



ISSN:1984-2295

# Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



## Análise geoestatística das variáveis hidrometeorológicas na bacia hidrográfica do rio Xingu

Bárbara Farias Ribeiro<sup>1</sup>, Dênis José Cardoso Gomes<sup>2</sup>, Joaquim Carlos Barboza Queiroz<sup>3</sup>, Lianne Borja Pimenta<sup>4</sup>, Gustavo Francesco de Moraes Dias<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Possui graduação em Meteorologia pela Universidade Federal do Pará (2020). Atualmente mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais na Universidade Federal do Pará - UFPA (2021) E-mail correspondente: [barbaraoc3@gmail.com](mailto:barbaraoc3@gmail.com)

<sup>2</sup>Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais na Universidade do Estado do Pará - UEPA (2021) e membro do grupo de pesquisa NUPAD - Núcleo de Pesquisas Aplicadas ao Desenvolvimento Regional aplicando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto para investigar as influências climáticas e antrópicas nos cenários hidroambientais, processos erosivos e serviços ecossistêmicos. Meteorologista graduado na Universidade Federal do Pará - UFPA.

<sup>3</sup>Possui graduação em Bacharelado em Física pela Universidade Federal do Pará (1981), mestrado em Geofísica pela Universidade Federal do Pará (1986) e doutorado em Geociências e Meio Ambiente pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003). Atualmente é Professor Titular do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará.

<sup>4</sup>Mestre em Ciências Ambientais, pelo programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) na Universidade do Estado do Pará (2018). Graduada em Tecnologia em GESTÃO AMBIENTAL pela FACULDADE MAURÍCIO DE NASSAU DE BELÉM (2014).

<sup>5</sup>Atualmente é professor do Instituto Federal do Pará - IFPA. Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal Rural da Amazônia (2016). Especialista em Auditoria e Perícia Ambiental pela Universidade Cândido Mendes (2017). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Universidade Cidade de São Paulo (2018). Mestre em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará (2018). Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido da Universidade Federal do Pará.

Artigo recebido em 15/01/2022 e aceito em 13/06/2022

### RESUMO

A questão das mudanças nos níveis dos rios (cheias e vazantes) e a variabilidade da precipitação na região Amazônica é um grande problema, pois atinge diretamente a população local. Deste modo, destaca-se a bacia hidrográfica do rio Xingu localizada nos estados do Mato Grosso e Pará. O objetivo deste trabalho é o uso dos modelos espaços-temporais baseado nas variáveis hidrometeorológicas na caracterização geoestatística de áreas na bacia hidrográfica do rio Xingu. Para análise geoestatística dos dados pluviométricos e fluviométricos utilizou-se: modelos de regressão (avaliar tendências das variáveis), correlação espacial (geoestatísticas), mapeamento de variáveis e uso de modelos espaciais (econometria espacial) e o método k-means (grupos homogêneos) através dos software Microsoft Excel e Programa R- *The R Project for Statistical Computing* 2015. A variabilidade média mensal mostra o período menos chuvoso caracterizado pelos meses de Maio a Outubro se observa oscilações com valores mínimos de 17,4 mm a 155,6 mm ocasionando o período de estiagem na área. A bacia apresenta maiores vazões no trimestre Fevereiro, Março e Abril sendo o maior valor em Março (7937,5 m<sup>3</sup>/s). O estudo de tendência para as duas variáveis mostrou que a média se manteve constante, ou seja, não houve tendência. Os índices de Moran Globais calculados para precipitações (I=0,7521) e vazões (I=7833) indicam que existe uma correlação espacial positiva para as duas variáveis. Os resultados obtidos neste estudo podem contribuir para um maior conhecimento de possíveis relações entre variáveis hidrometeorológicas e auxiliar problemas de variabilidade hidrológicas e seus possíveis danos socioeconômicos e ambientais a comunidade local.

## Geostatistical analysis of hydrometeorological variables in the Xingu river watershed

### ABSTRACT

The issue of changes in river levels (floods and ebb tides) and rainfall variability in the Amazon region is major problem, as it directly affects the local population. So, the Xingu River hydrographic basin located in the state of Mato Grosso and Pará is highlighted. The objective of this work is the use of spatiotemporal models based on hydrometeorological variables in the geostatistical characterization of areas in the Xingu River hydrographic basin. For geostatistical analysis of rainfall and fluviometric data, we used: regression models (evaluating trends in variables), spacial correlation (geostatistics), variable mapping and use of spacial models (spacial econometrics) and the k-means method (homogeneous groups) through Microsoft Excel and R-The R Project for Statistical Computing 2015 software. The monthly average variability shows the least rainy period characterized by the months of May to October, with oscillations with minimum values from 17.4 mm to 155.6 mm, causing the dry period in the area. The basin presents the highest inflows in the February, March and April quarter, with the highest value in March (7937.5 m<sup>3</sup>/s). The trend study for the two variables showed that the mean remained constant, that is, there was no trend. The Global Moran indices calculated for rainfall (I=0.7521) and outflows (I=7833) indicate that there is a positive spatial correlation for the two variables. The results obtained in this

study can contribute to a greater understanding of possible relationships between hydrometeorological variables and help problems of hydrological variability and their possible socioeconomic and environmental damage to the local community.

## Introdução

Bacia hidrográfica é uma região hidrológica natural onde o escoamento da água é influenciado pelas suas feições topográficas, ou seja, a drenagem hídrica é escoada até recarregar o rio principal (Sukristiyanti; Lestiana, 2017; Narendra et al., 2021). Ainda de acordo com Narendra et al. (2021), a delimitação da área de uma bacia hidrográfica considera questões políticas e socioeconômicas com a finalidade de uma melhor gestão dos recursos da região.

As abordagens de planejamento e gerenciamento ambiental utilizando a bacia hidrográfica como unidade de estudo têm evoluído bastante (Carvalho, 2020). A caracterização tem grande aplicação como indicador para previsão do grau de vulnerabilidade da bacia a fenômenos como enchentes, inundações e processos erosivos, dentre outros (Cardoso et al., 2006; Gomes et al., 2021), além de ser uma informação que auxilia na compreensão dos eventos pluviais e suas consequências (Ventura, 2011; Santos et al., 2019).

Para realizar tais análises, muitos estudos foram feitos com base em dados de precipitação e vazão (Betancur et al., 2020; Cirilo et al., 2020; Tozzi; Fill, 2020), mostrando a importância de tais medições. Deste modo, vários trabalhos foram desenvolvidos com diversas finalidades como modelos que representem a relação das chuvas diárias no fluxo dos rios (Teng et al., 2017), impactos das mudanças climáticas na vazão dos rios (Chakilu et al., 2020), analisar o risco de desastres naturais (Brunner et al., 2021), avaliar o grau de qualidade e precisão de modelos (Golmohammadi et al., 2014; Sarnighausen et al., 2021), entre outros.

Conhecer a distribuição espacial da precipitação pluvial é essencial para a avaliação do comportamento desta variável aplicado na modelagem hidrológica de bacias hidrográficas (Li et al., 2010; Nascimento et al., 2021), na dinâmica de rios (Cuartas et al., 2012), eventos extremos como enchentes e estiagem (Keenan et al., 2014). A constante circulação de pessoas e bens pelos rios é afetada diretamente pela sazonalidade, assim, é possível que os habitantes das margens dos rios e dependentes deste recurso para a execução de suas atividades diárias, busquem adaptar-se a estas

mudanças (Sampaio et al., 2012 Zuanon et al., 2019).

Com a necessidade de entender a variabilidade do nível do rio e minimizar danos causados a população ribeirinha, surgem os modelos estatísticos de previsão de enchentes (Singh, 2018; Jimenez et al., 2019; Wang et al., 2021), modelos mais necessários e precisos que funcionam através de dados de estações pluviométricas e fluviométricas. Os modelos espaço-temporais são modelos mais recentes e constituem uma área com grande potencial para pesquisa, e geralmente são construídos de forma a representar probabilisticamente o comportamento das variáveis (Koch et al., 2015).

A Bacia Hidrográfica do rio Xingu (BHX) está situada dentro dos estados do Pará e do Mato Grosso, em que abrange cerca de 509,7 mil km<sup>2</sup>. Representa um dos principais contribuintes da margem direita do rio Amazonas, além disso, grande parte do seu território é recoberto por áreas protegidas (unidades de conservação e terras indígenas) (Villas-Bôas, 2012 Santos et al., 2019).

O objetivo deste trabalho é o utilizar modelos espaços-temporais de precipitação e vazão para a caracterização geoestatística de variáveis hidrometeorológicas na bacia hidrográfica do rio Xingu.

## Material e métodos

### Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Xingu (Fig. 1) está localizada no estado do Mato Grosso e Pará no sentido sul-norte. A área total consiste em aproximadamente 531.250 km<sup>2</sup>, sendo que 40,8 % do território pertencem ao Estado do Mato Grosso e 59,2 % ao Estado do Pará (Lucas, 2007).

Seus principais cursos d'água no Pará: rios Xingu, Irirí, Curuá, Fresco, Bacajá, Caeté, Ximxim e Chiche (Dias et al., 2015). Abrange uma área de drenagem de aproximadamente 520.00 km<sup>2</sup> e cerca de 2.000 km de comprimento, com vazão média entre 2.582 e 9.700 m<sup>3</sup>/s (Pettina et al., 1980; Latrubesse et al., 2002). A cobertura vegetal original é do tipo floresta tropical densa e o clima é tropical úmido. A pluviosidade se aproxima de 2.000 mm a 2500 mm anuais, mas é irregular durante o ano.

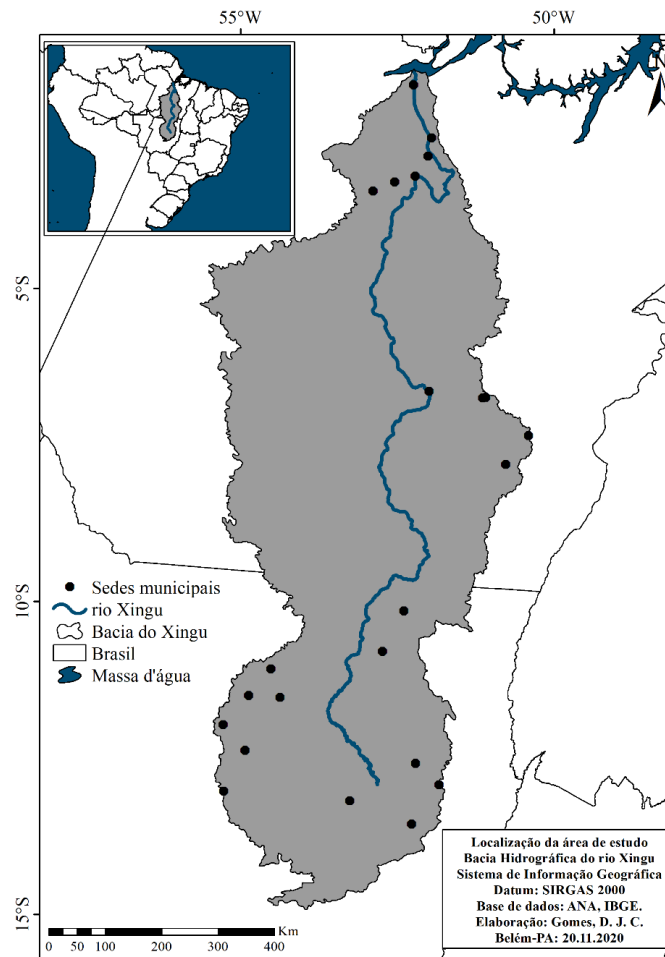


Figura 1. Localização da área de estudo: Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: ANA (2021); IBGE (2021). Adaptado por autor (2020).

### Aquisição e Processamento de dados

Os dados de precipitação e vazão mensal foram adquiridos na plataforma da HidroWeb, que disponibiliza medições dos pluviômetros distribuídos espacialmente pela Agência Nacional de Águas (Ana, 2020). E dispõe-se de uma série temporal dedados no período de 1972 a 2016.

O mapeamento da distribuição da vazão realizado com o uso da geoestatística utilizou-se uma ferramenta denominada semivariograma para a caracterização do padrão espacial da variável em estudo. Os conceitos e aplicações da geoestatística podem ser encontrados em livros textos (Journel, 1988; Deustch; Journel, 1997; Goovaerts, 1997).

Segundo Goovaerts (2000) e Millán et al. (2019) o principal modelo de semivariograma, referido como modelo esférico (Eq. 1) é expresso matematicamente, em termos gerais, como:

$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 & \text{para } h = 0 \\ \gamma(h) &= C_0 + C \left( \frac{3a}{2h} - \frac{a^3}{2h^3} \right) & \text{para } 0 < h \leq a \\ \gamma(h) &= C_0 + C & \text{para } h > a \end{aligned} \quad \text{Eq. 1}$$

onde  $C_0$  é a variabilidade aleatória inerente das amostras na distância zero, denominado efeito pepita. A distância na qual as amostras tornam-se independente umas das outras é representada por  $a$ , referida como a faixa de influência (ou alcance).

A semivariância constante onde os valores de  $\gamma(h)$  são nivelados a distâncias maiores do que  $a$ , é representada por  $C_0 + C$ , onde  $C$  é referido como o *sill* do semivariograma. Os parâmetros do modelo são determinados iterativamente por meio do ajuste do modelo aos resultados da análise do semivariograma amostral, esse modelo resultante é uma medida da variabilidade da amostra e, assumindo que as amostras são representativas, uma medida da variabilidade da variável regionalizada.

A estimativa de valores de uma variável regionalizada em áreas não amostradas pode ser realizada pela aplicação de técnicas geoestatísticas como a krigagem (Ananias et al., 2021). A krigagem é a designação adotada na geoestatísticas para uma família de algoritmos de regressão por mínimos quadrados baseados no

estimador de regressão linear  $Z^*(u)$  como o modelo mostrado na Fig. 2 e definido na Eq. 2.

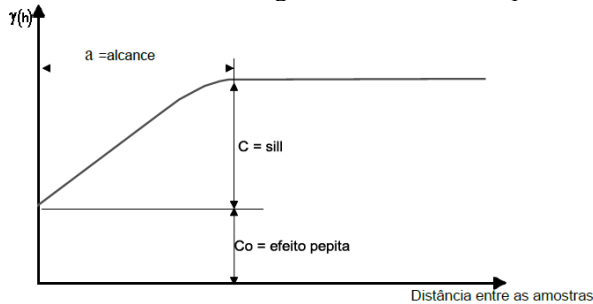


Figura 2. Modelo de semivariograma esférico.

$$Z^*(u) - m(u) = \sum_{\alpha=1}^n \lambda_{\alpha}(u) [Z(u_{\alpha}) - m(u_{\alpha})] \quad (\text{Eq. 2})$$

onde  $\lambda_{\alpha}(u)$  é o peso atribuído a cada valor observado  $Z(u_{\alpha})$  localizado dentro de determinada vizinhança  $W(u)$  centrado na localização  $u$ . Os pesos  $\lambda_{\alpha}(u)$  são calculados de forma a minimizar a estimação ou erro da variância  $\sigma^2(u) = \text{Var}[Z^*(u) - Z(u)]$ . Sob a condição de não tendenciosidade do estimador.

Uma série temporal (ST) pode ser definida como um conjunto de observações,  $Y_t$  em função do tempo (Moretini; Toloi, 2004). As principais ferramentas utilizadas para análise de séries temporais são: as funções de autocorrelação e autocorrelação parcial. A função autocorrelação (FAC) representa a correlação simples entre  $Y_t$  e  $Y_{t-k}$  em função da defasagem  $k$ . A função de autocorrelação de uma ST  $\{Y_t\}$  pode ser definida como a Eq. 3.

$$\rho = \frac{\sum_{t=0}^{N-k-1} (Y_t - \bar{Y})(Y_{t+k} - \bar{Y})}{\sum_{t=0}^{N-1} (Y_t - \bar{Y})^2} \quad (\text{Eq. 3})$$

onde,  $N$  representa o comprimento da ST e  $\bar{Y}$  é o valor esperado das observações, calculada para a variação temporal (atraso)  $k$ . O coeficiente de autocorrelação ( $\rho$ ) de uma ST varia entre  $-1$  e  $1$ , inclusive. Se  $\rho$  assume o valor  $1$ , então, diz-se que as duas variáveis medidas possuem uma autocorrelação positiva absoluta, caso contrário, se  $\rho = -1$ , diz-se que a autocorrelação negativa é absoluta. Quando  $\rho$  assume valor  $0$ , não existe autocorrelação entre as variáveis, ou seja, considera-se que as observações são independentes.

A função autocorrelação parcial (FACP) representa a correlação entre  $Y_t$  e  $Y_{t-k}$  como uma função da defasagem  $k$ , filtrado o efeito de todas as outras defasagens sobre  $Y_t$  e  $Y_{t-k}$ . A função de autocorrelação parcial é definida como a sequência de correlações entre  $(Y_t \text{ e } Y_{t-1})$ ,  $(Y_t \text{ e } Y_{t-2})$ ,  $(Y_t \text{ e } Y_{t-3})$  e assim por diante, desde que os efeitos de defasagens anteriores sobre  $t$  permanecem constantes. A FACP é calculada como o valor do coeficiente  $\phi_{kk}$  na Eq. 4:

$$Y_t = \phi_{k1}Y_{t-1} + \phi_{k2}Y_{t-2} + \phi_{k3}Y_{t-3} + \dots + \phi_{kk}Y_{t-k} + u_t \quad (\text{Eq. 4})$$

O modelo desenvolvido pela metodologia de Box-Jenkins (Box; Tiao, 1976; Etuk et al., 2017), conhecido como ARIMA (AutoRegressivo Integrado Médias Móveis), consiste basicamente de uma função de regressão populacional para  $Y_t$  em que há apenas 2 tipos de “variáveis explicativas”: a parte “auto-regressiva”, que representa os valores passados de  $Y_t$  e a parte “médias móveis”, que representa valores presente e passado do distúrbio normal  $u_t$  (ou “inovação”). A forma geral da equação (Box; Tiao, 1976; Salame et al., 2019) é descrita na Eq. 5.

$$Y_t = \phi_1Y_{t-1} + \dots + \phi_pY_{t-p} + u_t - \theta_1u_{t-1} - \dots - \theta_q u_{t-q} \quad (\text{Eq. 5})$$

onde  $p$  é a defasagem máxima de  $Y_t$  presente na equação,  $q$  é a defasagem máxima de  $u_t$  (médias móveis) presente na equação e  $\phi_p$  e  $\theta_q$  são os parâmetros (autorregressivos e média móveis, respectivamente) do modelo ao determinar.

O tipo (autorregressivo ou médias móveis) e a quantidade de parâmetros a serem usados nos modelos são determinados pela análise das FAC e FACP. Livros texto como Moretini e Toloi (2004), mostram como é feita a escolha dos parâmetros por meio da análise das FAC e FACP. A classe de modelos ARIMA é extremamente flexível, capaz de produzir com poucos parâmetros séries temporais com os comportamentos mais variados. Em geral, os modelos são apresentados na forma de equações que incluem os operadores  $B$  que são operadores diferença,  $B^k Y_t = Y_t - k$ , como a Eq. 6.

$$\phi(B)\Delta^d Z_t = \theta(B)a_t \quad (\text{Eq. 6})$$

em que  $\phi$  e  $\theta$  são os parâmetros autorregressivos e médias móveis a serem estimados  $\Delta^d = (1 - B)^d$  é o operador diferença, utilizado para tornar a série estacionária se for necessário.

Utilizou-se para o estudo de tendência para as precipitação e vazões os modelos de tendência linear para as séries mais longas de precipitação e vazão na bacia do rio Xingu. A obtenção da tendência foi realizada através de um modelo de regressão linear (Wanderley; Bunhak, 2016) aplicada para a tendência da precipitação e vazão em estudo representado pela Eq. 7.

$$T = b \times t + a \quad (\text{Eq. 7})$$

onde  $T$  é o valor da tendência,  $t$  é o valor do tempo, no caso linear  $b$  é o coeficiente angular da reta (se positivo indica tendência crescente, se negativo a tendência é decrescente) e  $a$  é o coeficiente linear da reta.

Para o estudo da correlação espacial foi aplicado o semivariograma (Ly et al., 2011). Para a construção de mapas é necessário construir uma malha regular sobre a área de estudo e a estimativas dos valores das variáveis (precipitação e vazão) por um método de interpolação da geoestatística denominado krigagem (Cerón et al., 2021). Através destas técnicas, dentre as quais se destacam a krigagem e a simulação estocástica, é possível estimar ou simular um valor de uma dada propriedade (fácies, permeabilidade, porosidade etc.) para um determinado local do espaço sem amostras (por exemplo, uma célula de uma malha tridimensional), valor este condicionado aos dados existentes (dados de poços, sísmica, amostras de solo, chuva, etc.) e a uma função de correlação espacial entre estes dados.

A correlação espacial da ocorrência de casos de uma ou entre duas variáveis em áreas poligonais (que podem representar municípios, estados, bairros, etc.), usam modelos de econometria espacial. Em que indicam uma possível influência da variável (ou de uma variável em relação à outra) nas áreas vizinhas, como o Índice Global de Moran (IGM) (Treppiedi et al., 2021) indica se há correlação espacial e o Índice Local de Moran (ILM) (Javari, 2017) mostra os locais onde as correlações são significativas.

Uma forma de se fazer a caracterização de populações é por meio da formação de grupos (ou regiões) homogêneas em relação a determinada (ou determinadas) variável. O método K-Means apresenta um procedimento simples de classificar um determinado conjunto de dados através de certo número de grupos fixados (Demidenko, 2016).

De acordo com a ideia de Uchenna e Iheanyi (2020), definiu-se  $k$  centroides, um para cada grupo, que devem ser colocados o máximo possível longe um do outro. O próximo passo é tomar cada ponto pertencente a um determinado conjunto de dados e associá-lo ao centroide mais próximo. Quando nenhum ponto estiver pendente, o primeiro passo é concluído e um agrupamento inicial é feito. Neste ponto, deve-se recalcular  $k$  novos centroides como baricentros dos grupos resultantes do passo anterior.

Em seguida, deve-se fazer uma nova ligação entre os mesmos pontos de ajuste de dados

e o centroide novo mais próximo. Um loop foi gerado e com o resultado deste loop, pode-se notar que os  $k$  centroides mudam sua localização passo a passo até que não haja mais alterações feitas. Finalmente, esse algoritmo visa minimizar uma função objetiva, neste caso, uma função de erro ao quadrado definida pela Eq. 8.

$$J = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^j - c_j\|^2 \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde  $\|x_i^j - c_j\|^2$  é uma medida de distância escolhida entre um ponto de dados e o centro do grupo (MacQueen, 1967).

O software utilizado durante todo o processo do estudo foi software gratuito R - The R Project for Statistical Computing (R Version 3.1.1), que é uma linguagem de programação estatística e gráfica para análise e visualização dos dados. No procedimento de tabulação de dados foi usado o software Excel. Para procedimentos operacionais envolvendo produções de alguns mapas ocorreu em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG).

## Resultados e discussão

### Precipitação

Foi construído o mapa das precipitações médias com auxílio da geoestatística (Fig. 2). Observa-se precipitações médias, que nos municípios de Claudia, Sinope Santa Carmem estão mais ao sul da bacia com os valores mais altos de precipitações (170 mm). Ao norte da BHX, nos municípios de Brasil Novo e Vitória do Xingu também se observa valores relativamente elevados de precipitação (150 mm-170 mm). Nos municípios de São Felix do Xingu, Altamira e na maior parte da bacia prevalecem valores médios de precipitação variando entre 130 a 150 mm. Devido ao aumento da frequência de eventos extremos (Hirabayashi et al., 2008; Silva et al, 2020), o estudo da variabilidade espacial da precipitação torna-se cada vez mais imprescindível. Informações espaciais sobre a variação temporal mensal e trimestral da precipitação pluviométrica é de grande importância para o gerenciamento de recursos hídricos disponíveis tanto para a agropecuária, quanto para o abastecimento urbano, além de ser importante em estudos climatológicos e meteorológicos, bem como suporte técnico para mitigação de desastres naturais.



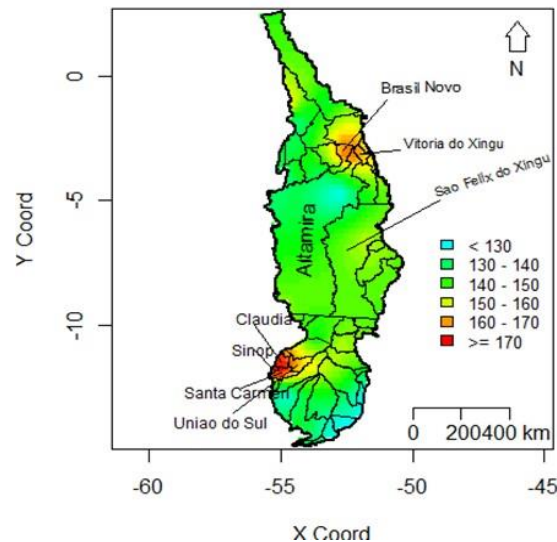


Figura 2. Variabilidade espacial mensal pluviométrica: Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: ANA (2021). Adaptado por autor (2021).

Aplicando a técnica de interpolação por krigagem a partir dos semivariogramas teóricos ajustados, se obtiveram os mapas (Fig. 3). Representado as medias das vazões estudadas na bacia. Os resultados de vazões médias mostraram que ao Sul da bacia nos municípios de Claudia, Sinop e Santa Carmem com os valores menores em

torno de ( $250 \text{ m}^3/\text{s}$ ). Dentro dos municípios de Altamira e São Felix do Xingu observa-se os valores mais altos de vazão (acima de  $2.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ). No centro Oeste da bacia há variação de vazões com valores são intermediários entre ( $250 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $1.000 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

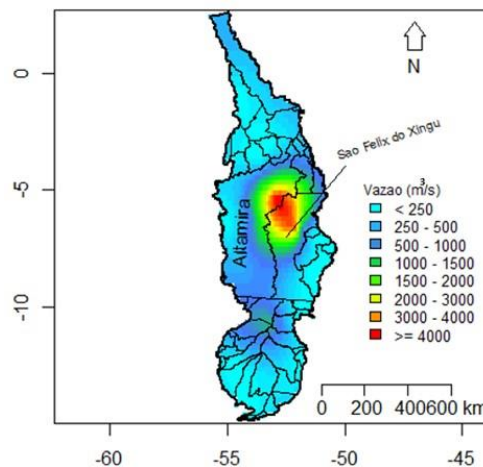


Figura 3. Variabilidade espacial mensal da vazão: Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: ANA (2021). Adaptado por autor (2021).

O conhecimento da vazão de um rio ou de um corpo hídrico é extremamente relevante para criar planos de manejo sustentáveis, controle de cheias, dimensionamento de barragens, liberação de outorgas além de solução de conflitos hídricos entre os diversos usuários da água (agricultura, consumo humano, dessedentação de animais, etc) (ANA, 2011). A Fig. 4 descreve a variabilidade mensal da vazão do rio Xingu, em que se destaca as maiores vazões nos meses de fevereiro ( $6.643,4 \text{ m}^3/\text{s}$ ), março ( $7.937,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e abril ( $7.589,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ),

associados aos maiores valores de precipitações nesses meses. Os trimestres com menores valores estão nos meses de agosto ( $1.049,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ), setembro ( $908,9 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e outubro ( $1.001,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

A vazão conforme é apresentada por Genz et al. (2008) e Fernandes et al. (2021), é de suma importância para os períodos de seca, onde a precipitação pluviométrica possui uma menor intensidade, podendo acarretar problemas relacionados ao abastecimento de água urbano e de pequenas centrais hidrelétricas.

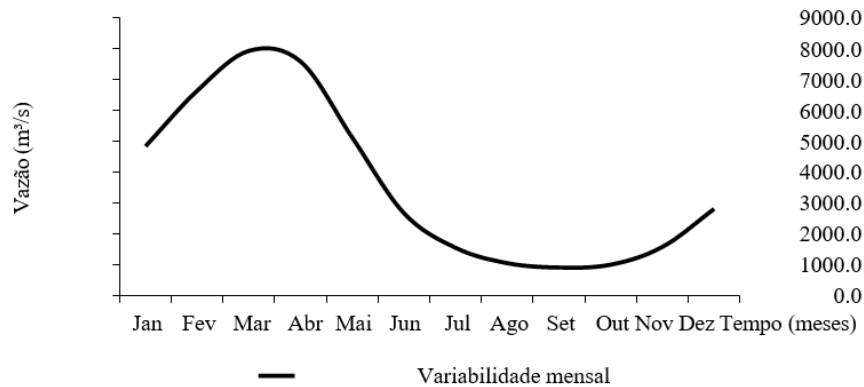


Figura 4. Variabilidade média mensal da vazão (1978-2018): Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: ANA (2020). Adaptado por autor (2021).

#### *Estudo de Tendência Linear*

A utilização de métodos para tratamento de dados e a verificação de tendências em séries históricas são indispensáveis em estudos e pesquisas que avaliam comportamentos ao longo do tempo. Esses dois fatores, muito utilizados e relacionados nas áreas de hidrologia e climatologia, colaboram para se evitar dificuldades de interpretação dos dados ou análises equivocadas (Diniz, 2002; Souza; Nascimento, 2020) e auxiliam na caracterização e variabilidade do objeto em análise.

A precipitação é caracterizada como o elemento mais importante do ciclo hidrológico, sendo a variável climática de maior variabilidade temporal e espacial (Almeida et al., 2014; Sena et al., 2019). Desta forma, o conhecimento e o

entendimento de alterações climáticas em escala local ou global apresenta relevância em vários ramos da pesquisa, em especial, os que tratam dos regimes de precipitação (Kostopoulou; Jones, 2005). Desta maneira, o estudo da tendência temporal da precipitação é fundamental, pois analisando as séries históricas, é possível verificar o comportamento da precipitação, auxiliando na gestão de recursos hídricos.

Utilizamos duas estações diferentes com o conjunto das séries mais longas no tempo. Para a variável precipitação utilizamos as estações do nosso conjunto de dados, que são referentes a estação Arapari (Monte Alegre) e Monte Alegre do Xingu (Altamira) representadas pelas Figs. 6a e 6b respectivamente. Em ambos os pontos observados detectou-se uma tendência de aumento da precipitação.

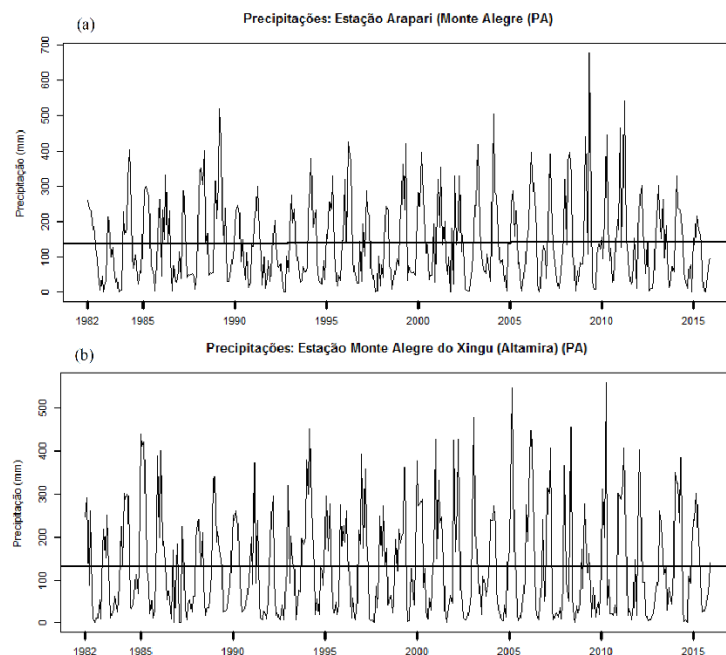


Figura 6. Tendência de precipitação (1982-2016) do (a) Arapari e (b) Altamira: Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: ANA (2021). Adaptado por autor (2021).

Na Tab. 1 são apresentados os resultados do modelo de tendência linear primeiramente para a precipitação. Observa-se que a média se manteve constante nessa variável, ou seja, não houve tendência, onde a estação Arapari o coeficiente

angular  $\beta_1$  (de tendência), foi mais significativo que a estação Monte Alegre. Em que pode-se afirmar que as estimativas dos coeficientes  $\beta_1$  (de tendência) foram estatisticamente não significativos durante o período estudado.

Tabela 1. Modelos de tendência linear para precipitação ( $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$ ).

| Série Precipitação (mm) | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $t(\beta_1)$ | $Prob(\beta_1) > t$ |
|-------------------------|-----------|-----------|--------------|---------------------|
| Arapari (Monte Alegre)  | 136.958   | 0.02100   | 0.43         | 0.667 NS            |
| Monte Alegre (Altamira) | 131,867   | -0,0014   | -0.028       | 0.978 NS            |

$\beta_0$  = constante;  $\beta_1$  = coeficiente angular;  $\varepsilon$  = erro; Significativo a 5%; NS = Não significativo.

A vazão de cursos d'água é uma das principais variáveis para avaliar a disponibilidade hídrica e, atualmente, tem sido intensamente estudada, visto que pequenas flutuações geram significativos impactos sociais e econômicos (Costa; Alves, 2011; Melo et al., 2020).

O comportamento da vazão durante o período de estudo analisado, para as duas séries mais longas localizadas nas estações, com início no ano de 1972 a 2016 para a estação Arapari (Fig. 7a) e de 1971 a 2014 para a estação Altamira (Fig. 7b). Identificou-se que na estação Arapari houve um aumento de tendência mais significativo.

Os resultados do modelo de tendência linear são descritos na Tab. 2, indicando a ausência de tendência no período considerado.

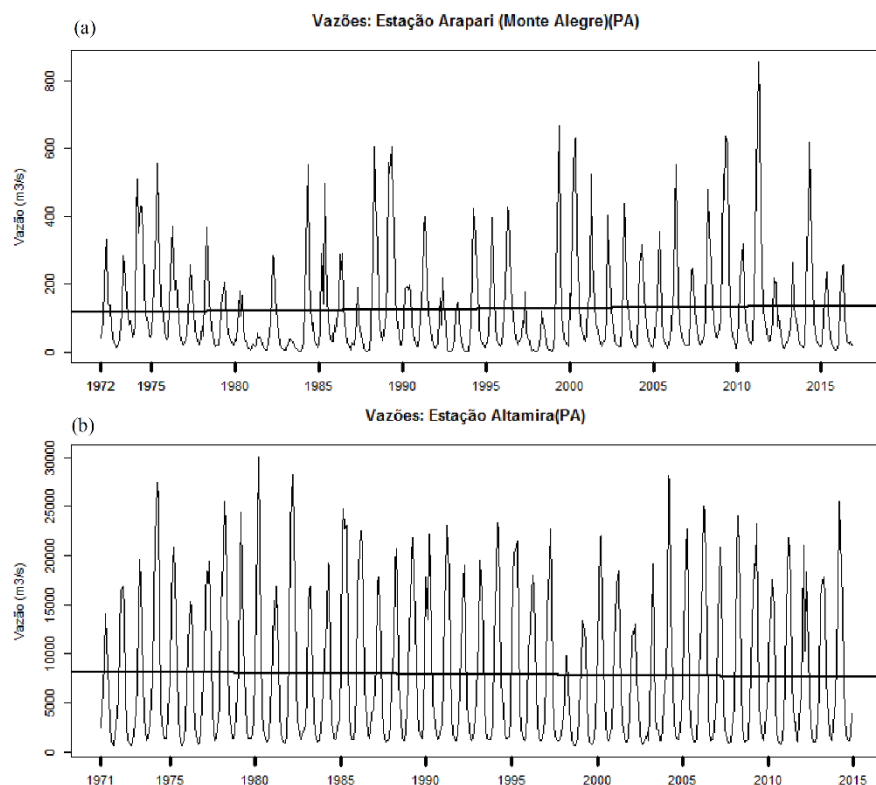


Figura 7. Tendência de vazão (1972-2016) do (a) Arapari e (b) Altamira: Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: ANA (2021). Adaptado por autor (2021).



Tabela 2. Modelos de tendência linear para vazão ( $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$ ).

| Série Vazão ( $m^3/s$ ) | $\beta_0$ | $\beta_1$ | $t(\beta_1)$ | Prob ( $\beta_1$ ) > t |
|-------------------------|-----------|-----------|--------------|------------------------|
| Arapari (Monte Alegre)  | 116.508   | 0.039     | 0.992        | 0.321 NS               |
| Monte Alegre (Altamira) | 8213.173  | -0.966    | -0.466       | 0.641 NS               |

Fonte: Autor.

$\beta_0$  = constante;  $\beta_1$  = coeficiente angular;  $\varepsilon$  = erro; Significativo a 5%; NS = Não significativo.

### Correlação Espacial entre Precipitação x Vazão: Índice de Moran Global

Foram consideradas as médias das precipitações e vazões acumuladas em cada município da BHX e avaliada existência de correlação espacial dessas variáveis entre os municípios. O IMG mede

o grau de correlação entre pares de variáveis ponderados pela proximidade geográfica, ou seja, atribui um único valor como medida de associação espacial para todo o conjunto de dados (Bezerra Filho et al., 2007).

Os IMG's calculados para precipitações ( $I = 0,7521$ ) e vazões ( $I = 0,7833$ ) indicam que existe uma correlação espacial positiva para as duas variáveis como observa-se nas Fig. 8. No gráfico de dispersão, temos a representação dos 51

municípios, sendo que, no eixo x são representadas as precipitações (ou vazões) padronizadas e no eixo y são representadas as precipitações (ou vazões) médias das áreas vizinhas a cada município. Pontos próximos à origem dos eixos (0,0) indicam baixas precipitações (ou vazões) no município e vizinhanças. Neste caso, pode-se afirmar que precipitações e vazões nos municípios, influenciam os municípios vizinhos.

Uma vez calculado, o IMG, deve-se verificar a sua significância estatística. Para estimar a significância do índice, a abordagem mais comum é um teste de pseudo-significância (Câmara et al., 2004). O teste de significância (Fig. 8) para os respectivos IMG e IML, em que se pode observar a correlação espacial significativa, ou seja, diferente de zero.

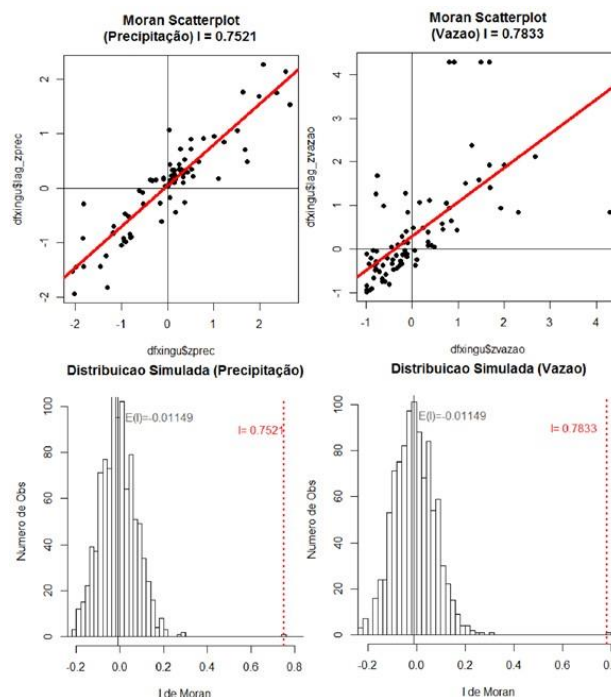


Figura 8. Índice de Moran Global e teste de significância: Precipitação e vazão.

Os mapas mostram os resultados para o IML. Para precipitações (Fig.9a), observa-se que os municípios ao norte da sub-bacia (como Brasil Novoe Vitoria do Xingu) e ao sudoeste (Sinop e Claudia, por exemplo) apresentam correlação espacial positiva, ou seja, municípios com alta ocorrência de precipitação influenciam altas precipitações em municípios vizinhos.

Alguns municípios ao sul (em azul) mostram correlação negativa, ou regiões de transição. Neste caso, municípios com baixas precipitações podem estar circundados municípios com alta precipitação. São responsáveis pela alta correlação espacial positiva. Esses resultados indicam que esses locais com alta (ou baixa) ocorrência de precipitação estão influenciando os municípios vizinhos.

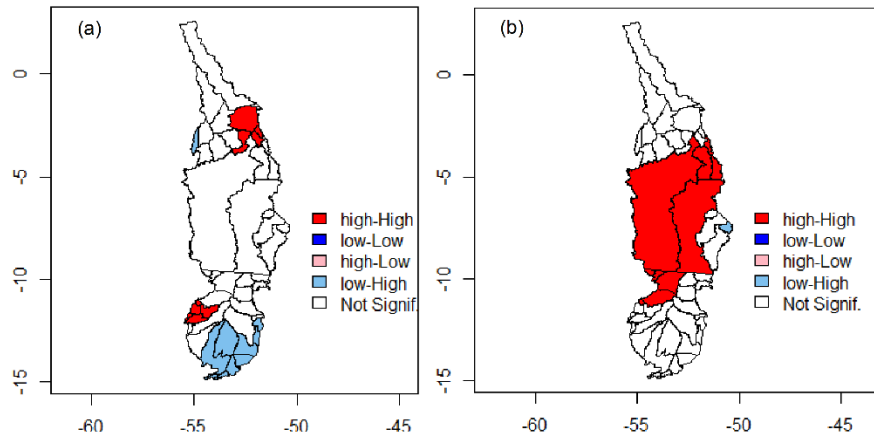


Figura 9. Índice de Moran Local para a precipitação (a) e vazão (b): Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: Autores (2021).

#### Caracterização da bacia do rio Xingu segundo as vazões pelo método k-means

Foi feita uma caracterização da BHX com base nos regimes de vazão estudados. Neste caso, foram estimadas, com base no método

geoestatísticas da krigagem, as vazões médias mensais no período de 1971 a 2016 (Fig. 10), compondo os regimes de vazão de cada um dos 76 municípios BHX. Os resultados são apresentados na Tab. 3.

Tabela 3. Grupos de vazões nos municípios da bacia do Xingu.

| GRUPO | MINIMO | MÉDIA  | MEDIANA | MÁXIMO | N  |
|-------|--------|--------|---------|--------|----|
| 1     | 0.0    | 587.8  | 435.8   | 1624.0 | 18 |
| 2     | 0.0    | 284.3  | 201.9   | 1365.2 | 24 |
| 3     | 752.7  | 3718.0 | 2577.0  | 8566.0 | 1  |
| 4     | 208.4  | 1026.0 | 777.4   | 3497.0 | 8  |

Fonte: Autor (2020).

Para uma visualização geral das vazões sobre a sub-bacia do Xingu, foram criados para cada estação correspondente, o regime de vazões mensais no período de 1971 a 2016. Na Fig. 10 são apresentados os resultados para o grupo 1 que correspondem a 17 estações selecionadas da bacia. Pode-se observar que os regimes de vazão

apresentam padrões bastante diferenciados, como no primeiro semestre em que os valores de vazões estão elevados, em decorrência da influência do aumentada precipitação nesse período. Enquanto no segundo semestre os regimes de vazões encontram-se mais baixo em todas as estações da BHX. A distribuição espacial da precipitação

influencia diretamente o regime hidrológico da bacia amazônica e o comportamento de subida

(cheia) e descida (vazante) dos níveis ou cota dos rios amazônicos (Santos, 2008; Sousa, 2022).

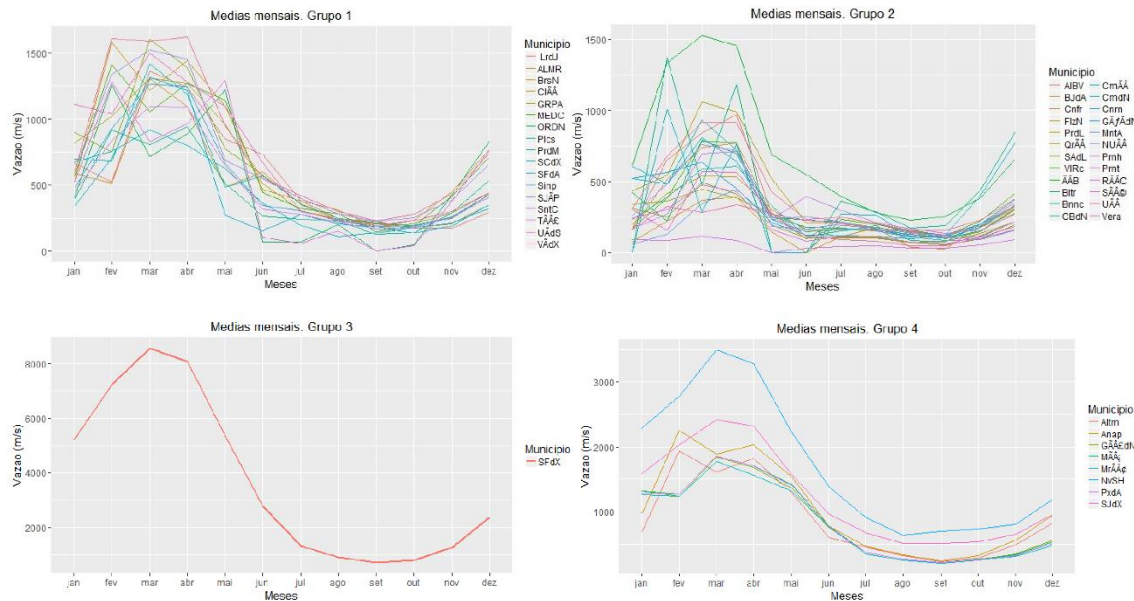


Figura 10. Vazões médias mensais das estações selecionadas (1971 a 2016) para os Grupos (1-4): Bacia Hidrográfica do rio Xingu. Fonte: Autores (2020).

No grupo 2 esses regimes diferenciados de vazões são representados por 24 estações, onde se observar que os padrões de vazões são bastante diversificados as maiores amplitudes de vazão que se destaca é do município Vitória do Xingu (1500 m<sup>3</sup>/s). O grupo 3 é representado pelo município São Felix do Xingu, onde identifica-se no primeiro semestre a amplitude da vazão que se destaca é no mês de março (8.000 m<sup>3</sup>/s), enquanto no segundo semestre os valores diminuem em torno de (2.000 m<sup>3</sup>/s). São apresentados os resultados para o grupo 4 que correspondem as 7 estações selecionadas, e destaca-se o município de Marcelândia (3.000 m<sup>3</sup>/s), em seguida o município de Altamira (2.500 m<sup>3</sup>/s) e os outros municípios entre (2.000 a 1.000 m<sup>3</sup>/s).

Em seguida, com o uso do método *k-means*, pode-se comparar os regimes de vazão de cada município (Fig. 11) e, a partir desta análise, a BHX foi dividida em 4 regiões com regimes de vazão característicos. Os grupos 1 e 2, com menores

vazões, indicados pelos municípios com cores amarela e vermelha e municípios com cores azul e verde caracterizando municípios com maiores vazões. Os municípios dos grupos 1 e 2 localizam-se principalmente ao norte e sul da bacia, enquanto os municípios do grupo 3 (Altamira) e 4 estão na região central da BHX.

As análises das variáveis hidrometeorológicas na BHX mostrou o quanto a precipitação é a principal moduladora da vazão. Estudos de precipitações e vazões na BHX devem considerar as relações espaciais para essas variáveis, uma vez que essas relações interferem nos resultados. A BHX apresenta regimes de vazões bastante diferenciados, podendo considerar 4 padrões de vazões na sua caracterização. Padrões de vazões mais elevados predominam no estado do Pará (valores médios acima de 587,7 m<sup>3</sup>/s), no estado do Mato Grosso predomina os regimes de vazões mais baixos (valores médios em torno de 284,3 m<sup>3</sup>/s).

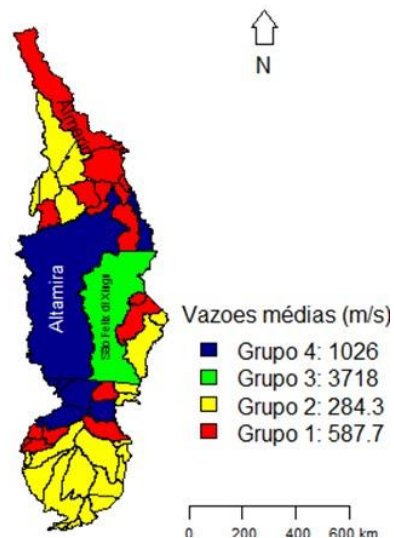


Figura 11. Vazões características Bacia do Rio Xingu através do método k-means.

### Conclusão

Nas análises das variáveis hidrometeorológicas na BHX constatou-se o quanto precipitação é a principal moduladora da vazão. Isto levanta questionamentos do quanto fatores climáticos como os fenômenos El Niño e La Niña no oceano Pacífico, assim como as fases (quentes e frias) do Dipolo do Atlântico influenciam na variabilidade fluvial nesta região do BHX.

A BHX não apresenta alta tendência de crescimento ou diminuição tanto para precipitação quanto para vazões, as duas variáveis apresentam correlação espacial. A precipitação nos municípios ao Norte ao Sul e a Sudoeste apresentaram correlações espaciais positivas (municípios com

altos ou baixos) histórico de chuvas têm vizinhanças (municípios) com altos (ou baixos) históricos de chuvas. A variável vazão apresenta correlação espacial positiva predominando na área central da bacia do Xingu (municípios com altos históricos de vazões circundados por municípios com altos históricos de vazão).

Os resultados obtidos neste estudo poderão contribuir para um maior conhecimento de possíveis relações entre variáveis hidrometeorológicas na BHX e de quanto esses resultados poderão ajudar a população próxima a área de estudo com os problemas de variabilidade hidrológicas e seus possíveis danos socioeconômicos e ambientais a comunidade local.

### Referências

- Agência Nacional das Águas (ANA). Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso: 01/03/2020.
- Agência Nacional de Águas (ANA). Resolução n. 48, de 28 de fevereiro de 2011. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2011/48-2011.pdf>. Acesso em: 10/03/2020.
- Almeida, B. M., José, J. V., Duarte, S. N., Frizzone, J. A., Arraes, F. D., Perbone, A., 2014. Análise de tendência temporal da precipitação diária máxima no Estado de São Paulo. *Water Resources and Irrigation Management*, 3 (1), 1-12.
- Ananias, D. R. S., Liska, G. R., Beijo, L. A., Liska, G. J. R., Menezes, F. S., 2021. The Assessment of annual rainfall field by applying different interpolation methods in the state of Rio Grande do Sul, Brazil. *SN Applied Sciences*, 3 (687), 1-17.
- Betancur, S. B., Gastmans, D., Vasquez, K. V., Santarosa, L. V., Santos, V., Kirchheim, R. E., 2020. Hydrological responses in equatorial watersheds indicated by Principal Components Analysis (PCA) – study case in Atrato river Basin (Colombia). *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25, 1-12.
- Bezerra Filho, J. G., Kerr, L. R. F. S., Miná, D. L., Barreto, M. L., 2007. Distribuição espacial da taxa de mortalidade infantil e principais determinantes no Ceará, Brasil, no período 2000-2002. *Cadernos de Saúde Pública*, 23 (5), 1173-1185.
- Brunner, M. I., Melsen, L. A., Wood, A. W., Rakovec, O., Mizukami, N., Knoben, W. J. M.,

- Clark, M. P., 2021. Flood Hazard and change impact assessments may profit from rethinking model calibration strategies. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 105-119.
- Box, G. E. P.; Tiao, G. C., 1976. Comparison of forecast and actuality. *Applied Statistica*, 25 (3), 195 – 200.
- Câmara G., Carvalho M. S., Cruz O. G., Corrêa V. Análise espacial de áreas. In: EMBRAPA Cerrados. Análise espacial de dados geográficos. Planaltina, DF: Embrapa, 2004. p. 157-209.
- Cardoso, C. A., Dias, H. C. T., Soares, C. P. B., Martins, S. V., 2006. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, 30 (2), 241-248.
- Carvalho, A. T. F., 2020. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. *Caderno Prudentino de Geografia*, 1 (42), 140-161.
- Cerón, W. L., Andreoli, R. V., Kayano, M. T., Canchala, T., Carvajal-Escobar, Y., Souza, R. A. F., 2021. Comparison of spatial interpolation methods for annual and seasonal rainfall in two hotspot of biodiversity in South America. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93 (1), 1-22.
- Chakilu, G. G., Sándor, S., Zoltán, T., 2020. Change in stream flow of Gumara watershed, upper Blue Nilo basin, Ethiopia under representative concentration pathway climate change scenarios. *Water*, 12 (11), 1-14.
- Cirilo, J. A., Verçosa, L. F. M., Gomes, M. M. A., Feitoza, M. A. B., Ferraz, G. F., Silva, B. M., 2020. Development and application of a rainfall-runoff model for semi-arid regions. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25, 1-19.
- Costa, B.; Alves, C. Análise de tendências e padrões de variação das séries históricas de vazões do operador nacional do sistema (ONS). In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 19, 2011, Maceió. *Anais [...]*. Maceió, 1-17.
- Cuartas, L. A., Tomasella, J., Nobre, A. D., Nobre, C. A., Hodnett, M. G., Waterloo, M. J., Oliveira, S. M., 2012. Distributed hydrological modeling of a micro-scale rainforest watershed in Amazonia: model evaluation and advances in calibration using the new HAND terrain model. *Journal of Hydrology*, 462-463, 15-27.
- Demidenko, E., 2016. The next-generation K-means algorithm. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Journal*, 11 (4), 1-14.
- Deutsch, C. V., Journel, A. G. *GSLIB: geostatistical software library and user's guide*. New York: Oxford University Press, 1997. 339p.
- Diniz, G. B. Preditores visando a obtenção de um modelo de previsão climática de temperaturas máxima e mínima para regiões homogêneas do Rio Grande do Sul. 2002. 188 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) –Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Etuk, E. H., Moffat, I. U., Chims, B. E., 2013. Modeling monthly rainfall data of Port Harcourt, Nigeria by seasonal Box-Jenkins methods. *International Journal of Sciences*, 2, 60-67.
- Fernandes, V. R. et al., 2021. Secas e os impactos na região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 17 (28), 561-584.
- Genz, F., Lessa, G. C., Cirano, M., 2008. Vazão mínima para estuários: um estudo de caso no rio Paraguaçu/BA. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 13 (3), 73- 82.
- Golmohammadi, G., Prasher, S., Madani, A., Rudra, R., 2014. Evaluating three hydrological distributed watershed models: MIKE-SHE, APEX, SWAT. *Hydrology*, 1 (1), 20-39.
- Gomes, D. J. C., Sousa, E. V. S., Ferreira, N. S., Lobato, R. R. C., Ribeiro, B. F., Dias, G. F. M., 2021. Vulnerabilidade à erosão hídrica do solo, bacia hidrográfica do rio Araguaia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14 (2), 816-833.
- Goovaerts, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York: Oxford University Press, 1997. 481p.
- Goovaerts, P., 2000. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *Journal of Hydrology*, 228, 113-129.
- Hirabayashi, Y., Kanae, S., Emori, S., Oki, T., Kimoto, M., 2008. Global projections of changing risks of floods and droughts in a changing climate. *Hydrology Sciences Journal*, 53, 754 – 772.
- Javari, M., 2017. Assessment of temperature and elevation controls on spatial variability of rainfall in Iran. *Atmosphere*, 8 (3), 1-40.
- Jiménez, K. Q., Collischonn, W., Paiva, R. C. D., 2019. Data assimilation using the ensemble Kalman filter in a distributed hydrological model in the Tocantins river, Brazil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 24, 1-15.

- Journel, A. G. Fundamentals of geostatistics in five lessons. California: Stanford Center for Reservoir Forecasting Applied Earth Sciences Department, 1988, 85p.
- Kostopoulou, E., Jones, P. D., 2005. Assesment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 89, 69-85.
- Keenan, R. J., 2014. Climate change impacts and adaptation in forest management: a review. *Annals of Forest Science*, 72 (2), 145-167.
- Koch, J., Hogg, K., Stisen, S., 2015. Toward a true spatial model evaluation in distributed hydrological modeling: Kappa statistics, Fuzzy theory and EOF-analysis benchmarked by the human perception and evaluated against a modeling case study. *Water Resources Research*, 51, 1225-1246.
- Latrubesse, E. M.; Stevaux, J. C., 2002. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. *Zeitschrift für Geomorphology*, 129, 109-127.
- Lucas, E. W. M. Aplicação de modelos hidrológicos determinístico e estocástico mensais na bacia hidrográfica do Xingu – Pará. 2007. 112f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB.
- Li, M., Shao, Q., Zhang, L., Chiew, F. H. S., 2010. A new regionalization approach and its application to predict flow duration curve in ungauged basins. *Journal of Hydrology*, 389 (1), 137-145.
- Ly, S., Charles, C., Degré, A., 2011. Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Amblève catchments, Belgium. *Hydrology Earth System Science*, 15, 2259-2274.
- MacQueen, J. B., 1967. Some methods for classification and analysis of multivariate observations. IN: *Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, 15. Proceedings California: University of California, 1, 281-297.
- Melo, M. C., Queiroz, V. C., Johnsson, R. M. F., Azevedo, J. P. S., Nascimento, N. O., Machado, L. F. V., Sá, R. V., Rimulo, B. A., 2020. Avaliação da segurança hídrica para abastecimento público na região metropolitana de Belo Horizonte: estudo da crise hídrica 2014-2015. *Revista Brasileira de Climatologia*, 27, 680-701.
- Millán, H., Lima, J. R., Cerniak, S. N., 2019. Spatial structure of rainfall patterns in the Amazonian area of Brazil through geostatistics with block kriging spatial. *Acta Amazonica*, 1-34.
- Morettin, P.A.; Toloi, C.M.C. Análise de séries temporais. São Paulo: Edgard Blücher, 2004.
- Narendra, B. H., Siregar, C. A., Dharmawan, W. S., Sukmana, A., Pratiwi, Pramono, I. B., Basuki, T. M., Nugroho, S. H., Supangat, A. B., Purwanto, Setiawan, O., Nandini, R., Ulya, N. A., Arifanti, V. B., Yuwati, T. W., 2021. A review on sustainability of watershed management in Indonesia. *Sustainability*, 13 (19), 1-29.
- Nascimento, M. B., Silva, T. J. R. D., Paiva, W., Santos, L. L., Araújo, L. E., 2021. Análise da Variabilidade Pluviométrica na Microrregião do Curimataú Ocidental, Paraíba. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14 (01), 82-93.
- Pettina, J. L., Barros, A. L. M. M., Matos, W. D., Ribeiro, A. C. O., Carvalho, R. M. Estudos de inventário hidrelétrico na Amazônia; a bacia do rio Xingu. IN: *Simpósio Sobre as Características Geológico-Geotectônicas da Região Amazônica*, 1980, [S.l.]. Anais[...]: ABGE, 1980, 115-136.
- Salame, C. W., Souza, E. B., Farias, V. J. C., Rocha, E. J. P., Moura, H. P., 2019. Um estudo comparativo dos modelos Box-Jenkins e redes neurais artificiais na previsão de vazões e precipitações pluviométricas da bacia Araguaia, Tocantins, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, 52, 28-43.
- Sampaio, F.P. R.; Aguiar, D. G.; Filizola Junior, N. P. Schort, T. Níveis fluviométricos e o custo de vida em cidades ribeirinhas da Amazônia; o caso de Manacapuru e Óbidos. IN: *Symposium Selper: Earth Observation for a Green Co-Developed World*, 15. 2012, Caiena. Anais[...]: Caiena: SELPER, 1-9.
- Santos, D. M. Análise e modelagem hidrometeorológica na bacia do Tocantins em Marabá-PA. 2008. 118f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, 2008.
- Santos, F. A. A., Rocha, E. J. P., Santos, J. S., 2019. Dinâmica da Paisagem e seus Impactos Ambientais na Amazônia. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 12 (05), 1794-1815.
- Santos, L. D. J., Cabral, C. J., Gonçalves, R. B., Silva, O. G., 2019. Vulnerabilidades a eventos pluviais de alta magnitude da cidade do Recife – Pernambuco/Brasil. 9 (2), 161-185.
- Sarnighausen, V. C. R., Gomes, F. G., Pai, A. D., Rodrigues, S. A., 2021. Estimativa da evapotranspiração de referência para Botucatu-SP por meio de modelos de



- regressão. *Revista Brasileira de Climatologia*, 28, 766-787.
- Sena, J. P. O., Neto, J. M. M., Lucena, D. B., 2019. Variabilidade da precipitação em Sumé e São João do cariri e suas consequências na agropecuária. *Revista Brasileira de Climatologia*, 25, 278-293.
- Silva, D. F. et al., 2020. Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13 (02), 449-464.
- Singh, V. P., 2018. Hydrologic modeling: progress and future directions. *Geoscience Letters*, 5 (15), 1-18.
- Sousa, E. S., Santos, V. C., Costa E. A. S., 2022. Influência de fenômenos climáticos sobre o regime de vazões na bacia hidrográfica do rio Tapajós. *Holos Environment*, 22 (1), 18-30.
- Souza, T. S., Nascimento, P. S., 2020. Análise multivariada e tendência da precipitação pluviométrica na região hidrográfica do Recôncavo Sul (BA). *Geociências*, 39 (1), 203-213.
- Sukristiyanti, S., Maria, R., Lestiana, H., 2017. Watershed-based morphometric analysis: a review. *Global Colloquium on GeoSciences and Engineering*, 118, 1-5.
- Teng, F., Huang, W., Cai, Y., Zheng, C., Zou, S., 2017. Application of hydrological model PRMS to simulate daily rainfall runoff in Zamask-Yingluoxia subbasin of the Heihe river basin. *Water*, 9 (10), 1-14.
- Treppiedi, D., Cipolla, G., Francipane, A., Noto, L. V., 2021. Detecting precipitation trend using a multiscale approach based on quantile regression over a Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 41, 5938-5955.
- Tozzi, B. K. M., Fill, H. D. O. A., 2020. Verification on the stationarity of flow series in the Iguaçu river basin. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 25, 1-9.
- Uchenna, P. E., Iheanyi, O. S., 2020. Some versions of K-means clustering method and it's comparative study in low and high dimensional data. *African Journal of Mathematics and Statistics Studies*, 3, 68-78.
- Ventura, R. M. G. Caracterização ambiental e hidrológica da Bacia do Córrego do Barbado em Cuiabá-MT. 2011. 112 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá.
- Villas-Bôas, A. (org). De olho na bacia do Xingu. São Paulo: Instituto Socioambiental. 2012. 61 p.
- Wanderley, H. S., Bunhak, A. C. S., 2016. Alteração da precipitação e do número de dias sem chuva na região Sul Fluminense no estado do Rio de Janeiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9 (7), 2341-2353.
- Wang, F., Huang, G., Li, Y., Xu, J., Wang, G., Zhang, J., Duan, R., Ren, J., 2021. A statistical hydrological model for Yangtze river watershed based on stepwise cluster analysis. *Frontiers in Earth Science*, 9, 1-12.
- Zuanon, J. et al. Condições para a manutenção da dinâmica sazonal de inundação, a conservação do ecossistema aquático e manutenção dos modos de vida dos povos da volta grande do Xingu. *Papers do NAEA*, 28(02), 20-62.