

ANÁLISE TEMPORAL DE CHUVA-VAZÃO EM UMA SEÇÃO AMOSTRAL DO RIO CLARO, REGIÃO NOROESTE DE MINAS GERAIS

Luiz Humberto de Freitas Souza

Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia
Doutorando em Geografia, Uberlândia, MG, Brasil
luizhumbertofsouza@gmail.com

Luiz Antonio de Oliveira

Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia
Doutor em Geologia, Uberlândia, MG, Brasil
luiz.oliveira@ufu.br

Silvio Carlos Rodrigues

Universidade Federal de Uberlândia – Instituto de Geografia
Doutor em Geografia, Uberlândia, MG, Brasil
silgel@ufu.br

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar a análise temporal dos registros de vazão e chuva, para uma seção amostral do rio Claro, localizado no município de Guarda-Mor, região noroeste de Minas Gerais. O ponto de monitoramento encontra-se em uma área de conflito devido ao fato da demanda do uso de recursos hídricos superficiais ser superior ao limite outorgável. O dispositivo legal que prevê o processo de outorga coletiva e a alocação negociada, requer o conhecimento sobre o comportamento hidrológico das vazões de um curso d'água. Assim, são comumente utilizados os dados fluviométricos e pluviométricos disponibilizados pelo HidroWeb, que compõe o Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH-ANA). Nesse estudo em específico, apesar da existência de uma estação pluviométrica vizinha a estação fluviométrica de referência, não foi possível utilizar seus dados imediatamente, face às falhas constatadas nos registros diários de chuva, sendo necessário recorrer aos métodos estatísticos de análise de correlação e de regressão entre as estações mais afastadas, de modo a qualificar os dados pluviométricos dessas, e possibilitar a aplicação das informações nas análises de chuva-vazão. Nesse sentido, esse trabalho almeja apresentar também, o processo de descrição e teste da significância das relações entre os referidos pares ordenados de precipitação.

Palavras-chave: Vazão. Precipitação. HidroWeb. Tratamento Estatístico.

TEMPORAL RAIN-FLOW ANALYSIS IN A SAMPLE SECTION OF RIO CLARO, NORTHWEST REGION OF MINAS GERAIS

ABSTRACT

The present work aims to present the temporal analysis of the flow and rain records, for a sample section of the Claro river, located in the municipality of Guarda-Mor, northwest region of Minas Gerais. The monitoring point is located in a conflict area due to the fact that the demand for the use of surface water resources is higher than the grantable limit. The legal provision that provides for the process of collective granting and the negotiated allocation, requires knowledge about the hydrological behavior of the watercourse flows. Thus, fluviometric and rainfall data provided by HidroWeb, which make up the National System of Information on Water Resources (SNIRH-ANA), are commonly used. In this specific study, despite the existence of a pluviometric station adjacent to the reference fluviometric station, it was not possible to use its data immediately, given the failures found in the daily rainfall records, making it necessary to resort to statistical methods of correlation and regression analysis among the most distant stations, in order to qualify the rainfall data of these, and enable the application of the information in the rain-runoff analyses. In this sense, this work also aims to present the process of describing and testing the significance of the relations among the aforementioned ordered pairs of precipitation.

Keywords: Flow. Precipitation. HidroWeb. Statistical Treatment.

INTRODUÇÃO

A outorga de direitos de uso de recursos hídricos é um dispositivo legal que tem como principal objetivo, assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água. A Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997, também conhecida como Lei das Águas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (Singreh), cujos fundamentos preveem a coordenação da gestão integrada das águas, a conciliação administrativa de conflitos, o implemento de uma política nacional para o setor, o planejamento, a regulação, o controle, a preservação e a recuperação dos recursos hídricos bem como a promoção de mecanismos de cobrança pelo uso da água.

Por sua vez, dentre as ferramentas necessárias ao suporte do Singreh, destacam-se os planos de recursos hídricos (PRHs) por definirem a agenda de uma dada região, incluindo informações sobre as ações prioritárias, os projetos, as obras e os investimentos prioritários.

Em Minas Gerais, a Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG n.º 1, de 05 de maio de 2008, definiu que o montante de água destinado para os distintos segmentos usuários, denominada de vazão outorgável, deve assegurar os usos múltiplos, além da manutenção dos ecossistemas, conforme os fundamentos inseridos na Política Estadual de Recursos Hídricos.

Do mesmo modo, é previsto que, quando a vazão do corpo hídrico estiver abaixo da vazão outorgável, ou quando o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CERH), ou os Comitês de Bacias Hidrográficas (CBHs), no uso de suas respectivas competências, para a gestão sustentável dos recursos hídricos, determinarem o estabelecimento de restrições, essas deverão ocorrer em caráter excepcional e temporário para atendimento das especificidades sazonais e locais.

Nesse sentido, a Portaria do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) n.º 22, de 09 de agosto de 2018, estabeleceu a Declaração de Área de Conflito – DAC n.º 003/2018, para a sub-bacia hidrográfica do rio Escuro, nos municípios de Guarda-Mor, Paracatu e Vazante- MG, cujos territórios enfrentam um longo histórico de conflitos pelo uso da água (SOUZA e SANT ANNA, 2020).

Essa região está inserida na bacia hidrográfica do rio Paracatu no noroeste de Minas Gerais, com pequenas porções no Estado de Goiás e no Distrito Federal, limitando-se ao sul com a bacia do rio Paranaíba; a oeste, com a bacia do rio São Marcos, afluente do Rio Paranaíba; a leste, com as bacias do rio Formoso e Jatobá, afluentes do São Francisco; e, a norte, com a bacia do rio Uruçuaia, também afluente do rio São Francisco (CBHSF - SF7, 2021).

O monitoramento hidrológico desse local acontece, assim como nas demais partes do país, ocorre por intermédio de estações terrestres convencionais. Entretanto, os postos são quase sempre insuficientes, quando considerada a extensa área das bacias hidrográficas. Dificilmente uma rede hidrológica cobre todos os locais de interesse para o gerenciamento dos recursos hídricos, tanto que é importante considerar que existem lacunas temporais e espaciais que necessitam serem identificadas e preenchidas antes dos estudos hidrológicos propriamente ditos, de modo que a análise da consistência dos dados possa permitir a minimização dos riscos de utilização incorreta das informações.

De acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2019), o registro dos dados hidrológicos é realizado para fornecer informações ao longo do tempo, sobre a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos em todo o país e grande parte das medições e/ou observações, são registradas por estações pluviométricas e fluviométricas da Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN).

A partir da coleta de dados de vazão e cotas, por exemplo, é possível determinar as séries históricas, e quanto mais longas elas forem, maior será a sua importância para fins de diagnóstico e prognóstico de atividades tais como, o planejamento do uso dos recursos hídricos; o gerenciamento de bacias hidrográficas; a previsão de cheias; projetos e ações de saneamento básico; o abastecimento urbano, as atividades industrial e agrícola; a navegação e a regulação das concessões e outorgas (ROZA DOS SANTOS *et al.*, 2017).

Muito embora, as séries hidrológicas temporais sejam obtidas em locais definidos por um ou mais instrumentos instalados e largamente empregadas nos estudos ambientais, é importante salientar que

essas informações estão restritas aos locais monitorados, e devido às constantes falhas de preenchimento é extremamente importante o emprego de métodos estatísticos e de espacialização para qualificação dos seus dados (PACA, 2008; SOUSA, 2017).

A representatividade e a qualidade dos dados coletados impactam sensivelmente na exatidão e na precisão das análises e previsões. Nesse sentido, pode-se recorrer às ferramentas estatísticas de Garantia de Qualidade (QA - *Quality Assurance*) e Controle de Qualidade (QC - *Quality Control*) de modo a garantir maior confiabilidade ao uso das séries temporais (FAYBISHENKO *et al.*, 2022).

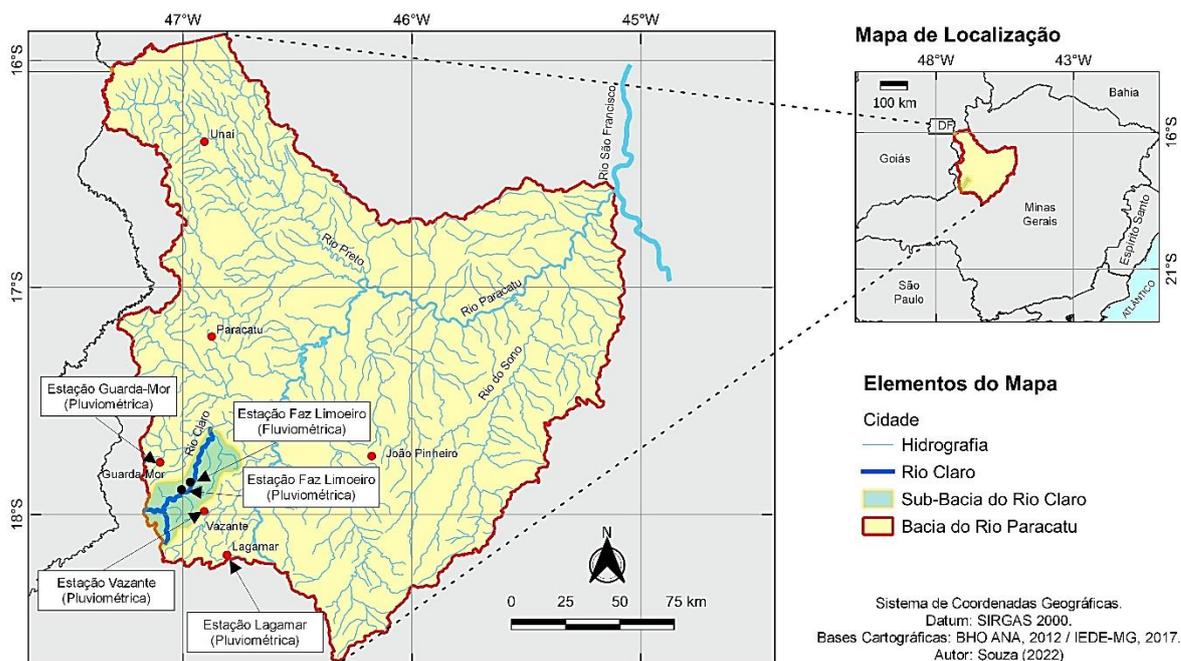
O estudo em tela abarca a análise temporal dos registros de vazão e chuva, para uma seção amostral da sub-bacia do rio Claro, no município de Guarda-Mor. Para tanto, os principais dados históricos diários empregados, tem como fonte os registros das estações fluviométricas e pluviométricas, disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) por meio do Portal HidroWeb.

Considerando-se a intensa apropriação dos recursos fluviais pelo homem, existe uma crescente necessidade de se avaliar e prever os impactos ecológicos associados ao manejo nas bacias hidrográficas e nos corpos de água (ROCHA, 2010). Esse tipo de investigação contribui sobremaneira para a confirmação de hipóteses sobre os impactos ambientais provocados pelas alterações do uso e cobertura da terra, o diagnóstico da disponibilidade regional de água superficial, a previsão para atendimento dos usos múltiplos e o planejamento de medidas de segurança hídrica. A partir da análise estatística da série hidrológica temporal, torna-se possível a verificação do comportamento do regime fluviométrico da seção amostral do rio Claro e a comprovação da elevada importância desse tipo de análise para a gestão dos recursos hídricos (LIMEIRA, 2008; GAO *et al.*, 2018).

Área de estudo

A área de interesse (Figura 1) abrange a sub-bacia hidrográfica do rio Claro, com área aproximada de 1.064 km², e um curso com cerca de 70 km de extensão. Sua nascente encontra-se no município de Vazante-MG, nas coordenadas 18°07'24"S e 47°04'32"W, e seu exutório ocorre no encontro com o rio Escuro nas coordenadas 17°37'38"S e 46°52'50"W, que por sua vez, contribui à margem esquerda do rio Paracatu.

Figura 1 - Área de estudo e localização das estações principais e de apoio.

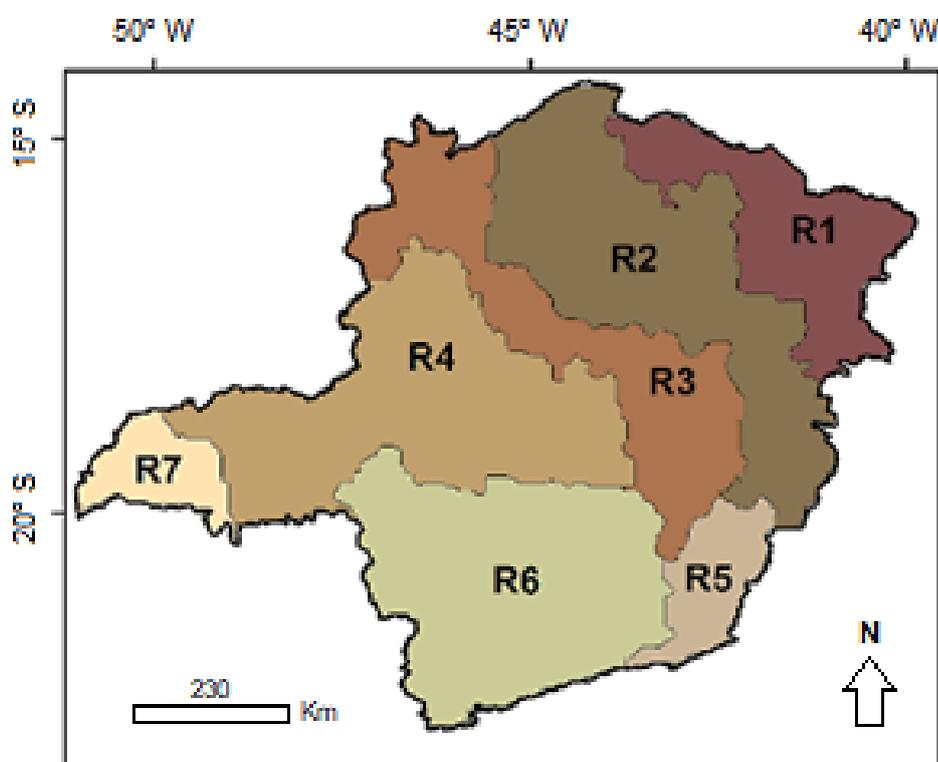


Fonte - BHO ANA, 2012; IEDE-MG, 2017. Organização: Souza, 2022.

O conhecimento da distribuição espacial da precipitação de uma dada região é condição obrigatória para o entendimento do regime de precipitações e vazões de uma série histórica de dados hidrológicos. Nesse sentido, Pereira *et al.*, (2018) elaboraram o estudo sobre a espacialidade das chuvas e sua tendência para o estado de Minas Gerais e conseguiram estabelecer os marcos de início e término da estação chuvosa para as regiões consideradas homogêneas empregando o agrupamento dos dados de precipitação mensal do conjunto de dados de precipitação do período entre 1981 e 2017.

A partir do método estatístico de Análise de Componentes Principais (ACP), os autores adotaram como ponto de partida a divisão do estado de Minas Gerais em sete regiões climáticas homogêneas (Figura 2) e após as análises de variabilidade, os resultados apontaram a presença de uma estação úmida (outubro a março) e uma estação seca (abril a setembro), na qual o mês de janeiro se apresentou como o mais chuvoso e o mês de julho o mês mais seco (GUIMARÃES *et al.*, 2010).

Figura 2 - Mapa das sete regiões climáticas homogêneas do estado de Minas Gerais, definidas pelo método estatístico de Análise de Componentes Principais (ACP).



Fonte - Pereira *et al.*, (2018). Adaptação: Os autores, 2021.

Conforme Pereira *et al.*, (2018), a região “R4” corresponde à grande parte da mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Noroeste e Centro de Minas Gerais, a qual contempla o município de Guarda-Mor. Os maiores valores de precipitação se concentraram entre os meses de dezembro e janeiro, entretanto, os meses que apresentaram a maior variabilidade foram março e fevereiro.

METODOLOGIA

Os registros das séries históricas empregados nesse estudo foram obtidos a partir da consulta das estações apresentadas na Tabela 1. A classificação de cada estação diz respeito a qualidade dos dados disponíveis em suas séries.

Tabela 1 - Informações sobre as estações principais e de apoio.

Código da Estação	Nome da Estação	Tipo	Classificação	Município	Distância, a partir da Estação Fazenda Limoeiro	Coordenadas Geográficas	Altitude obtida no Google Earth	Responsável/ Operadora
42250000	Fazenda Limoeiro	Fluviométrica	Principal	Guarda-Mor	-----	17°54'36"S e 47°00'36"W	± 605 m	ANA/CPRM
1746018	Fazenda Limoeiro	Pluviométrica	Apoio	Guarda-Mor	± 1 Km	17°55'12"S e 47°00'36"W	± 605 m	ANA/CPRM
1747005	Guarda-Mor	Pluviométrica	Principal	Guarda-Mor	± 18 Km	17°46'19"S e 47°05'53"W	± 625 m	ANA/CPRM
1846015	Vazante	Pluviométrica	Apoio	Vazante	± 15 Km	18°00'18"S e 46°54'40"W	± 670 m	ANA/CPRM
1846023	Lagamar	Pluviométrica	Apoio	Lagamar	± 37 Km	18°10'48"S e 46°48'00"W	± 825 m	ANA/CPRM

Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Os autores, 2021.

Os dados de vazão empregados correspondem aos registros fluviométricos ao longo de 47 anos (de 01/10/1973 a 01/10/2020), da estação n.º 42250000 - Fazenda Limoeiro, instalada em uma seção fluvial do rio Claro no noroeste de Minas Gerais. Para apresentação gráfica e análise da relação chuva-vazão, levando-se em conta que a identificação e a distinção de *outliers* (anomalias), bem como a diferença entre eles, são etapas de "limpeza" empregadas em séries extensas que requerem a aplicação de diferentes abordagens (FAYBISHENKO *et al.*, 2022), optou-se pela definição de recortes temporais marcados por anos hidrológicos, definidos entre os períodos de 01/07/1983 a 01/07/1985 e; 01/07/2016 a 01/07/2018, sendo considerados todos os dados brutos ou consistidos da série.

Apesar da existência de uma estação pluviométrica próxima a seção amostral de estudo, foi necessário defini-la como apoio, em detrimento da observação de nove falhas correspondentes às leituras diárias dos meses de setembro a dezembro de 1983; outubro e dezembro de 1984 e; janeiro a março de 1983, tornando seu uso direto, indevido no recorte temporal.

Constatado o problema, foi realizado o levantamento de outras estações pluviométricas instaladas o mais próximo possível da área de estudo, de tal forma que pudessem oferecer séries históricas mais consistentes à análise, independentemente de serem brutos ou consistidos.

Além da estação pluviométrica Fazenda Limoeiro, outras três estações foram escolhidas para correlação: estação n.º 1747005 localizada na cidade de Guarda-Mor; estação n.º 1846023 em Lagamar e; n.º 1846015 em Vazante. Dessas três, apenas a última apresentou uma falha de leitura no mês de abril/2018, já considerando os recortes temporais determinados.

Diante da necessidade de que os dados de precipitação fossem suficientemente confiáveis, tornou-se necessário recorrer ao uso dos métodos estatísticos de análise de correlação e de regressão entre as estações mais afastadas, de modo a qualificar os dados pluviométricos dessas e possibilitar a aplicação nas análises de chuva-vazão na área de estudo.

Em se tratando de registros hidrológicos, onde não é recomendada a correção de falhas a partir de dados da própria série, pode-se recorrer aos dados de estações mais próximas, com resultado satisfatório de correlação linear (STAUDT; ESTEBAN-PARRA; CASTRO-DÍEZ, 2007). O uso desse método estatístico apresenta melhores resultados quando as estações pluviométricas pertencem à mesma região ecolimática e com condições geomorfológicas similares (LEIVAS *et al.*, 2006).

Foram realizadas combinações entre a precipitação total mensal das estações pluviométricas, selecionadas duas a duas, considerando em todos os casos, a estação n.º 1747005, localizada na cidade de Guarda-Mor, como variável dependente (Y_0), de modo a confirmar a qualidade de seus registros a partir da comparação com os valores estimados (Y_e). Ressaltando que, muito embora a estação pluviométrica de Lagamar não apresentasse falhas nos períodos recortados, esta foi relegada a apoio por se encontrar mais distante da Fazenda Limoeiro.

O estudo de correlação linear constituiu-se da elaboração dos diagramas de dispersão, na determinação do coeficiente de correlação amostral e populacional, na apresentação da equação da reta de regressão e do coeficiente de determinação, no cálculo do erro padrão da estimativa e do intervalo de previsão. Essas informações foram tabuladas e possibilitaram a classificação dos dados da estação pluviométrica de Guarda-Mor para aplicação nesse estudo. Foram elaborados também, o

fluviograma e a curva de permanência da estação Fazenda Limoeiro, para apresentação e interpretação dos dados hidrológicos de vazão de 01/10/1973 a 01/10/2020.

Para a ilustração da análise dos recortes temporais entre 01/07/1983 a 01/07/1985 e; 01/07/2016 a 01/07/2018, foram produzidos dois mapas de uso e cobertura da terra referentes aos anos de 1985 e 2018, com base nas informações públicas disponíveis no sítio do projeto MapBiomias (2021).

Estudo de Correlação Linear de Pearson

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), no estudo de correlação linear de Pearson, temos um par de variáveis que demonstram a relação na medida em que os pontos do diagrama de dispersão se aproximam de uma reta. Essa correlação pode ser positiva, quando para os valores crescentes de X houver uma tendência a valores também crescentes de Y, ou negativa, quando para valores crescentes de X, a tendência for de valores decrescentes de Y. Assim, é possível avaliar o nível de correlação entre duas variáveis por método gráfico (diagrama de dispersão), ou por medida numérica, empregando-se coeficientes na representação matemática do grau de aproximação entre as variáveis contínuas.

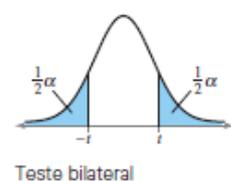
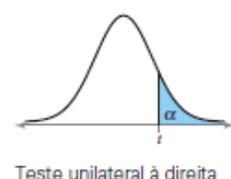
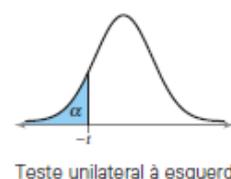
Dada a inconsistência dos dados pluviométricos dos registros realizados no local mais próximo da estação fluviométrica Fazenda Limoeiro, foi necessário realizar a análise de correlação linear de Pearson entre as estações apontadas no Quadro 1. Após a comprovação do grau de correlação entre os pares, foi possível definir a estação n.º 1747005 de Guarda-Mor como estação principal.

Considerando que cada par de estações (X_i ; Y_o) conta com 50 dados de precipitação e que a partir de 30 ou mais graus de liberdade (gl.) os valores críticos para uma distribuição *t-student* (t_c) se aproximam dos valores críticos de uma distribuição normal padrão (LARSON; FARBER, 2010), foi suposta esse tipo de distribuição, de modo a possibilitar a definição do intervalo de confiança (previsão).

Nota-se que o valor crítico da distribuição-t (t_c) correspondente ao nível de confiança (α) adotado, pode ser obtido por meio da tabela de valores críticos para distribuição *t-student* (Tabela 2). O estudo em questão se enquadra no teste bilateral porque a evidência que pode apoiar a hipótese alternativa pode estar em uma das ambas caudas da distribuição amostral.

Tabela 2 - Valores críticos (t_c) para distribuição *t-student*.

g.l.	Nível de confiança, c				
	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
Unilateral, α	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005
	Bilateral, α				
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898
/ /					
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704
45	1,301	1,679	2,014	2,412	2,690
50	1,299	1,676	2,009	2,403	2,678
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660
70	1,294	1,667	1,994	2,381	2,648
80	1,292	1,664	1,990	2,374	2,639
90	1,291	1,662	1,987	2,368	2,632
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626
500	1,283	1,648	1,965	2,334	2,586
1.000	1,282	1,646	1,962	2,330	2,581
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576



Fonte - LARSON E FARBER, 2010. Adaptação: Os autores, 2021.

Contudo, e por não estar explícito o coeficiente crítico (t_c) na Tabela 2 para o $gl.=n-2$ (48 graus de liberdade), foi realizada uma interpolação dos valores para $gl.=45$ e $gl.=50$, obtendo-se $t_c = 2,011$. É possível obter o mesmo valor pela aplicação da fórmula da planilha eletrônica com sintaxe: "INVT (probabilidade, graus_liberdade)", a qual retorna o inverso bicaudal da distribuição-t de Student ($t_c = 2,011$).

Desse modo, a medida da dispersão dos pontos amostrais em torno da reta de regressão, chamado erro padrão da estimativa (S_e) foi calculado considerando-se uma distribuição *t-student* (t_c) com $(n-2)$ graus de liberdade (gl), e a partir de sua estimativa pode-se determinar o intervalo de previsão (E) para o valor real da variável observada (Y_0), de modo a atender o intervalo de confiança: $Y_e - E < Y_0 < Y_e + E$.

Sobre o erro padrão da estimativa, Naghettini e Pinto (2007) afirmam que o modelo de regressão linear simples será perfeito se todos os pontos da amostra utilizados na estimativa dos parâmetros estiverem sobre a reta ajustada. Entretanto, a ocorrência de um modelo perfeito dificilmente será observada, principalmente quando se tratarem de variáveis aleatórias hidrológicas. Nesse caso, a regressão linear simples possibilitará uma estimativa aproximada de um valor de Y_e para um dado valor de X_i .

As equações (1), (2) e (3) a seguir, foram empregadas para o cálculo do coeficiente de correlação amostral de Pearson (r), do erro padrão da estimativa (S_e) e, do intervalo de previsão (E), respectivamente.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)(Y_i - Y_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_m)^2}} \quad (1)$$

Onde,

r é o coeficiente de correlação amostral de Pearson;

X_i e Y_i são valores medidos de ambas as variáveis;

X_m e Y_m são as médias das variáveis x e y ;

n é o número de pares de variáveis.

$$S_e = \sqrt{\frac{\sum (Y_0 - Y_e)^2}{n-2}} \quad (2)$$

Onde,

S_e é o erro padrão da estimativa;

Y_0 é o valor da precipitação observada na bacia;

Y_e é o valor estimado da precipitação a partir da equação de regressão linear;

n é o número de pares de variáveis.

$$E = t_c S_e \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{n(X_i - X_m)^2}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}} \quad (3)$$

Onde,

E é o intervalo de previsão para o valor real da variável observada (Y_0);

S_e é o erro padrão da estimativa;

X_i é o valor da precipitação observado na estação;

X_m é a média dos valores observados na estação;

t_c é o valor crítico da distribuição-t correspondente ao nível de confiança (α) adotado;

n é o número de pares de variáveis.

O nível de correlação entre as variáveis dependente e independente foi analisado por método gráfico, a partir da produção dos respectivos diagramas de dispersão dos pares e pela interpretação dos coeficientes de correlação que representam o grau de aproximação entre duas variáveis contínuas (NAGHETTINI E PINTO, 2007).

Nesse trabalho empregou-se a função “PEARSON(matriz1;matriz2)” em uma planilha eletrônica, para se determinar o coeficiente de correlação amostral de Pearson (r), sendo a matriz 1 o conjunto de valores independentes e a matriz 2 o conjunto de valores dependentes. Em seguida, procedeu-se com o cálculo do coeficiente de determinação (R^2) para verificar o percentual de variação de uma variável que pode ser explicada a partir de outra.

Calculado o “ r ”, buscou-se determinar evidências suficientes para decidir se o mesmo é significativo, ou seja, se reflete a extensão da relação linear entre dois conjuntos de dados. Nesse caso, adotou-se como um dos parâmetros iniciais para confirmação de correlação, o valor de “ r ” $\geq 0,90$ ($\geq 90\%$).

Nota-se que é possível realizar essa verificação também, empregando-se a tabela de valores críticos de Pearson, onde as variáveis de entrada são o número de pares de dados da amostra e o nível de significância da correlação amostra-população; e o dado de saída é o coeficiente de correlação crítico (r_c), abaixo do qual a correlação é insatisfatória (LIMA, 2018). Após verificada a correlação linear entre os pares de variáveis, foram elaborados os gráficos de dispersão e ajustadas as retas de regressão linear e determinadas as equações das mesmas por meio da rotina da planilha eletrônica: “adicionar linha de tendência”, marcando-se a opção de exibir a equação no gráfico e o valor de R^2 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Correlação e regressão entre os pares de estações pluviométricas

Tomando-se os totais mensais de precipitação das estações pluviométricas dos recortes temporais de 01/07/1983 a 01/07/1985 e; 01/07/2016 a 01/07/2018, obtiveram-se os seguintes valores para o coeficiente de correlação linear amostral (r), considerando sempre a estação Guarda-Mor como variável dependente:

PAR.1 - Fazenda Limoeiro (X_i) e Guarda-Mor (Y_0) $\Rightarrow r = 0,77$;

PAR.2 - Estação Lagamar (X_i) e Guarda-Mor (Y_0) $\Rightarrow r = 0,94$;

PAR.3 - Estação Vazante (X_i) e Guarda-Mor (Y_0) $\Rightarrow r = 0,91$.

Foi definido como referência $r \geq 0,90$ de modo a garantir uma correlação linear muito forte entre os valores de precipitação (SILVIA & SHIMAKURA, 2006). Observa-se que a correlação linear para o PAR.1 ficou abaixo do ideal. Entretanto, é necessário reforçar que a estação pluviométrica Fazenda Limoeiro apresentou nove falhas correspondentes às leituras diárias dos meses: setembro a dezembro de 1983; outubro e dezembro de 1984 e; janeiro a março de 1983, totalizando 75% de falhas na série definida entre 1983 a 1985, tornando seu uso indevido.

De acordo com Larson e Farber (2010), uma vez calculado o coeficiente de correlação amostral (r), é necessário determinar se há evidência suficiente para decidir se o coeficiente de correlação populacional (ρ) é significativo. Para que isso ocorra temos: hipótese nula $H_0: r = 0$ (não há correlação significativa); hipótese alternativa $H_a: r \neq 0$ (correlação significativa), ou seja, seu valor absoluto (em geral) deve estar próximo de 1. A confirmação pode ser realizada recorrendo-se aos valores críticos (r_c) da Tabela 3 (construída em função da distribuição-t). Se $|r| > r_c$, há evidência suficiente para decidir que a correlação é significativa. Caso contrário, não haverá evidência suficiente.

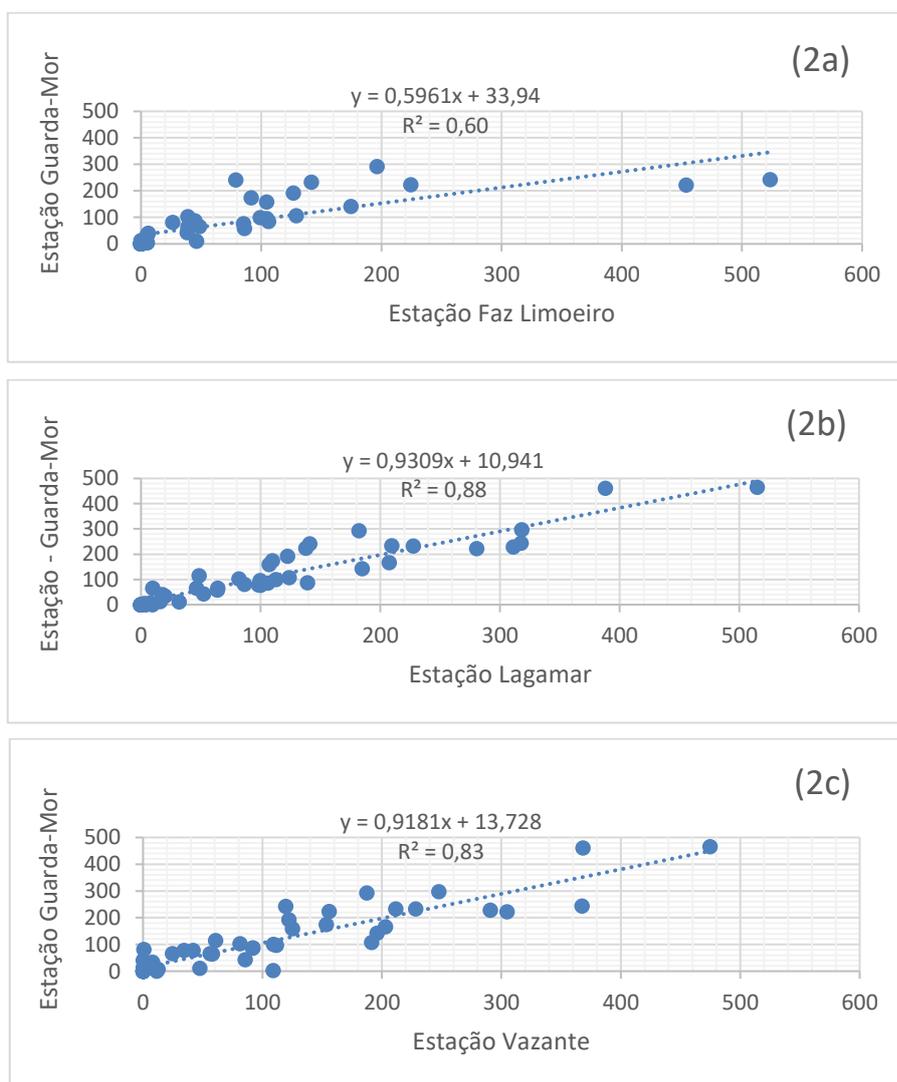
Tabela 3 - Valores críticos (r_c) para o coeficiente de correlação de Pearson.

n	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$
4	0,950	0,990
5	0,878	0,959
6	0,811	0,917
7	0,754	0,875
8	0,707	0,834
9	0,666	0,798
10	0,632	0,765
/		
50	0,279	0,361
55	0,266	0,345
60	0,254	0,330
65	0,244	0,317
70	0,235	0,306
75	0,227	0,296
80	0,220	0,286
85	0,213	0,278
90	0,207	0,270
95	0,202	0,263
100	0,197	0,256

Fonte - LARSON E FARBER, 2010. Adaptação: Os autores, 2021.

Em síntese, o teste de hipóteses se dá pela determinação inicial do número de pares de dados da amostra seguido da especificação do nível de significância, com posterior verificação do valor crítico (r_c) e a interpretação final sobre a correlação (se significativa ou não). Adotando um risco de se errar a correlação para toda a população de dados, em 5% (nível de significância) e os 50 pares de registros de precipitação correlacionados para PAR.1, PAR.2 e PAR.3, determinou-se o valor crítico do coeficiente de correlação de Pearson (r_c) na Tabela 3, no qual o valor absoluto encontrado foi de 0,279. Assim, como $|r|$ de PAR.1, PAR.2 e PAR.3 > 0,279 então a correlação é significativa e, portanto, procedeu-se com a determinação da equação de regressão para melhor descrição dos dados. Verificadas as condições anteriores para PAR.1, PAR.2 e PAR.3, foram plotados os diagramas de dispersão com as retas de regressão linear e suas equações (Figura 3-a; b; c).

Figura 3 - a; b; c – Diagramas de dispersão com as retas de regressão linear e suas respectivas equações.



Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Souza, 2021.

Carvalho e Ruiz (2016) aplicaram o método de regressão linear para correlacionar os dados de precipitação em duas estações, com o objetivo de preenchimento de falhas de registro nas séries. Os autores relataram que valores de R^2 acima de 0,434 permitiram a estimativa adequada para a cobertura das falhas. Entretanto, nesse trabalho, foi definido o coeficiente de determinação (R^2) ideal $\geq 80\%$ de forma a garantir que os dados da variável dependente (ordenadas) fossem perfeitamente capazes de serem explicados pelos dados da variável independente (abscissas). Assim, somente o diagrama de dispersão para PAR.1 (Figura 3-a) apresentou correlação linear insatisfatória (60%), ou seja, não houve o mesmo nível de afinidade como ocorrido para o PAR.2 (Figura 3-b) e PAR.3 (Figura 3-c).

Os cálculos do erro padrão da estimativa (S_e) e dos intervalos de previsão (E), bem como os principais resultados obtidos com o estudo de correlação linear para: PAR.1, PAR.2 e PAR.3, são apresentados nos Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4 - Estudo de correlação linear entre os totais mensais de precipitação (mm de chuva) da estação pluviométrica para PAR.1: Fazenda Limoeiro (X_i) e Guarda-Mor (Y_0).

Anos	Dados	Guarda-Mor	Faz Limoeiro	Equação: $y = 0,5961x + 33,94$				Ye - E < Y0 < Ye + E	
		Y0	Xi	Xi ²	Estimado (Ye)	(Y0-Ye) ²	(Xi-Xm) ²	E Interv. previsão	Situação
01/07/2018	1	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/06/2018	2	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/05/2018	3	1,70	0,00	0,00	33,94	1039,42	5464,45	239,86	OK
01/04/2018	4	58,10	86,20	7430,44	85,32	741,14	150,75	238,74	OK
01/03/2018	5	158,30	104,60	10941,16	96,29	3844,98	941,14	238,90	OK
01/02/2018	6	292,60	196,40	38572,96	151,01	20046,58	15000,87	241,86	OK
01/01/2018	7	241,60	78,80	6209,44	80,91	25820,41	23,80	238,71	OK
01/12/2017	8	221,80	453,60	205752,96	304,33	6811,36	144155,42	267,48	OK
01/11/2017	9	243,20	523,60	274156,96	346,06	10579,76	202210,35	278,24	OK
01/10/2017	10	99,90	99,30	9860,49	93,13	45,80	644,05	238,84	OK
01/09/2017	11	40,50	6,00	36,00	37,52	8,90	4613,39	239,68	OK
01/08/2017	12	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/07/2017	13	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/06/2017	14	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/05/2017	15	65,50	48,60	2361,96	62,91	6,71	641,20	238,84	OK
01/04/2017	16	12,80	0,00	0,00	33,94	446,90	5464,45	239,86	OK
01/03/2017	17	81,00	26,30	691,69	49,62	984,87	2267,85	239,18	OK
01/02/2017	18	142,10	174,60	30485,16	138,02	16,65	10136,07	240,84	OK
01/01/2017	19	87,40	44,80	2007,04	60,65	715,82	848,09	238,88	OK
01/12/2016	20	222,90	224,50	50400,25	167,76	3039,93	22673,75	243,46	OK
01/11/2016	21	232,60	141,70	20078,89	118,41	13039,96	4593,86	239,67	OK
01/10/2016	22	96,10	104,70	10962,09	96,35	0,06	947,29	238,90	OK
01/09/2016	23	7,50	4,60	21,16	36,68	851,59	4805,53	239,72	OK
01/08/2016	24	4,10	5,30	28,09	37,10	1088,96	4708,97	239,70	OK
01/07/2016	25	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/07/1985	26	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/06/1985	27	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/05/1985	28	33,20	5,10	26,01	36,98	14,29	4736,46	239,70	OK
01/04/1985	29	10,80	46,20	2134,44	61,48	2568,44	768,51	238,87	OK
01/03/1985	30	166,20		0,00	33,94	17492,71	5464,45	239,86	OK
01/02/1985	31	114,20	FALHAS DE LEITURA	0,00	33,94	6441,67	5464,45	239,86	OK
01/01/1985	32	465,00	FALHAS DE LEITURA	0,00	33,94	185812,72	5464,45	239,86	ATENÇÃO
01/12/1984	33	296,60		0,00	33,94	68990,28	5464,45	239,86	ATENÇÃO
01/11/1984	34	106,80	129,3	16718,49	111,02	17,77	3066,73	239,35	OK
01/10/1984	35	77,60	FALHA	0,00	33,94	1906,20	5464,45	239,86	OK
01/09/1984	36	102,60	39,10	1528,81	57,25	2056,85	1212,57	238,96	OK
01/08/1984	37	64,80	39,00	1521,00	57,19	57,94	1219,54	238,96	OK
01/07/1984	38	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/06/1984	39	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/05/1984	40	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/04/1984	41	192,00	126,80	16078,24	109,53	6802,05	2796,09	239,29	OK
01/03/1984	42	173,80	91,80	8427,24	88,66	7248,48	319,62	238,77	OK
01/02/1984	43	76,80	85,40	7293,16	84,85	64,75	131,75	238,73	OK
01/01/1984	44	85,20	106,10	11257,21	97,19	143,67	1035,43	238,92	OK
01/12/1983	45	460,80		0,00	33,94	182209,46	5464,45	239,86	ATENÇÃO
01/11/1983	46	228,00	FALHAS DE LEITURA	0,00	33,94	37659,28	5464,45	239,86	OK
01/10/1983	47	233,10		0,00	33,94	39664,71	5464,45	239,86	OK
01/09/1983	48	65,00		0,00	33,94	964,72	5464,45	239,86	OK
01/08/1983	49	0,00	0,00	0,00	33,94	1151,92	5464,45	239,86	OK
01/07/1983	50	42,60	38,40	1474,56	56,83	202,50	1261,81	238,97	OK
Média		106,10	73,92	r=0,7737	R²=0,5986	Erro padrão da estimativa (Se) =		117,55	
Σ		5304,80	3030,80	736455,90	3503,66	663271,37	α =0,05	tc =	2,011

Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Os autores, 2021.

Tabela 5 - Estudo de correlação linear entre os totais mensais de precipitação (mm de chuva) da estação pluviométrica para PAR.2: Lagamar (X_i) e Guarda-Mor (Y_0).

Anos	Dados	Guarda-Mor	Lagamar	Equação: $y = 0,9309x + 10,941$				Ye - E < Y0 < Ye + E	
		Y0	Xi	Xi ²	Estimado (Ye)	(Y0-Ye) ²	(Xi-Xm) ²	E Interv. previsão	Situação
01/07/2018	1	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/06/2018	2	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/05/2018	3	1,70	4,90	24,01	15,50	190,51	9470,79	83,15	OK
01/04/2018	4	58,10	63,80	4070,44	70,33	149,63	1475,94	82,68	OK
01/03/2018	5	158,30	107,20	11491,84	110,73	2262,57	24,82	82,59	OK
01/02/2018	6	292,60	182,30	33233,29	180,64	12534,13	6413,13	82,97	ATENÇÃO
01/01/2018	7	241,60	141,10	19909,21	142,29	9862,28	1511,81	82,68	ATENÇÃO
01/12/2017	8	221,80	280,60	78736,36	272,15	2535,28	31820,14	84,47	OK
01/11/2017	9	243,20	317,60	100869,76	306,59	4018,91	46389,41	85,32	OK
01/10/2017	10	99,90	112,90	12746,41	116,04	260,49	114,11	82,59	OK
01/09/2017	11	40,50	17,90	320,41	27,60	166,30	7109,53	83,01	OK
01/08/2017	12	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/07/2017	13	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/06/2017	14	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/05/2017	15	65,50	64,20	4121,64	70,70	27,09	1445,37	82,67	OK
01/04/2017	16	12,80	16,00	256,00	25,84	169,92	7433,54	83,03	OK
01/03/2017	17	81,00	86,60	7499,56	91,56	111,45	243,92	82,60	OK
01/02/2017	18	142,10	184,90	34188,01	183,06	1678,08	6836,31	83,00	OK
01/01/2017	19	87,40	139,20	19376,64	140,52	2821,98	1367,67	82,67	OK
01/12/2016	20	222,90	137,80	18988,84	139,22	7002,51	1266,08	82,66	ATENÇÃO
01/11/2016	21	232,60	227,60	51801,76	222,81	95,77	15720,65	83,53	OK
01/10/2016	22	96,10	99,60	9920,16	103,66	57,13	6,85	82,59	OK
01/09/2016	23	7,50	8,00	64,00	18,39	118,55	8877,03	83,12	OK
01/08/2016	24	4,10	2,90	8,41	13,64	91,02	9864,07	83,18	OK
01/07/2016	25	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/07/1985	26	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/06/1985	27	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/05/1985	28	33,20	20,00	400,00	29,56	13,26	6759,80	82,99	OK
01/04/1985	29	10,80	31,80	1011,24	40,54	884,68	4958,69	82,88	OK
01/03/1985	30	166,20	207,50	43056,25	204,10	1436,62	11084,30	83,25	OK
01/02/1985	31	114,20	48,70	2371,69	56,28	3355,21	2864,18	82,76	OK
01/01/1985	32	465,00	515,00	265225,00	490,35	642,85	170388,98	92,24	OK
01/12/1984	33	296,60	318,30	101314,89	307,25	113,35	46691,43	85,34	OK
01/11/1984	34	106,80	123,80	15326,44	126,19	375,83	465,78	82,62	OK
01/10/1984	35	77,60	98,40	9682,56	102,54	622,08	14,58	82,59	OK
01/09/1984	36	102,60	82,00	6724,00	87,27	234,86	408,77	82,61	OK
01/08/1984	37	64,80	46,50	2162,25	54,23	111,77	3104,50	82,77	OK
01/07/1984	38	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/06/1984	39	0,00	0,00	0,00	10,94	119,71	10448,52	83,21	OK
01/05/1984	40	0,00	9,60	92,16	19,88	395,12	8578,09	83,10	OK
01/04/1984	41	192,00	122,50	15006,25	124,98	4492,18	411,36	82,61	OK
01/03/1984	42	173,80	109,90	12078,01	113,25	3666,68	59,01	82,59	OK
01/02/1984	43	76,80	100,00	10000,00	104,03	741,53	4,92	82,59	OK
01/01/1984	44	85,20	106,20	11278,44	109,80	605,29	15,86	82,59	OK
01/12/1983	45	460,80	388,20	150699,24	372,32	7829,35	81785,70	87,35	ATENÇÃO
01/11/1983	46	228,00	311,30	96907,69	300,73	5289,68	43715,28	85,17	OK
01/10/1983	47	233,10	209,70	43974,09	206,15	726,26	11552,38	83,28	OK
01/09/1983	48	65,00	10,00	100,00	20,25	2002,56	8504,16	83,10	OK
01/08/1983	49	0,00	4,00	16,00	14,66	215,05	9646,78	83,16	OK
01/07/1983	50	42,60	52,40	2745,76	59,72	293,10	2481,83	82,74	OK
Média		106,10	102,22	r=0,9384	R²=0,8805	Erro padrão da estimativa (Se) =		40,67	
Σ		5304,80	5110,90	1197798,71	5304,79	79397,97	α =0,05	tc =	2,011

Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Os autores, 2021.

Tabela 6 - Estudo de correlação linear entre os totais mensais de precipitação em (mm de chuva) da estação pluviométrica para PAR.3: Vazante (Xi) e Guarda-Mor (Yo).

Anos	Dados	Guarda-Mor	Vazante	Equação: $y = 0,9181x + 13,728$				Ye - E < Y0 < Ye + E	
		Y0	Xi	Xi ²	Estimado (Ye)	(Y0-Ye) ²	(Xi-Xm) ²	E Interv. previsão	Situação
01/07/2018	1	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/06/2018	2	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/05/2018	3	1,70	108,90	11859,21	113,71	12546,04	52,13	99,20	ATENÇÃO
01/04/2018	4	58,10	FALHA	0,00	13,73	1968,87	10338,74	99,95	OK
01/03/2018	5	158,30	125,00	15625,00	128,49	888,61	543,84	99,24	OK
01/02/2018	6	292,60	187,40	35118,76	185,78	11410,53	7347,99	99,74	ATENÇÃO
01/01/2018	7	241,60	119,50	14280,25	123,44	13961,56	317,57	99,22	ATENÇÃO
01/12/2017	8	221,80	304,70	92842,09	293,47	5137,03	41217,29	102,18	OK
01/11/2017	9	243,20	367,60	135129,76	351,22	11668,66	70713,66	104,26	ATENÇÃO
01/10/2017	10	99,90	109,30	11946,49	114,08	200,97	58,07	99,20	OK
01/09/2017	11	40,50	0,00	0,00	13,73	716,74	10338,74	99,95	OK
01/08/2017	12	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/07/2017	13	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/06/2017	14	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/05/2017	15	65,50	56,00	3136,00	65,14	0,13	2086,63	99,35	OK
01/04/2017	16	12,80	0,00	0,00	13,73	0,86	10338,74	99,95	OK
01/03/2017	17	81,00	0,60	0,36	14,28	4451,71	10217,08	99,95	OK
01/02/2017	18	142,10	195,80	38337,64	193,49	2641,14	8858,65	99,85	OK
01/01/2017	19	87,40	92,00	8464,00	98,19	116,49	93,69	99,21	OK
01/12/2016	20	222,90	155,90	24304,81	156,86	4361,31	2939,85	99,41	OK
01/11/2016	21	232,60	211,40	44689,96	207,81	614,33	12038,57	100,08	OK
01/10/2016	22	96,10	111,60	12454,56	116,19	403,53	98,41	99,21	OK
01/09/2016	23	7,50	12,40	153,76	25,11	310,20	7970,85	99,78	OK
01/08/2016	24	4,10	0,00	0,00	13,73	92,70	10338,74	99,95	OK
01/07/2016	25	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/07/1985	26	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/06/1985	27	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/05/1985	28	33,20	8,00	64,00	21,07	147,07	8775,87	99,84	OK
01/04/1985	29	10,80	47,60	2265,76	57,43	2174,32	2924,60	99,41	OK
01/03/1985	30	166,20	202,80	41127,84	199,92	1136,95	10225,34	99,95	OK
01/02/1985	31	114,20	60,60	3672,36	69,36	2010,19	1687,53	99,32	OK
01/01/1985	32	465,00	474,80	225435,04	449,64	235,87	139218,84	108,94	OK
01/12/1984	33	296,60	247,60	61305,76	241,05	3085,85	21292,77	100,75	OK
01/11/1984	34	106,80	191,40	36633,96	189,45	6831,41	8049,75	99,79	OK
01/10/1984	35	77,60	41,80	1747,24	52,10	650,02	3585,57	99,46	OK
01/09/1984	36	102,60	81,20	6593,44	88,28	205,13	419,41	99,23	OK
01/08/1984	37	64,80	58,00	3364,00	66,98	4,74	1907,91	99,34	OK
01/07/1984	38	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/06/1984	39	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/05/1984	40	0,00	11,40	129,96	24,19	585,37	8150,40	99,80	OK
01/04/1984	41	192,00	122,20	14932,84	125,92	4366,59	421,09	99,23	OK
01/03/1984	42	173,80	153,40	23531,56	154,56	370,00	2675,00	99,39	OK
01/02/1984	43	76,80	34,30	1176,49	45,22	997,37	4540,01	99,53	OK
01/01/1984	44	85,20	91,80	8427,24	98,01	164,09	97,61	99,21	OK
01/12/1983	45	460,80	368,30	135644,89	351,86	11867,00	71086,44	104,29	ATENÇÃO
01/11/1983	46	228,00	290,60	84448,36	280,53	2759,18	35690,92	101,79	OK
01/10/1983	47	233,10	228,20	52075,24	223,24	97,25	16007,41	100,37	OK
01/09/1983	48	65,00	24,60	605,16	36,31	822,93	5941,26	99,63	OK
01/08/1983	49	0,00	0,00	0,00	13,73	188,46	10338,74	99,95	OK
01/07/1983	50	42,60	85,60	7327,36	92,32	2471,82	258,55	99,22	OK
Média		106,10	101,68	r=0,9111	R²=0,8300	Erro padrão da estimativa (Se) =		48,85	
Σ		5304,80	4982,30	1158851,15	5260,65	114547,56	α =0,05	tc =	2,011

Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Os autores, 2021.

A coluna situação indica se o intervalo de previsão foi satisfeito ou não. Ao não satisfazer, é necessária atenção caso haja o interesse em preencher as falhas com o dado estimado.

Singh & Devi (2022) destacam que o método de regressão linear tem sido uma abordagem de regionalização mundialmente empregada por diferentes autores. No entanto, Naghetini e Pinto (2007) alertam para a necessidade de verificação da qualidade desse procedimento, que pode ser realizada pela comparação do erro padrão da estimativa (S_e), com o desvio padrão (SY_0) da variável dependente Y_0 , considerando que ambos apresentam as mesmas unidades.

Caso a equação de regressão se ajuste bem aos dados amostrais, o erro padrão da estimativa se aproximará de zero. Por outro lado, se o erro padrão da estimativa (S_e) estiver muito próximo do desvio padrão de Y_0 , o ajuste entre os dados amostrais e a equação de regressão será muito ruim.

Assim, o erro padrão da estimativa deve ser comparado em seus extremos, a saber, zero e o desvio padrão de Y_0 (SY_0). Além disso, deve ser avaliado o coeficiente de determinação R^2 , que expressa a proporção da variância total da variável dependente Y_0 que é explicada pela equação de regressão.

Desse modo temos:

PAR.1 – Faz. Limoeiro (X_i) e Guarda-Mor (Y_0) \Rightarrow ($SY_0 = 115,30$ mm; $S_e = 117,55$ mm);

PAR.2 - Lagamar (X_i) e Guarda-Mor (Y_0) \Rightarrow ($SY_0 = 115,30$ mm; $S_e = 40,67$ mm);

PAR.3 - Vazante (X_i) e Guarda-Mor (Y_0) \Rightarrow ($SY_0 = 115,30$ mm; $S_e = 48,85$ mm).

A medida de dispersão (S_e) dos pontos amostrais do PAR.1 confirma a leitura insatisfatória do seu coeficiente de determinação R^2 (0,60).

Embora PAR.2 e PAR.3 apresentem S_e com valores relativamente altos (41,00 mm e 48,77 mm), ainda assim estão longe dos desvios padrão (SY_0), demonstrando maior afinidade entre os registros das séries pluviométricas.

Importante ressaltar que os valores do erro padrão da estimativa, tem como influência o fato de que a metodologia aplicada na sua determinação considera que as variáveis estudadas obedecem a uma distribuição normal (LARSON; FARBER, 2010), o que não é convencional para os registros de chuva, uma vez que essas amostras apresentam alta variabilidade, dificultando a determinação de uma distribuição estatística característica.

Apesar disso, as duas medidas utilizadas nos estudos de correlação (S_e) e de regressão (R^2) conseguiram atestar com relativa competência, a qualidade dos dados de chuva da estação pluviométrica de Guarda-Mor e, portanto, a mesma foi confirmada como referência, em substituição da estação pluviométrica Fazenda Limoeiro.

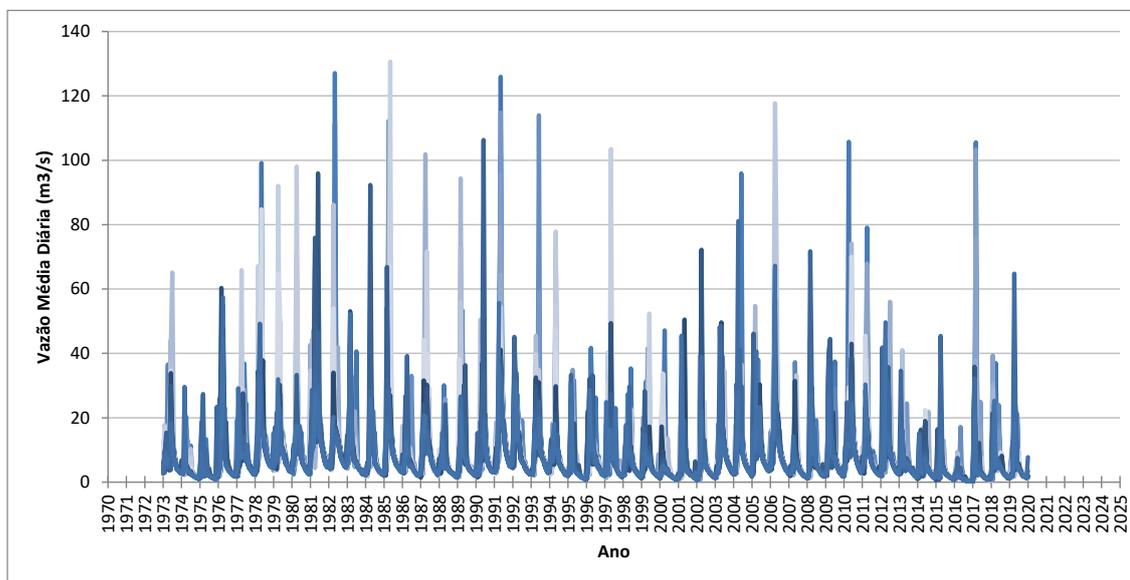
Chuva-vazão dos recortes temporais: 01/07/1983 a 01/07/1985 e; 01/07/2016 a 01/07/2018

O período chuvoso da mesoregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Noroeste e Centro de Minas Gerais – Região “R4”, conforme Pereira *et al.*, (2018) – sofre influência da geomorfologia local, responsável por chuvas orográficas. Além disso, outro modificador do tempo e clima é a área de instabilidade ocasionada pela passagem do anticiclone migratório polar, ou depressões frontais (NUNES *et al.*, 2009).

A estação seca apresentou baixos valores de precipitação, menores que 50 mm mensais, decorrentes da estabilidade ocasionada pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), caracterizada por forte subsidência, que impede a formação de áreas de instabilidade, criando condições desfavoráveis para a precipitação. O ano hidrológico local inicia-se em 01 de julho e encerra-se 30 de junho (Pereira *et al.*, 2018).

A Figura 4 apresenta o fluviograma da série histórica de vazões médias diárias do rio Claro, de 01/10/1973 a 01/10/2020 registrados na estação Fazenda Limoeiro.

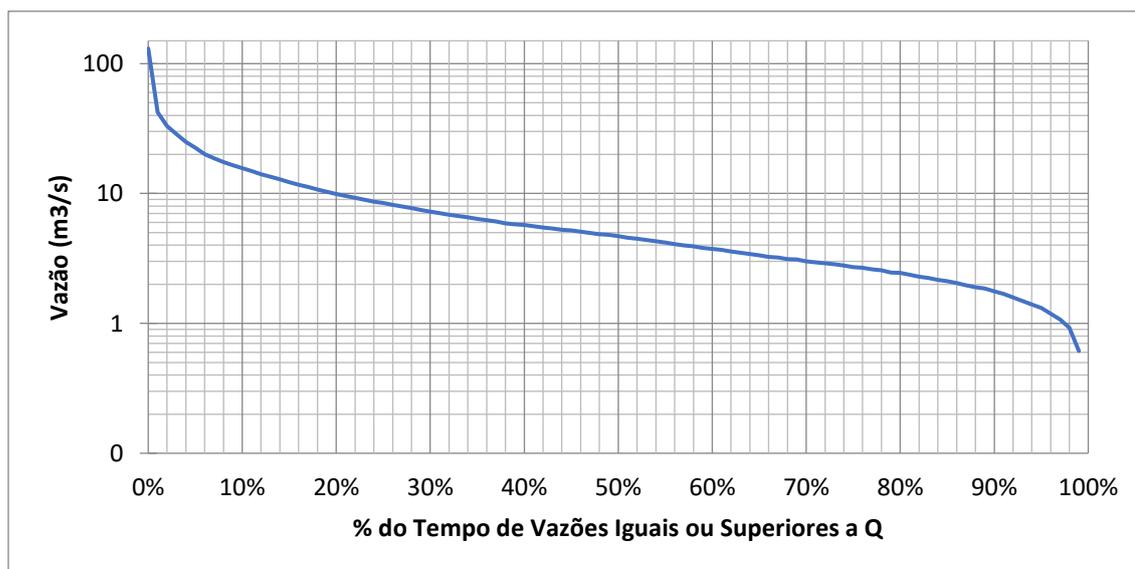
Figura 4 - Fluviograma da série histórica de vazões médias diárias do rio Claro, de 01/10/1973 a 01/10/2020 registrados na estação Fazenda Limoeiro.



Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Souza, 2021.

O padrão de variação das vazões da seção fluvial objeto de análise, é ilustrado por sua curva de permanência (Figura 5), na qual se tem os valores ordenados e suas respectivas porcentagens de serem iguais ou superados no intervalo de tempo considerado.

Figura 5 - Curva de Permanência da seção fluvial do rio Claro - Estação Fazenda Limoeiro.



Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Souza, 2021.

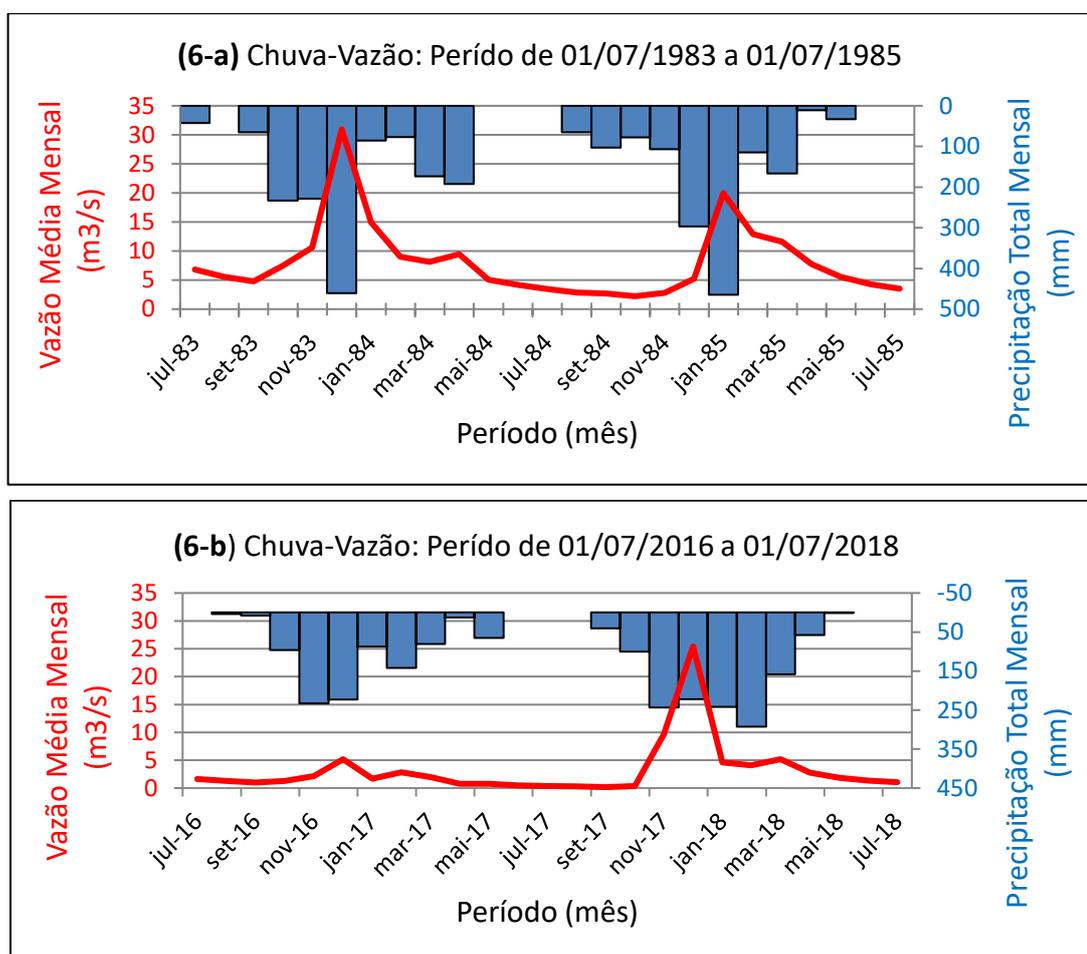
As ordenadas do gráfico foram definidas por meio da fórmula de percentil com sintaxe “PERCENTIL (matriz,k)”, da planilha eletrônica, onde a matriz corresponde a série histórica de vazões médias diárias

de 01/10/1973 a 01/10/2020 da estação Fazenda Limoeiro e o k-ésimo é o percentil imediato para os intervalos de porcentagens definidos, que nesse caso foi de 1% a 100%.

A curva de permanência revela que a vazão Q_{90} , ou seja, a vazão que é excedida em 328,5 dias do ano, é de 1,77 m³/s. Além de seu uso para o cálculo da vazão referencial de outorga, esse tipo de informação possui outras utilizações de interesse prático, tais como a análise entre a oferta e a demanda do recurso hídrico.

As condições climáticas apontadas por Pereira *et al.*, (2018) podem ser observadas na Figura 6-a; b, as quais constituem dois recortes da série histórica de vazões da estação Fazenda Limoeiro com a inserção dos dados da estação pluviométrica de Guarda-Mor, para os períodos entre 01/07/1983 a 01/07/1985 e; 01/07/2016 a 01/07/2018.

Figura 6 - a; b – Chuva-vazão entre os períodos: 01/07/1983 a 01/07/1985 e; 01/07/2016 a 01/07/2018.



Fonte - HIDROWEB, 2021. Organização: Souza, 2021.

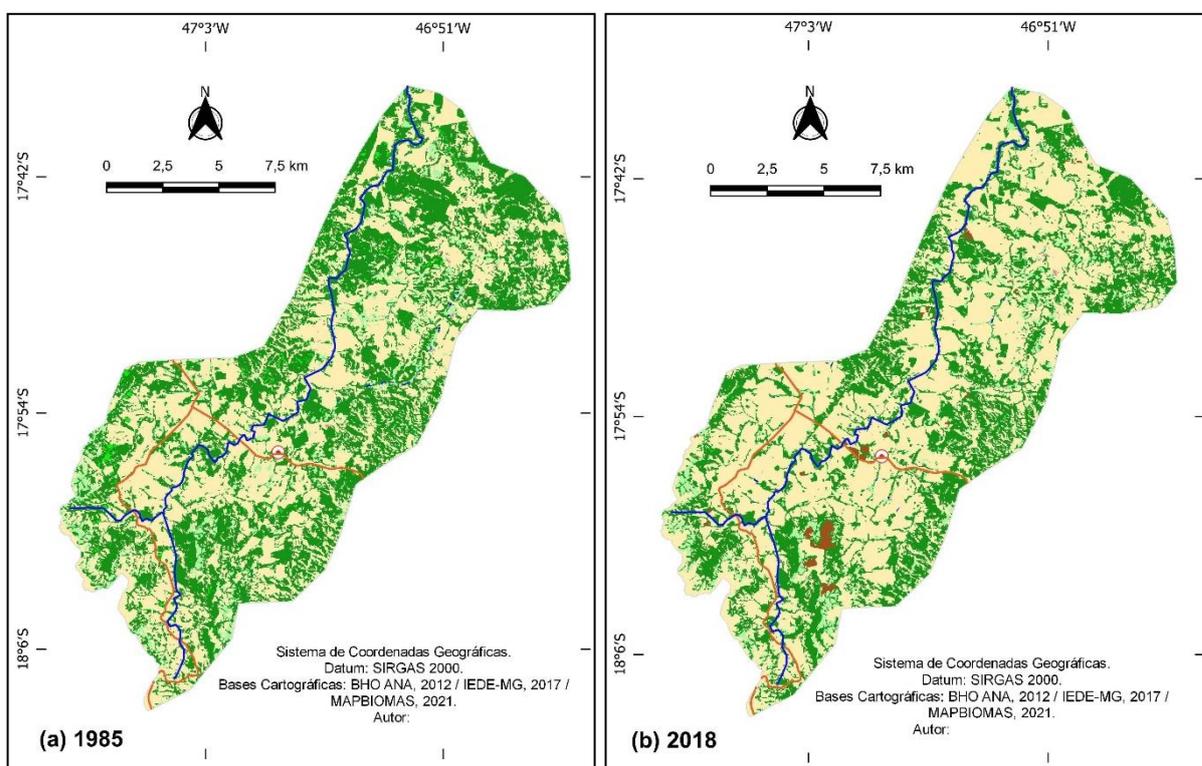
Observa-se na Figura 6-a um comportamento similar quanto a distribuição das chuvas mensais nos anos hidrológicos de 1983-1984 e 1984-1985. Por sua vez, as médias mensais de vazão correspondentes acompanharam os volumes precipitados, com picos de cheia coincidindo com os meses mais chuvosos de dezembro/1983 e janeiro/1985. Fato que chama atenção é a condição de relativa perenidade no período seco de 1984 e a mesma tendência da curva de vazão em 1985, mantendo-se acima de 2,50 m³/s e contrastando com a mesma análise realizada para a Figura 6-b, na qual as vazões no período de estiagem de 2017 apresentaram-se bem abaixo de 2,00 m³/s indicando uma relativa condição de estresse hídrico.

Apesar dos maiores volumes de precipitação anual responderem aos maiores valores de vazão média mensal em dezembro/1983 e janeiro/1985, indicando uma associação positiva entre essas duas variáveis, nota-se que no período entre 01/07/2016 a 01/07/2018 essa simetria não ocorreu.

Ainda que a média anual de precipitação nesse intervalo seja quase 23% menor que a do ano hidrológico anterior, a assimetria entre os dados de chuva e vazão aponta para a necessidade de uma análise mais aprimorada sobre a participação de outras variáveis para esta discrepância, tais como o déficit hídrico de anos anteriores, os efeitos das mudanças climáticas, a presença de barramentos a montante, o aumento da demanda do uso de água, as alterações do manejo e ocupação do solo.

Sobre esta última variável, os mapas de uso e cobertura da terra da sub-bacia do rio Claro dos anos de 1985 e 2018 (Figuras 7-a; b), elaborados a partir dos dados disponíveis no sítio do MapBiomas (2021), demonstram claramente uma sensível alteração da vocação da bacia. As formações naturais que em 1985 cobriam cerca de 44% da área, foram reduzidas a menos de 35%. Enquanto isso, as atividades de agricultura e pastagem que antes correspondiam a 49% passaram a ocupar quase 60% da área total da sub-bacia.

Figura 7 - a; b – Mapas de uso e cobertura da terra da sub-bacia do rio Claro - (a) 1985 e (b) 2018.



Elementos do Mapa	
	Rio Claro
	Rodovias
	Claro de Minas (Distrito de Vazante)
	Silvicultura
	Formação Natural não Florestal
	Mosaico de Agricultura e Pastagem
	Área não Vegetada
	Corpos D'água
	Formação Natural Florestal
	Provável Formação Natural Florestal

Fonte - MAPBIOMAS, 2021. Organização: Souza, 2021.

O mapeamento do uso da terra dá suporte ao diagnóstico que por sua vez, permite o entendimento da dinâmica espaço-temporal, configurando importante ferramenta para o planejamento ambiental de bacias hidrográficas (OLIVEIRA E ASSUNÇÃO, 2013).

Corroborando com a interferência do processo de degradação das áreas naturais e com os impactos desse sobre os recursos hídricos, Vanzela *et al.*, (2010) afirma que as áreas com formações naturais,

tais como as matas, são mais cobertas e mais estáveis, portanto, com maior capacidade de infiltração e armazenamento de água no solo, o que contribui para o aumento do tempo de caminhamento da água até o leito do manancial.

Importante salientar que as áreas de pastagens, mesmo quando bem manejadas, caracterizam-se por apresentar menores valores de infiltração e baixa condutividade hidráulica (ZIGOMAR E ALVES, 2003) e que, a compactação do solo, em função do tipo de uso, é preponderante para a redução dos níveis dos canais fluviais, principalmente nos períodos de estiagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise temporal dos registros de vazão e chuva, para uma seção amostral do rio Claro no noroeste de Minas Gerais, considerando os dois recortes temporais entre: 01/07/1983 a 01/07/1985 e; 01/07/2016 a 01/07/2018, foi viabilizada pelo uso de métodos estatísticos de análise de correlação e de regressão que por sua vez, contribuíram para a definição da estação pluviométrica de referência.

A análise do erro padrão da estimativa analisada entre os pares de registros de chuva das estações, contribui para transmitir a segurança necessária para estabelecimento da relação chuva-vazão da seção amostral e que, aliado a curva de permanência, permitiram indagações sobre o comportamento da vazão do rio Claro no trecho definido.

Apesar da correlação entre as séries de precipitação requerer testes estatísticos mais robustos, os resultados obtidos apresentaram-se confiáveis e não invalidaram os esforços empenhados, demonstrando ser possível qualificar os dados provenientes de uma estação fora da área de estudo, a partir da metodologia adotada. Por outro lado, sugerem-se trabalhos futuros específicos sobre essa temática, considerando, sobretudo, o tratamento e a análise das séries temporais com o uso da “linguagem de programação R” para computação estatística e gráfica, a fim de se estabelecer pontos de inflexão mais precisos, assim como a identificação de prováveis alterações de variância e de valores médios, além de outras observações estatísticas.

Dentre as respostas encontradas nesse estudo, observou-se a significativa assimetria entre os padrões de chuva e vazão dos dois recortes temporais, o que remete a necessidade de uma investigação mais aprofundada sobre as prováveis variáveis que geraram esse tipo de discrepância hidrológica ao longo do tempo, considerando a possibilidade de déficit hídrico de anos anteriores, os efeitos das mudanças climáticas, a presença de barramentos a montante, o aumento da demanda do uso de água local, as alterações de manejo e ocupação do solo, dentre outros fatores possíveis.

Por fim, os mapas de uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Claro de 1985 e 2018, produzidos a partir das informações disponíveis no sítio do MapBiomas, confirmaram a presença de sensíveis mudanças na paisagem, ratificando assim, a importância de trabalhos mais detalhados que possam avaliar com maior profundidade, a relação entre as alterações fisiográficas e a diminuição de vazão detectada, além da contribuição dos impactos para a intensificação dos conflitos locais pelo uso da água.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2019**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos>>. Acesso em: 1 out. 2021.

CARVALHO, H. de P.; RUIZ, M. V. dos S. Avaliação da Consistência de Séries Históricas de Chuva da Bacia Hidrográfica do Rio Araguari, em Minas Gerais. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, [s. l.], v. 12, n. 6, 2016. Disponível em: <<https://www.amigosdanatureza.org.br/publicacoes>>. Acesso em: 2 out. 2021. <https://doi.org/10.17271/1980082712620161480>

CBH DO RIO PARACATU (CBHSF - SF7). **Bacia Hidrográfica do Rio Paracatu**. Minas Gerais. Disponível em: <<https://cbhsaofrancisco.org.br/comites-de-afluentes/cbh-do-rio-paracatu-sf7-minas-gerais/>>. Acesso em: 2 out. 2021.

FAYBISHENKO, B., VERSTEEG, R., PASTORELLO, G. et al. Challenging problems of quality assurance and quality control (QA/QC) of meteorological time series data. **Stoch Environ Res Risk**

Assess 36, 1049–1062. 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s00477-021-02106-w>>. Acesso em: 08 jun. 2022. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02106-w>

GAO, Y., MERZ, C., LISCHIED, G. et al. A review on missing hydrological data processing. **Environ Earth Sci** 77, 47. 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s12665-018-7228-6>>. Acesso em: 08 jun. 2022. <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7228-6>

GUIMARÃES, D. P.; REIS, R. J.; LANDAU, E. C. Índices pluviométricos em Minas Gerais. Sete Lagoas: **Embrapa Milho e Sorgo - Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/879085>>. Acesso em: 3 out. 2021.

LARSON, R.; FARBER, B. **Estatística aplicada**. Tradução Luciane Ferreira Pauleti Vianna. 4o ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

LEIVAS, J. F.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C. Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 397–407, 2006. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200022>>. Acesso em: 24 out. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000200022>

LIMA, A. J. Estimativa da série de precipitação de uma bacia sem dados históricos. **Ciência e Natura**, Santa Maria, v. 40, ed. 67, 2018. DOI 10.5902/2179460X34407. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/download/34407/pdf>. Acesso em: 24 out. 2021.

LIMEIRA, R. C. **Variabilidade e tendência das chuvas no Estado da Paraíba**. 2008. 114 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Pós-Graduação em Meteorologia, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2008. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/6588>>. Acesso em: 25 set. 2021.

NAGHETTINI, M; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p. Disponível em: <<https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/454>>. Acesso em: 3 out. 2021.

NUNES, L.H.; VICENTE, A.K.; CANDIDO, D. H. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I.F. de A. et al., (organizadores). **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de textos, 2009.

OLIVEIRA, D.A. de; ASSUNÇÃO, W.L. O uso da água e do solo da bacia hidrográfica do córrego Lajeado, Araguari – MG. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 14, n. 46, p. 204-219, 2013. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/>. Acesso em: 6 dez. 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG144619584>

PACA, V.H.M. **Análise de informações satelitais e dados convencionais da rede pluviométrica como contribuição a modelagem hidrológica na região Amazônica**: Estudo de caso: bacia do Rio Guamá – Pará. 2008. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br>>. Acesso em: 1 out. 2021.

PEREIRA, G.; CARDOZO, F.; NEGREIROS, A.; ZANIN, G.; COSTA, J.C.; LIMA, T.; RUFINO, P.; RAMOS, R. Análise da variabilidade da precipitação para o estado de Minas Gerais (1981-2017). **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 14 – Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais, p. 213 – 229, 2018. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/61028/36763>>. Acesso em: 2 out. 2021. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.61028>

ROCHA, P.C. Indicadores de Alteração Hidrológica no Alto Rio Paraná: Intervenções Humanas e Implicações na Dinâmica do Ambiente Fluvial. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 22, ed. 1, p. 191-211, 2010. DOI <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/>. Acesso em: 6 dez. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1982-45132010000100014>

SILVIA & SHIMAKURA. **Interpretação do coeficiente de correlação**. 2006. Disponível em: <<http://leg.ufpr.br/~silvia/CE003/node74.html>>. Acesso em: 1 out. 2021.

SINGH, N., DEVI, T. Regionalization methods in ungauged catchments for flow prediction: review and its recent developments. **Arab J Geosci** 15, 1019. 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s12517-022-10287-z>>. Acesso em: 08 jun. 2022.

- STAUDT, M.; ESTEBAN-PARRA, M.-J.; CASTRO-DÍEZ, Y. Homogenization of long-term monthly Spanish temperature data. **International Journal of Climatology**, [s. l.], v. 27, p. 1809–1823, 2007. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/227669578_Homogenization_of_long-term_monthly_Spanish_temperature_data>. Acesso em: 6 out. 2021. <https://doi.org/10.1002/joc.1493>
- SOUSA, J.R.C. **Hydrology Plus**: sistema computacional para estudos meteorológicos e hidrológicos. Orientador: Fernando Falco Pruski. 2017. 131 f. Tese (doutorado) (Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa, [S. l.], 2017. Disponível em: <<https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/20392>>. Acesso em: 6 out. 2021.
- VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 55-64, 2010. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/>>. Acesso em: 29 out. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>
- ROZA DOS SANTOS, J. G.; VESPUCCI, A. G.; BAYER, M. Estações fluviométricas do estado de Goiás: qualificação dos dados hidrológicos disponíveis na base HIDROWEB/ANA. **Ateliê Geográfico**, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 89–108, 2017. DOI: 10.5216/ag.v10i3.35554. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/>>. Acesso em: 2 out. 2021. <https://doi.org/10.5216/ag.v10i3.35554>
- ZIGOMAR, M. de S.; ALVES, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.18-23, 2003. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000100004> >. Acesso em: 29 out. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000100004>
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA) (Brasil). Portal HidroWeb v3.2.6. In: **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. [S. l.], 2021. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>>. Acesso em: 2 out. 2021.

Recebido em: 05/01/2022

Aceito para publicação em: 16/06/2022