

Caracterização Estatística das Séries de Afluência das Estações Fluviométricas Ponte do Piquiri (PR) e UHE Santo Antônio do Jari (AP)

Resumo

Este estudo compara as séries históricas de afluência das estações fluviométricas Ponte do Piquiri (Ubiratã - PR) e UHE Santo Antônio do Jari (Laranjal do Jari - AP), localizadas de forma diametralmente opostas dentro do Brasil. Outras características distinguem as estações, dentre elas o tamanho do histórico, o operador do posto, o porte do corpo hídrico, a região climática e o uso do solo. Assim, busca-se aferir as diferenças e similaridades partilhadas entre as localidades. Para tal, são calculadas as estatísticas descritivas amostrais das séries de afluência média em escala anual. Adicionalmente, a média e o desvio padrão são apresentados mensalmente. A distribuição de probabilidades log-normal foi ajustada para cada estação, sendo a escolha feita comparando-se as funções densidade de probabilidade acumulada (FDA) teóricas com a FDA empírica segundo as posições de plotagem de Weibull.

1 Introdução

A Hidrologia utiliza e necessita de diversos conceitos estatísticos no seu desenvolvimento. A complexidade dos fenômenos meteorológicos, a miríade de parâmetros que influenciam a resposta de uma bacia hidrográfica, sua heterogeneidade espaço-temporal; todos estes fatores inserem incertezas e aleatoriedade nos modelos hidrológicos, de forma que sejam raríssimas as ocorrências de processos puramente determinísticos (Naghetini, 2007) [4].

Assim, o primeiro passo de uma análise hidrológica é a obtenção de dados, seguida da investigação estatística da amostra em estudo. As estatísticas descritivas, por si só, agregam informações pertinentes sobre o fenômeno, sendo essas, algumas vezes, contraintuitivas e surpreendentes.

Muito se fala nos atributos que diferem a vazão afluente em corpos hídricos. Neste trabalho, duas estações fluviométricas com uma série de aspectos distintos são comparadas, com o objetivo de expor as particularidades que são consequência destes contrastes. A caracterização estatística é feita por meio de um sumário numérico das estatísticas descritivas e da apresentação gráfica de tais resultados. O estudo é encerrado com o ajuste de uma distribuição de probabilidades às séries de vazão.

O artigo está subdividido em 4 seções distintas, sendo esta introdução a primeira delas. A seção 2 descreve as estações fluviométricas em estudo e resume as estatísticas calculadas. Por sua vez, a seção 3 apresenta os resultados obtidos e uma discussão sobre seu significado e eventuais fatores de influência. Finalmente, a seção 4 resume as conclusões elencadas e sugere aperfeiçoamentos ao trabalho executado.

2 Materiais e métodos

Todos os cálculos, manipulação de dados e geração de gráficos foram realizados com o uso das bibliotecas da linguagem Python: Pandas [7], NumPy [2], Matplotlib [3], Seaborn [9] e SciPy [8]. O reconhecimento aéreo do local e do uso do solo foi feito com o auxílio da plataforma MapBiomas [5].

2.1 Dados utilizados

O estudo foi realizado com dados de vazão afluente anual média, cujas estações fluviométricas são identificadas na Tabela 1. Nenhuma das séries apresenta falhas de medição, sendo UHE Santo Antônio do Jari totalmente consistida e Ponte do Piquiri

parcialmente consistida (até dez/2014). A Figura 1 apresenta o gráfico das séries em análise, enquanto a Figura 2 traz a sua versão normalizada, com as estações em sobreposição para fins comparativos de comprimento da série e variabilidade.

A estação UHE Santo Antônio do Jari encontra-se dentro da Amazônia Legal, com uso e ocupação do solo sendo majoritariamente florestal. Por outro lado, a estação Ponte do Piquiri é localizada no terceiro planalto paranaense, sendo parte da Bacia do Paraná, cuja área de drenagem é muito superior do que a que contribui diretamente para o posto em questão. A bacia como um todo é dominada pela agropecuária, sendo possível aferir, particularmente para a área contribuinte da estação, o uso mais intenso como agricultura. (Projeto MapBio-mas, 2021) [5].

Enquanto a série de Ponte do Piquiri foi obtida convencionalmente por meio da Hidroweb [1], cabe ressaltar que a série de UHE Santo Antônio do Jari faz parte do conjunto de séries naturais de vazão do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) [6], apresentadas desde o ano de 1931, e que desconsideram a existência de barramento no local.

2.2 Estatísticas descritivas amostrais

As estatísticas escolhidas para a caracterização das séries anuais de vazão média foram:

- média;
- mediana;
- amplitude amostral;
- variância e desvio padrão;
- coeficiente de variação amostral; e
- coeficiente de assimetria.

A média e o desvio padrão foram calculadas posteriormente para a série mensal de vazões, sendo agregadas para cada mês do ano.

Para a visualização das estatísticas, utiliza-se o diagrama *box-plot-whisker* e o histograma de frequências absolutas. O número de classes foi determinado por meio da Regra de Sturges:

$$1 + 3,3 \log_{10}(N),$$

sendo o N o tamanho da amostra em questão. (Naghettini, 2007) [4].

2.3 Distribuição de probabilidades

Uma distribuição de probabilidades é um modelo teórico que associa cada valor assumido por uma variável aleatória (neste caso a vazão afluente) com uma probabilidade de ocorrência (Naghettini, 2007). Dentre as diversas existentes e utilizadas na Hidrologia, foram consideradas a distribuição normal, log-normal 2 parâmetros e log-normal 3 parâmetros.

A comparação visual entre o desempenho das funções densidade de probabilidade acumulada (FDA) candidatas e a FDA empírica, obtida por meio das posições de plotagem de Weibull:

$$q_i = \frac{i}{N + 1},$$

foi o critério utilizado para a escolha da função. O ajuste das distribuições aos dados observados foi feito por meio do Método dos Momentos.

3 Resultados e discussão

O sumário das estatísticas descritivas das séries anuais de vazão média afluente calculadas são apresentadas na Tabela 2. Por sua vez, a média e o desvio padrão agregados por mês do ano são expostos na Tabela 3. A Figura 3 e Figura 4 exibem os mesmos dados, desta vez organizados de forma gráfica.

Uma primeira observação da média, mediana e amplitude calculadas permite confirmar o contraste entre o porte dos corpos hídricos, o que já era sugerido pela diferença entre as áreas de drenagem. A série de UHE Santo Antônio do Jari (SAJ) apresenta valores em torno de 3 vezes maiores que a série da Ponte do Piquiri (PP).

Contudo, os dois eventos de cheia notoriamente conhecidos na região sul do Brasil (1983 e 1998) elevaram a vazão média de PP para valores semelhantes à SAJ, com a vazão em 1983 sendo até mesmo superior ao posto comparado. Uma interessante coincidência que pode ser observada na Figura 1 é a de que os períodos de cheia no sul são concomitantes com eventos de seca no norte, sugerindo uma correlação negativa entre os postos.

Comparando-se os valores mensais de média e variância em SAJ, é possível notar na Figura 4 que maiores vazões agregam maior variação. Contudo, o mesmo não pode ser dito sobre PP. Na Figura 3,

Tabela 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Estação	UHE Santo Antônio do Jari	Ponte do Piquiri
Bacia	1 - Rio Amazonas	6 - Rio Paraná
Rio	Rio Jari	Rio Piquiri
Unidade da Federação	AP	PR
Município	Laranjal do Jari	Ubiratã
Fonte dos dados	ONS	Hidroweb
Operador	ONS	IAT-PR
Código	290	64795000
Latitude	-0,65	-24,56
Longitude	-52,53	-53,13
Área de drenagem (km ²)	52.643,00	11.200,00
Início da série	Jan/1931	Jan/1971
Fim da série	Dez/2018	Dez/2019
Nível de consistência	Consistido	Consistido até 2014

Fonte: Agência Nacional de Águas (2021) [1] e Operador Nacional do Sistema Elétrico (2021) [6].

Tabela 2 – Estatísticas descritivas das séries anuais de afluência

Estação	UHE Santo Antônio do Jari	Ponte do Piquiri
Quantidade de medições	89	48
Média (m ³ /s)	1.092	314
Mediana (m ³ /s)	1.076	304
Amplitude (m ³ /s)	1.566	489
Variância (m ⁶ /s ²)	84.295	10.057
Desvio padrão (m ³ /s)	290	100
Coeficiente de variação	27%	32%
Coeficiente de assimetria	0,42	0,67

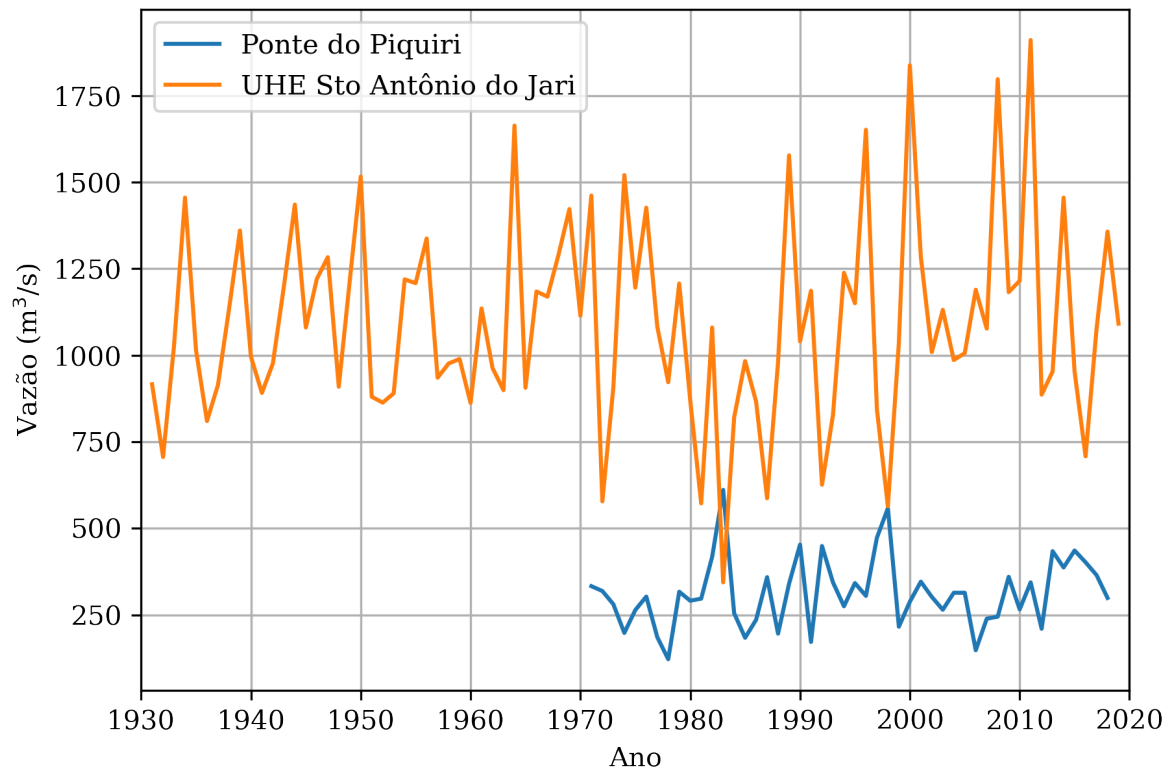
Fonte: A Autora (2021).

Tabela 3 – Média e desvio padrão das séries mensais de afluência por mês do ano

Média (m ³ /s)												
Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PP	346	320	233	231	360	383	317	241	292	410	316	317
SAJ	680	1068	1373	1827	2150	2070	1452	960	594	339	246	347
Desvio padrão (m ³ /s)												
Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PP	268	197	189	214	325	307	247	201	244	275	221	240
SAJ	322	480	534	704	750	774	530	293	188	148	123	198

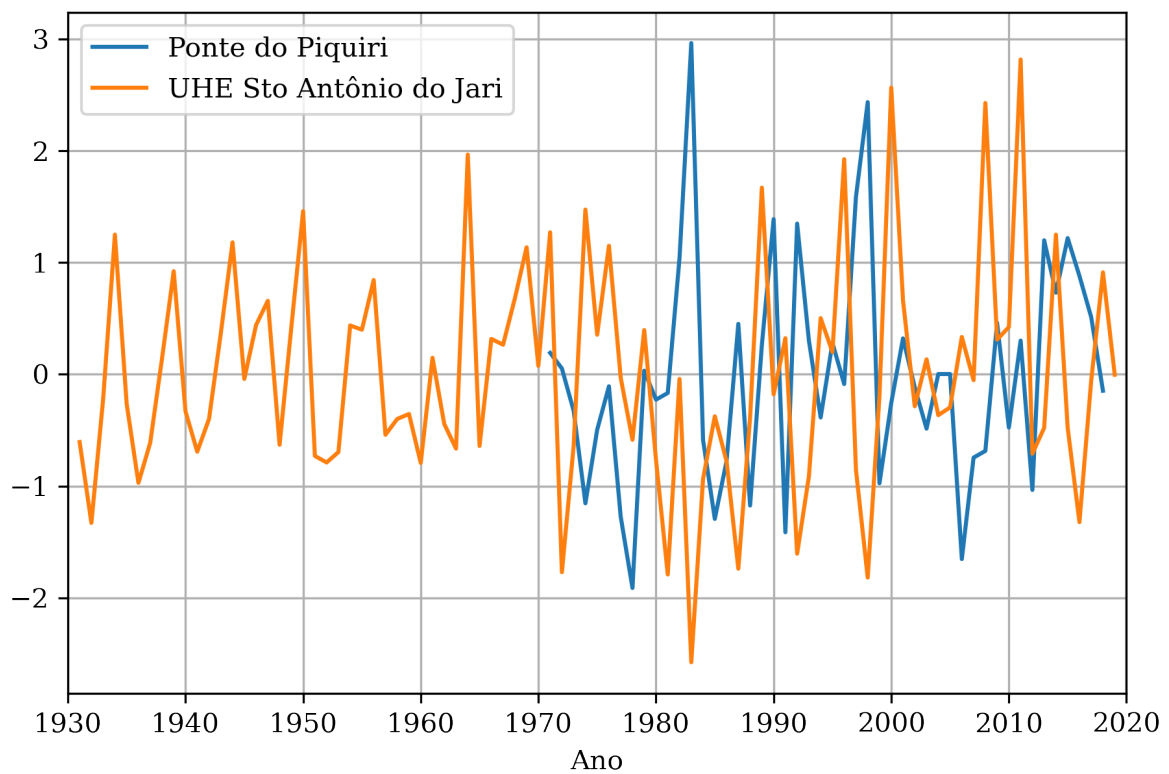
Fonte: A Autora (2021).

Figura 1 – Vazão afluyente anual média



Fonte: A Autora (2021).

Figura 2 – Vazão afluyente anual média normalizada



Fonte: A Autora (2021).

é possível observar, por exemplo, que enquanto a vazão é maior em outubro, o desvio padrão é inferior ao observado em maio, mostrando uma maior imprevisibilidade. Analogamente, nota-se a estação de cheias e secas bem delimitado na região norte, enquanto a região sul apresenta mais oscilações ao longo do ano. A maior variabilidade também é refletida no coeficiente de variação calculado.

As estatísticas são agregadas visualmente na Figura 5, que contém o diagrama *box-plot-whisker* e o histograma de ambas as estações.

É possível visualizar a assimetria positiva, característica comum em amostras de vazão afluente, em ambos os histogramas apresentados. A série de PP apresenta 2 *outliers*, enquanto a de SAJ possui o dobro, sendo um deles para período de seca. Tal disparidade na quantidade era esperada, uma vez que o histórico de PP tem metade do comprimento de SAJ. Não coincidentemente, os *outliers* mínimo de SAJ e máximo de PP ocorrem no mesmo ano, sendo este 1983.

Por fim, a FDA empírica e teórica (normal, log-normal 2 parâmetros e log-normal 3 parâmetros) é apresentada na Figura 6. A curva da distribuição log-normal 2 parâmetros apresenta melhor aderência aos dados máximos observados, sendo este o critério de escolha definido.

4 Conclusão

As estatísticas calculadas e seus gráficos permitiram acentuar as diferenças entre a Hidrologia dos dois postos. Dentre os principais contrastes aferidos, a distinção entre o sul e o norte do país exerce maior impacto nos resultados, sendo tal fato corroborado pela alternância de eventos extremos. Além disto, a variabilidade e imprevisibilidade das bacias da região sul são respaldadas pelas estatísticas mensais.

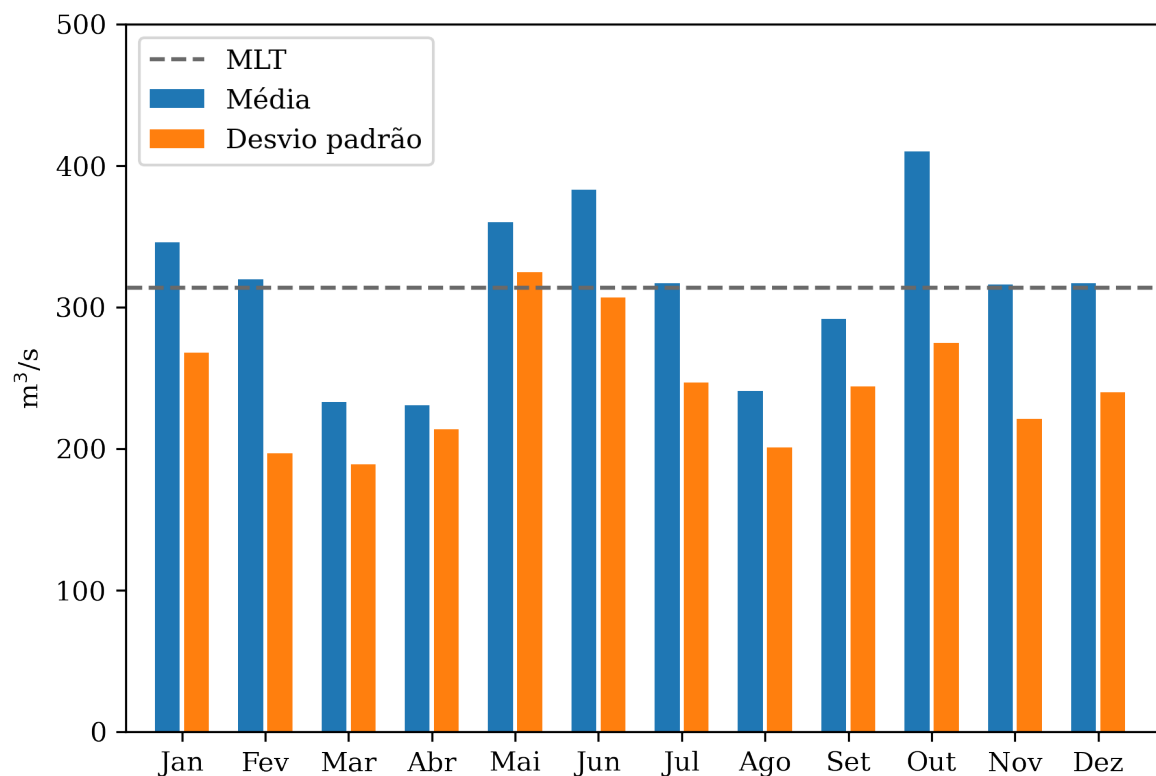
Os impactos da disparidade entre o comprimento das séries ainda não ficaram claros com os resultados obtidos no trabalho. Possivelmente, um teste de hipótese acerca de tendências e homo-

geneidade podem ser impactados com a quantidade de medições, sendo estes recomendados como investigação futura para as séries em questão. Um teste formal de aderência acerca das distribuições também é sugerido como estudo adicional.

Referências

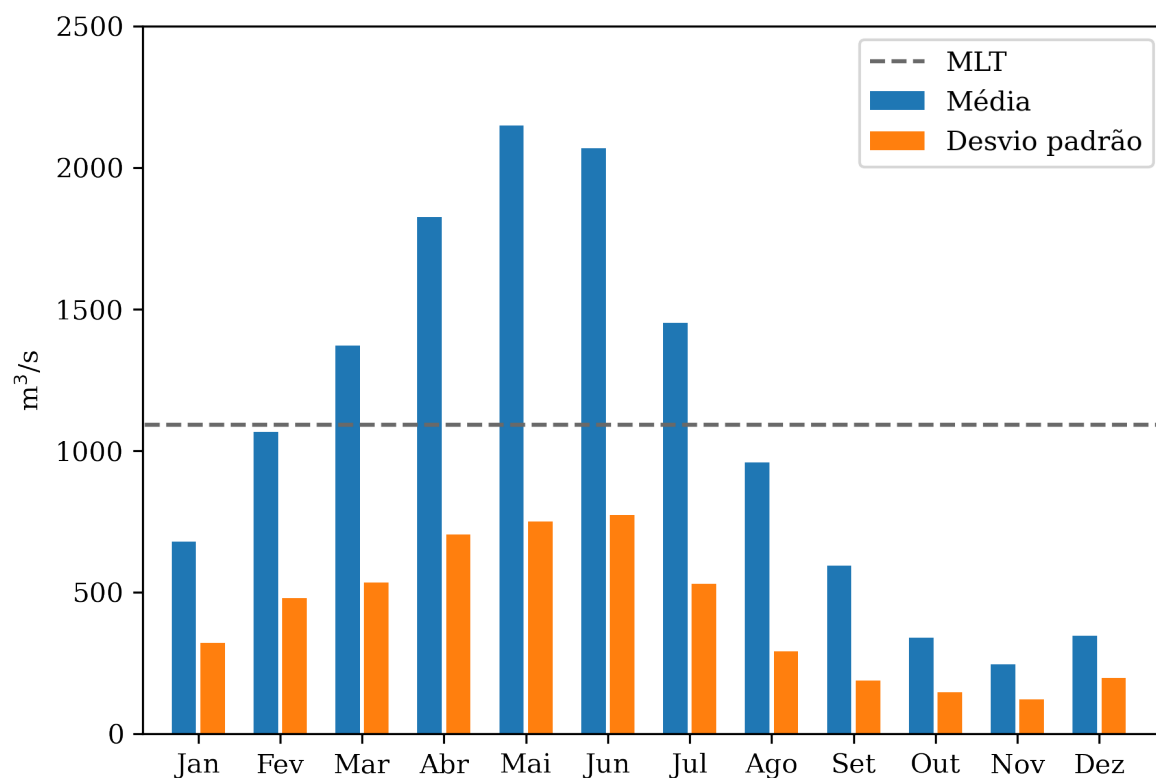
- [1] Agência Nacional de Águas (ANA). *Hidroweb*. URL: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>.
- [2] Charles R. Harris et al. "Array programming with NumPy". Em: *Nature* 585.7825 (set. de 2020), pp. 357–362. DOI: [10.1038/s41586-020-2649-2](https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2). URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>.
- [3] J. D. Hunter. "Matplotlib: A 2D graphics environment". Em: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), pp. 90–95. DOI: [10.1109/MCSE.2007.55](https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55).
- [4] Naghettini M. e Pinto E. J. de A. *Hidrologia Estatística*. CPRM, 2007.
- [5] Projeto MapBiomas. *Coleção 6.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. URL: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>.
- [6] Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). *Séries de vazão naturalizadas - 1931 a 2018*. URL: <https://dados.ons.org.br/>.
- [7] The pandas development team. *pandas-dev/pandas: Pandas*. Versão 1.3.5. Dez. de 2021. DOI: [10.5281/zenodo.3509134](https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134). URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134>.
- [8] Pauli Virtanen et al. "SciPy 1.0: Fundamental Algorithms for Scientific Computing in Python". Em: *Nature Methods* 17 (2020), pp. 261–272. DOI: [10.1038/s41592-019-0686-2](https://doi.org/10.1038/s41592-019-0686-2).
- [9] Michael L. Waskom. "seaborn: statistical data visualization". Em: *Journal of Open Source Software* 6.60 (2021), p. 3021. DOI: [10.21105/joss.03021](https://doi.org/10.21105/joss.03021). URL: <https://doi.org/10.21105/joss.03021>.

Figura 3 – Média e desvio padrão por mês do ano - Ponte do Piquiri



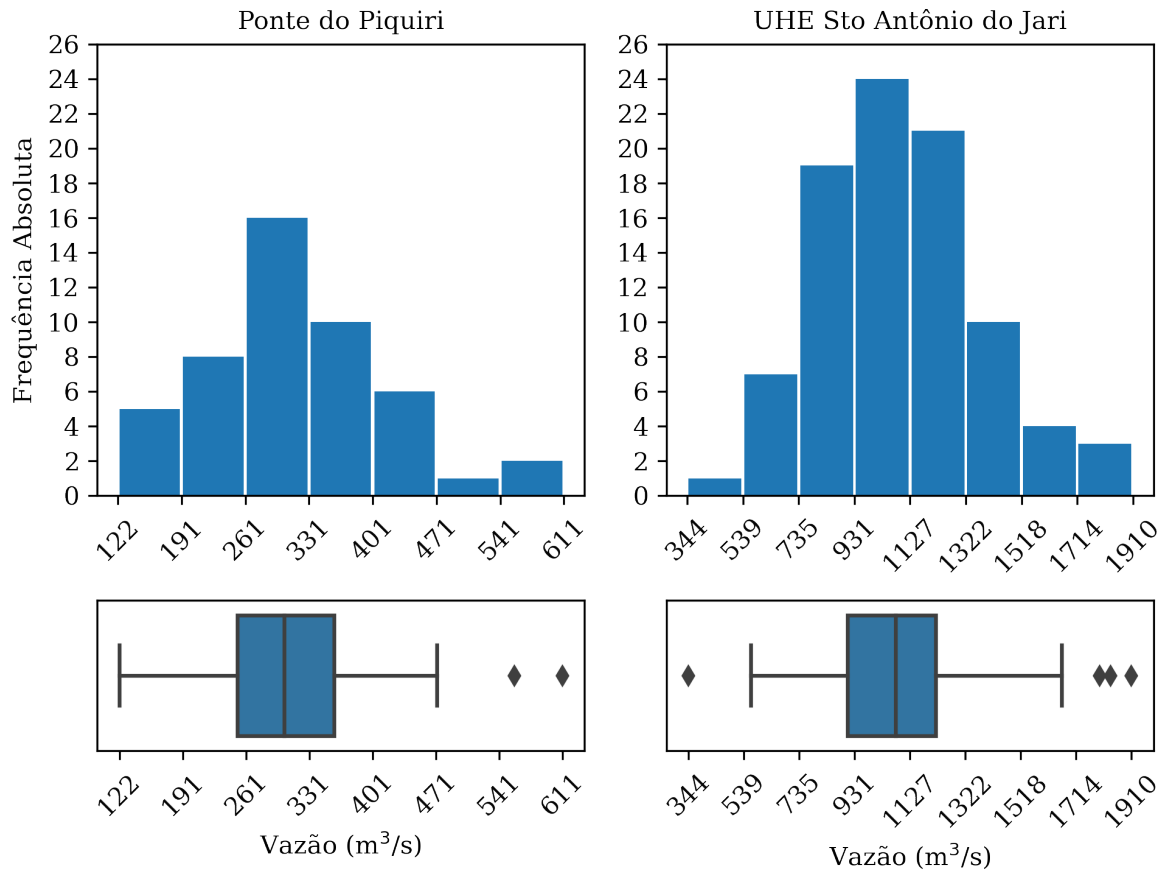
Fonte: A Autora (2021).

Figura 4 – Média e desvio padrão por mês do ano - UHE Santo Antônio do Jari



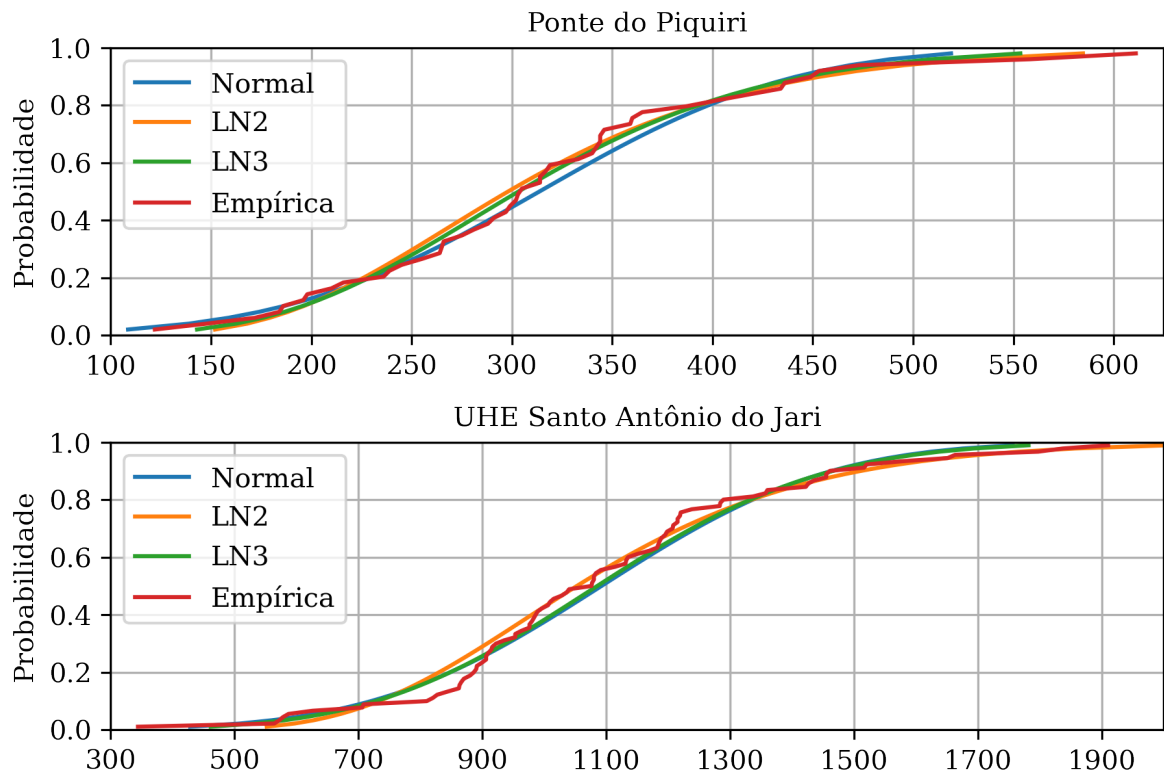
Fonte: A Autora (2021).

Figura 5 – Histograma e diagrama *box-plot-whisker* das séries anuais de afluência



Fonte: A Autora (2021).

Figura 6 – FDA das séries anuais de afluência



Fonte: A Autora (2021).