANO	1984	1985	1986	1987	1988	1989
CHUVA (mm)	1278,6	1563,9	791,1	1183,6	989,9	1214,3
VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	28,6	42,1	18,6	22,8	20,1	17,4
ANO	1992	1993	1994	1995	1996	1997
CHUVA (mm)	1559,4	785,4	1123,4	1061,0	1300,0	1210,1
VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	34,5	15,6	33,0	18,0	23,6	28,2
ANO	1998	1999	2000	2001	2002	MÉDIA
CHUVA (mm)	969,6	1345,7	1592,4	1352,0	1107,6	1243,3
VAZÃO (m <sup>3</sup> /s)	19,2	18,5	23,1	20,4	20,8	25,8

Quadro 4 – Médias anuais de chuva e vazão (1972-2002).  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Combinando as médias mensais e anuais das vazões e das chuvas, obteve-se os gráficos chuva-vazão, apresentados nas figuras 2 e 3 abaixo.

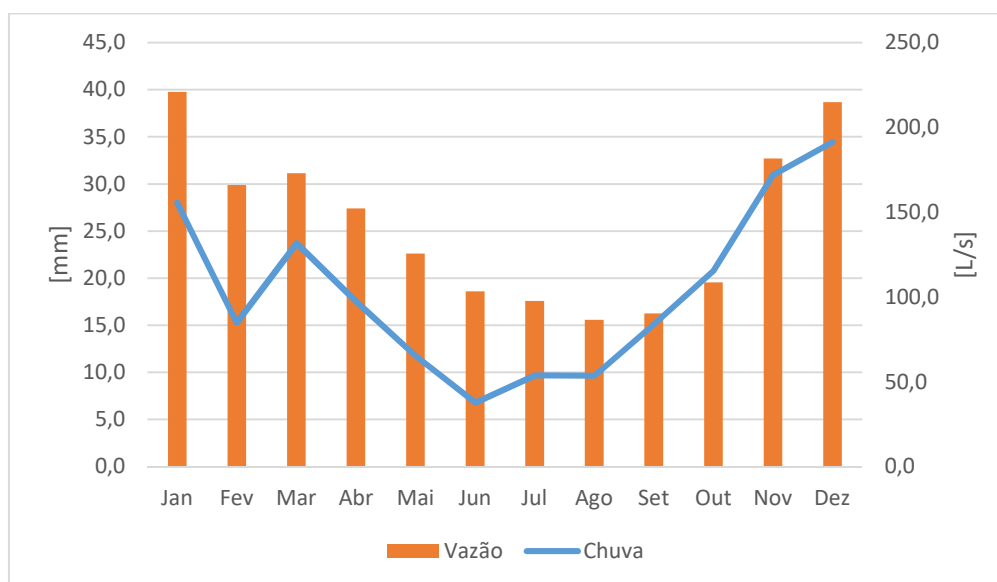


Figura 2 – Relação chuva-vazão (1972-2002) – Médias mensais.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

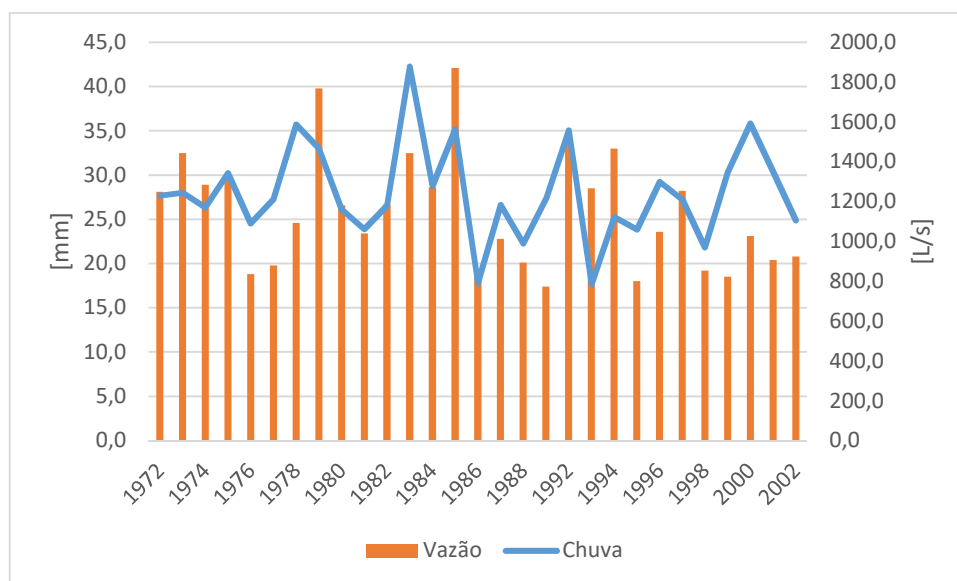


Figura 3 – Relação chuva-vazão (1972-2002) – Médias anuais.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

De acordo com os gráficos acima, pode-se observar que o período chuvoso é presente nos meses entre novembro e fevereiro, com chuvas de 30 a 40 mm. Já o período de estiagem está compreendido entre os meses de maio a agosto, com chuvas abaixo de 15 mm.

#### Vazões máximas e mínimas

O Quadro 5 e a figura 4 a seguir apresentam os valores de vazão máxima, média e mínima da série histórica, expressas em  $m^3/s$ , obtidos por meio de cinco métodos estatísticos utilizados:

VAZÕES ( $m^3/s$ )	MÉTODOS ESTATÍSTICOS				
	Gumbel	Pearson 3	Log Pearson 3	Log normal 2	Log normal 3
<b>Qmáx.</b>	197,03	179,81	207,18	186,46	179,58
<b>Qméd.</b>	171,31	163,74	173,71	164,73	163,67
<b>Qmín.</b>	145,59	147,68	140,24	143,00	147,76

Quadro 5 – Vazões máximas, médias e mínimas obtidas através dos cinco métodos estatísticos utilizados.

Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

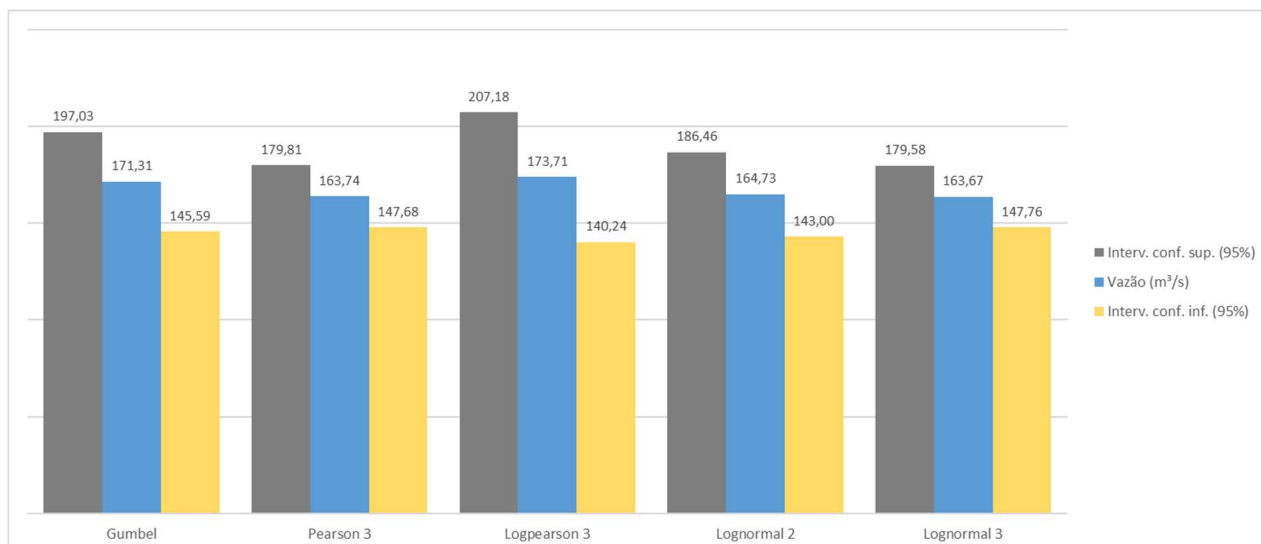


Figura 4 – Vazões obtidas através dos cinco métodos estatísticos utilizados.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

### Análise estatística das variáveis chuva e vazão

Além de fornecer os valores de vazões máximas, médias e mínimas compreendidas no período de 30 anos do estudo (1972-2012) para um período de retorno de 10 anos, o software SisCAH 1.0 utiliza os métodos estatísticos para fazer uma análise de tendências para períodos de retorno de até 100 anos. As análises de tendência dos cinco métodos estatísticos são apresentadas nas Figura 5 a Figura 9.

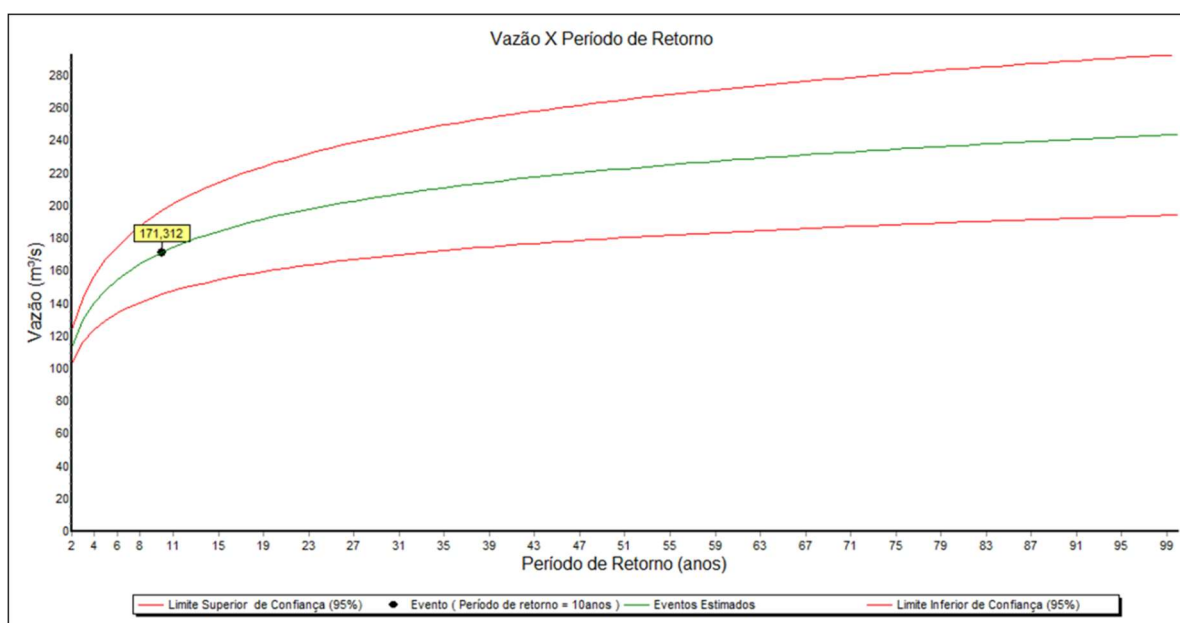


Figura 5 – Análise de tendências e vazão da bacia. Método estatístico: Gumbel.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

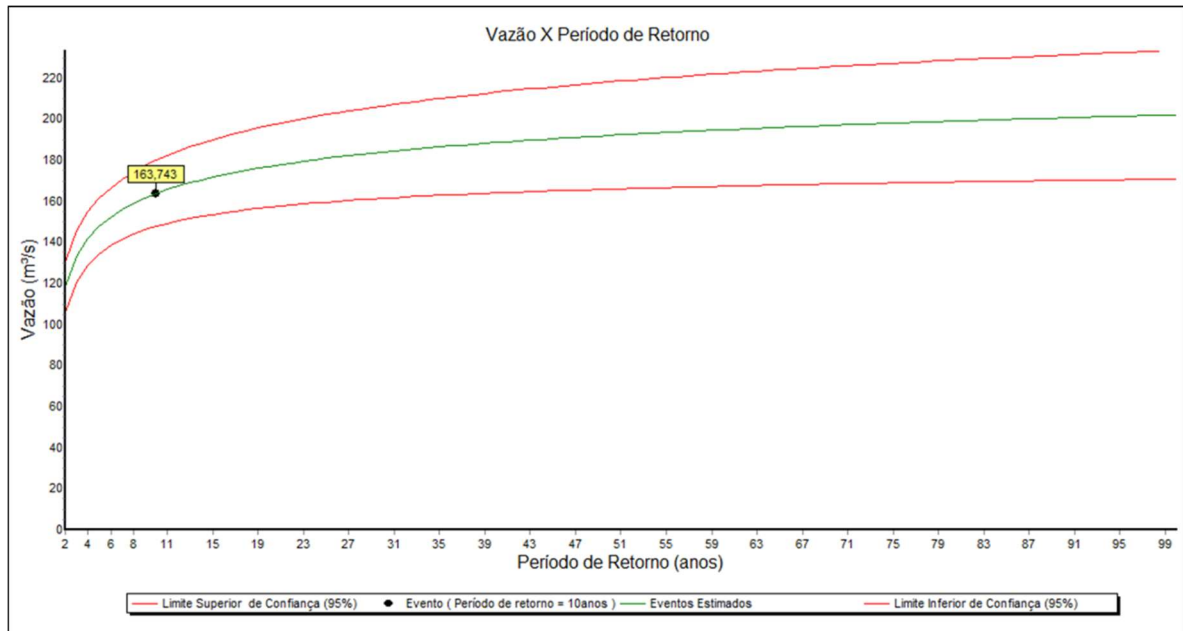


Figura 6 – Análise de tendências e vazão da bacia. Método estatístico: Pearson 3.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

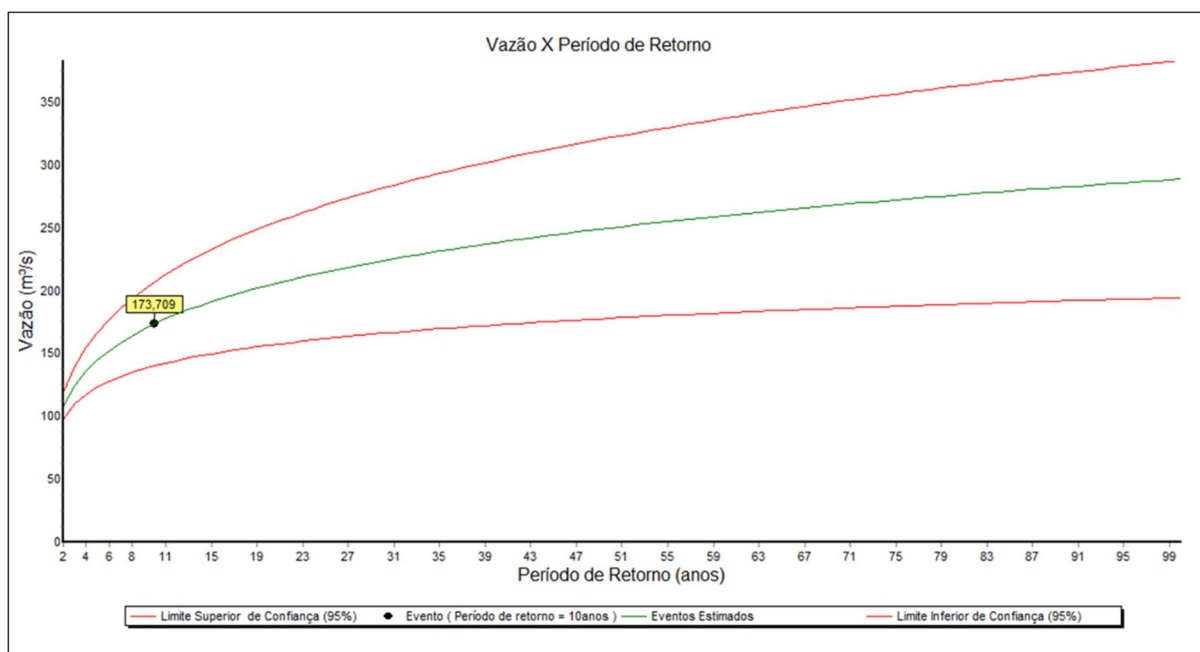


Figura 7 – Análise de tendências e vazão da bacia. Método estatístico: Logpearson 3.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

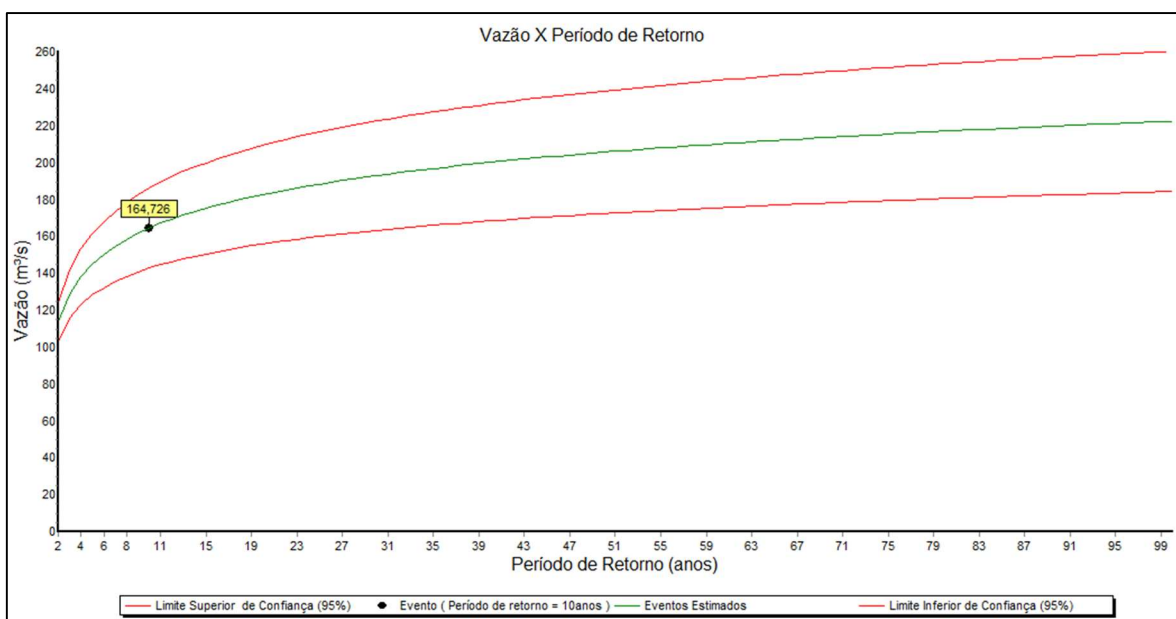


Figura 8 – Análise de tendências e vazão da bacia. Método estatístico: Lognormal 2.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

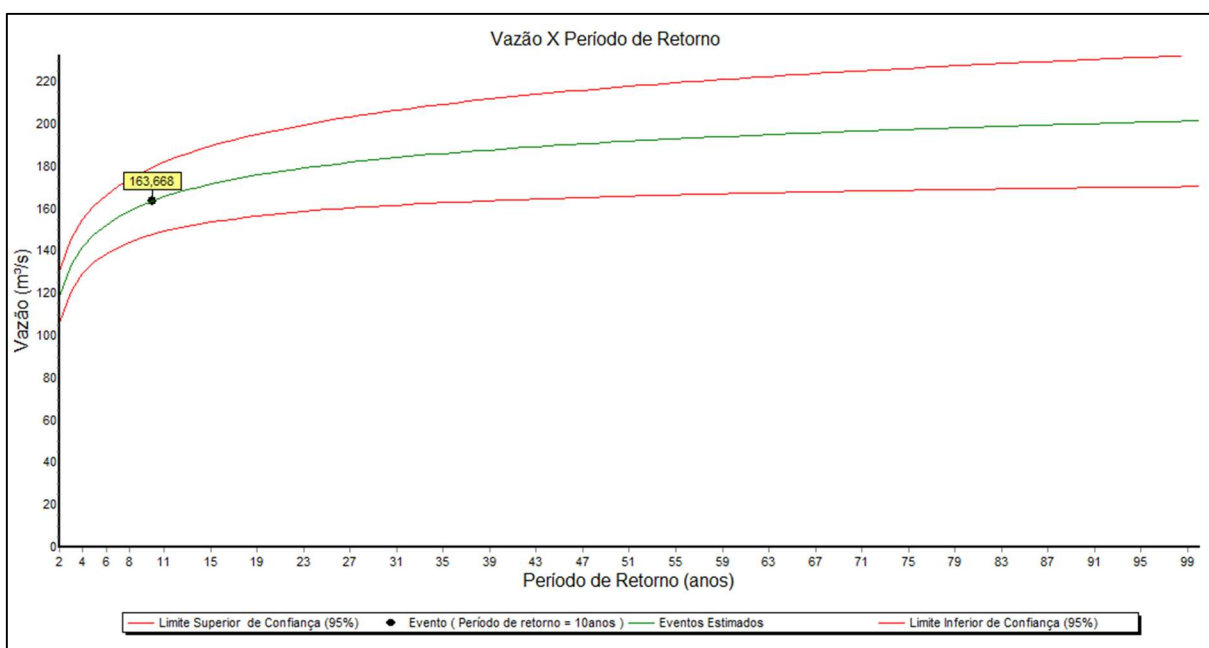


Figura 9 – Análise de tendências e vazão da bacia. Método estatístico: Lognormal 3.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Sobre as tendências de aumento no regime de vazões, estas apresentam um comportamento não linear, e ao compará-las com a atuação das chuvas, testificou-se que seu aumento progressivo esteve associado a maior quantidade pluviométrica perceptível na área de estudo.

### Determinação de vazões específicas médias

Com posse dos valores de vazão e área da bacia, foi possível calcular as vazões específicas para cada método estatístico, utilizando as vazões médias, para um período de retorno de 10 anos, conforme Quadro 6:

MÉTODO ESTATÍSTICO	VAZÃO ESPECÍFICA (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )
Gumbel	0,14845
Pearson 3	0,14189
Logperason 3	0,15053
Lognormal 2	0,14275
Lognormal 3	0,14183

Quadro 6 – Vazões específicas médias.  
Fonte: Elaborado pelo pesquisador.

Em todos os métodos utilizados, os valores de vazão específica obtidos foram próximos a 0,15 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup> ou 150 L/s/km<sup>2</sup>. Este resultado serve como um indicador direto que permite comparar o nível da produção de água entre bacias hidrográficas e como parâmetro de disponibilidade hídrica da região.

## 4 CONCLUSÃO

Os resultados desta pesquisa possibilitaram entender as relações existentes entre a chuva e a vazão na bacia hidrográfica do Rio Jucu – Braço Norte (ES). Para tanto, os métodos estatísticos foram importantes para observar a variabilidade pluviométrica e fluviométrica.

Dentre as características referentes ao comportamento pluviométrico na bacia hidrográfica do Rio Jucu – Braço Norte, destaca-se a média anual de 1.243,3 mm, com baixa propensão a enchentes. Os meses de novembro a fevereiro caracterizam o período chuvoso e os meses compreendidos entre maio e agosto caracterizam o período de estiagem.

O regime fluviométrico acompanhou o mesmo comportamento pluviométrico. Tendo durante a estação chuvosa, um aumento nos valores médios de vazões que foram de 175 m<sup>3</sup>/s em novembro a 225 m<sup>3</sup>/s em fevereiro

e uma diminuição nos valores médios de vazões, dentro do período de estiagem de 110 m<sup>3</sup>/s em maio a 75 m<sup>3</sup>/s em agosto.

Diante dos valores médios das vazões específicas, a média geral para toda a bacia foi de 0,15 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>. Os valores tendem a aumentar progressivamente, de acordo com os métodos estatísticos.

## **5 AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer à Faculdade Capixaba da Serra, Multivix, pela oportunidade de fazer o curso de Engenharia Civil, e ao professor Joãozito Cabral, pela orientação, apoio e confiança. Aos meus pais e meu marido, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Nacional de Águas (ANA). Curso de hidrologia geral. Out./nov. 2017.

ALMEIDA, Liziane. SERRA, Juan Carlos Valdés. Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas. Rev. FAE, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129-137, jan./jun. 2017.

AMORIM JUNIOR, J. C. et al. Disponibilidade Hídrica para Outorga de Captação Critérios Anual e Mensal para Definição de Vazões Mínimas de Referência. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

Bettega JMPR, Machado RM, Banisk G, Barbosa CA (2006) Métodos analíticos no controle microbiológico da água para consumo humano. Ciência e Agrotecnologia 30: 950-954.

CARDOSO, A. C.; DIAS, H.C.T.; SOARES, C.P.B.; MARTINS, S.V. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. Revista Árvore. Curitiba, v.30, p. 241 – 248 mar./abril 2006.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em: Acesso em: 07 mar. 2019.

LORENZON, A.S.; FRAGA, M.S.; MOREIRA, A.R.; ULIANA, E.M.; SILVA, D.D.D.; RIBEIRO, C.A.A.S.; BORGES, A.C. Influência das características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Benevente nas enchentes no município de Alfredo Chaves-ES. Revista Ambiente & Água, Taubaté, v. 10, n. 1, p. 196-206, jan./mar. 2015b.

MARTINS, Lorraine Campos et al. Vazão máxima em pequena bacia hidrográfica parcialmente urbanizada em Uberlândia–MG. 2017.

SALGUEIRO, João Hipólito Paiva de Britto et al. Análise da estacionariedade da precipitação na cidade de Maceió segundo métodos estatísticos para verificação de tendências. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRICOS, 22, 30 nov. - 01 dez. 2017, Florianópolis. Anais. Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. 8p.

SANTOS, Luciana Cabral Costa et al. Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos. 2010. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

SIGH, P.; GUPTA, A.; SINGH, M. Hydrological inferences from watershed analysis for water resource management using remote sensing and GIS techniques. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, Cairo, v. 17, n. 2, p. 111-121, dez. 2014.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e aplicação. 4.ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 2014.