

XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

CARACTERIZAÇÃO PLUVIOMÉTRICA E INFLUÊNCIA NA VAZÃO DO RIO DAS VELHAS NA REGIÃO DE NOVA LIMA – MINAS GERAIS

*Thomaz Augusto de Vasconcellos Vidal*¹; *Matheus Alonso Castelo Pena*²; *Matheus Fontana de Lima*³; *Yuri Marcowitsch Fuchs*⁴; *Felipe Augusto Alves Pereira*⁵; *Rodrigo Sérgio de Paula*⁶; *Marília Carvalho de Melo*⁷; *Pedro Benedito Casagrande*⁸

Abstract: The high demand for water resources utilization in the state of Minas Gerais necessitates improved control and understanding of their usage, both for urban and industrial purposes. Considering that a significant portion of the water supply in the Metropolitan Region of Belo Horizonte relies on the Rio das Velhas, understanding the rainfall patterns and their effects on the drainage flow in the region is crucial for water management. By analyzing historical data from rainfall and river flow monitoring stations in Nova Lima, it is observed that precipitation rates, annual rainfall intensity, and the flow of the Rio das Velhas are directly related. It is noticeable that from the year 2013 onwards, there has been a decrease in the river's flow despite not experiencing a significant decrease in precipitation, which may indicate an increase in the number of water abstraction in the region. If this situation of decreased water flow in one of the main drainage systems in the region is not controlled, it could lead to limitations in water supply.

Resumo: A alta demanda de utilização dos recursos hídricos no estado de Minas Gerais gera a necessidade de melhor controle e entendimento de seu uso, seja para abastecimento urbano ou industrial. Sabendo que grande parte do abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte é realizada por captações no Rio das Velhas, o entendimento dos ciclos pluviométricos e seus efeitos sobre a vazão dessa drenagem na região é fundamental para a gestão das águas. Ao analisar os dados de séries históricas de estações pluviométrica e fluviométrica de Nova Lima, tem-se que as taxas de precipitações, intensidade das chuvas anuais e vazão do Rio das Velhas estão diretamente relacionadas. É perceptível que a partir do ano de 2013 ocorre queda na vazão do rio mesmo não ocorrendo queda tão significativa da pluviometria, o que pode evidenciar aumento do número de captações na região. Caso esse quadro, de diminuição hídrica de uma das principais drenagens da região não seja contornado, pode ocasionar limitações para o abastecimento da mesma.

Palavras-Chave – Vazão Rio das Velhas, Estação Pluviométrica, Monitoramento Histórico.

1) Mestrando em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 991912008, thomazavv@gmail.com;

2) Mestrando em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 997011329, matheuspena8@gmail.com;

3) Mestre em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (DEGEOL-IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 998927658, matheusflima@hotmail.com;

4) Graduando em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (DEGEOL-IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 975795099, yuri.fuchs96@gmail.com;

5) Graduado em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (DEGEOL-IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 981041342, felipeapereira@gmail.com;

6) Professor Doutor em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (DEGEOL-IGC-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 991167905, rodrigo.spdm@yahoo.com.br;

7) Secretária da Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD), Belo Horizonte (MG). Rodovia João Paulo II, 4143. Belo Horizonte, MG, +55 31 99189-5779, marilia.melo@meioambiente.mg.gov.br;

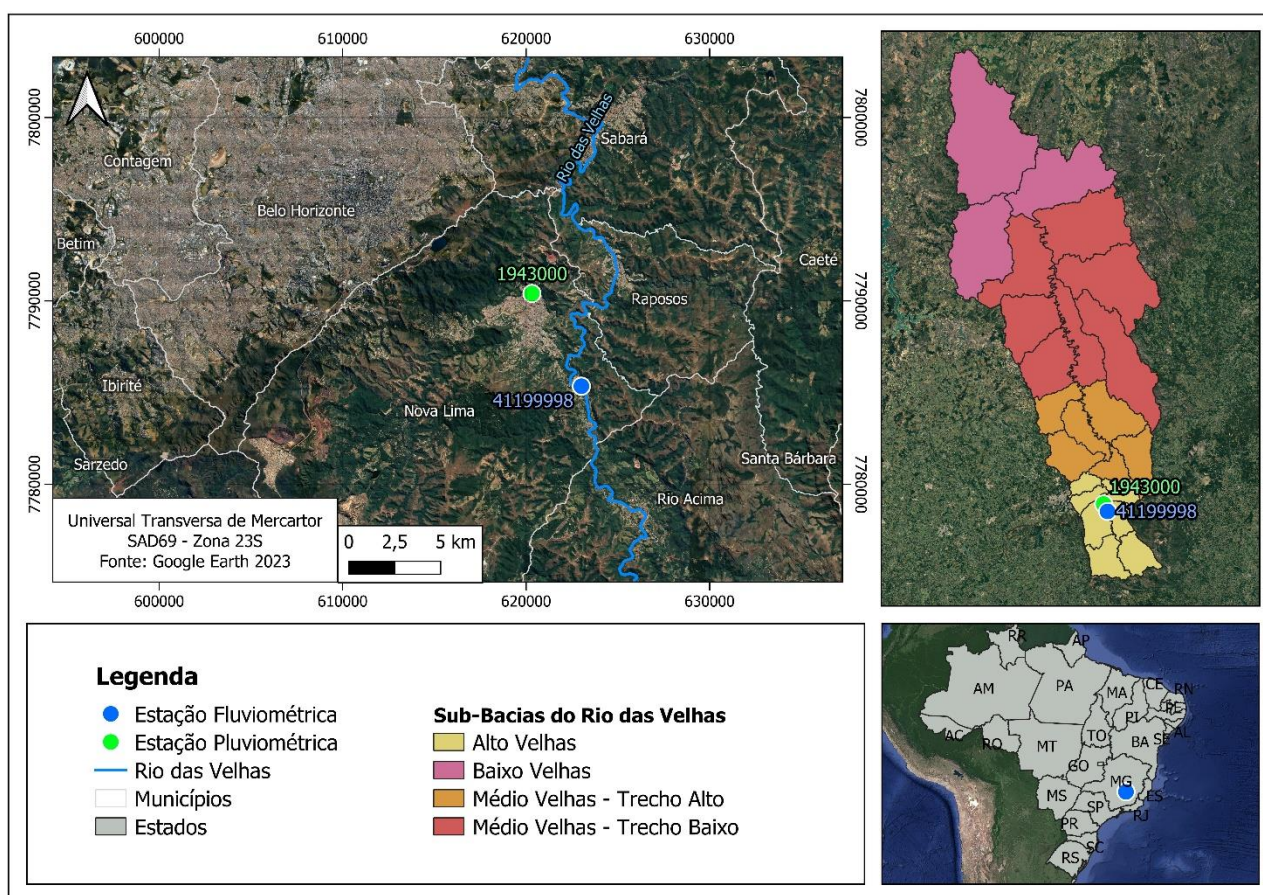
8) Professor Doutor em Geologia, Universidade Federal de Minas Gerais (DEMIN-ENG-UFMG). Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627. Belo Horizonte, MG, +55 31 98881-5600, casagrande@ufmg.br;

INTRODUÇÃO

A gestão das águas é de suma importância para manutenção do abastecimento urbano e industrial, tendo como base programas e políticas públicas de preservação de áreas de produção de água e de uso e ocupação do solo nos municípios CBH Rio das Velhas (2021). A fim de acrescentar conhecimento, a área em estudo abrange o município de Nova Lima, adjacente a capital do estado de Minas Gerais e visa entender a dinâmica das vazões do Rio das Velhas e sua relação com as oscilações pluviométricas da região. Assim foram tratados os dados históricos de estações pluviométrica e fluviométrica, permitindo a construção de gráficos para a interpretação das sazonalidades de precipitação local e vazão do Rio das Velhas, além da comparação e correlação direta entre os eventos. As localizações das estações podem ser melhor visualizadas na Figura 1.

O Rio das Velhas é o maior afluente da bacia do Rio São Francisco, com 806 km de extensão, tem suas nascentes localizadas no Parque Municipal Cachoeira das Andorinhas, em Ouro Preto e deságua no Rio São Francisco em Barra do Guaiçuí, no município de Várzea da Palma. O sistema de abastecimento integrado Rio das Velhas com captação no rio homônimo possui capacidade instalada de 9,0 m³/s, o maior sistema de produção individual de água da COPASA. Este atende a aproximadamente 40% do abastecimento de água em toda a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) e a 74% do abastecimento da capital mineira CBH Rio das Velhas (2015). A captação de água é do tipo superficial, no distrito de Bela Fama, município de Nova Lima, sub-bacia Alto Rio das Velhas.

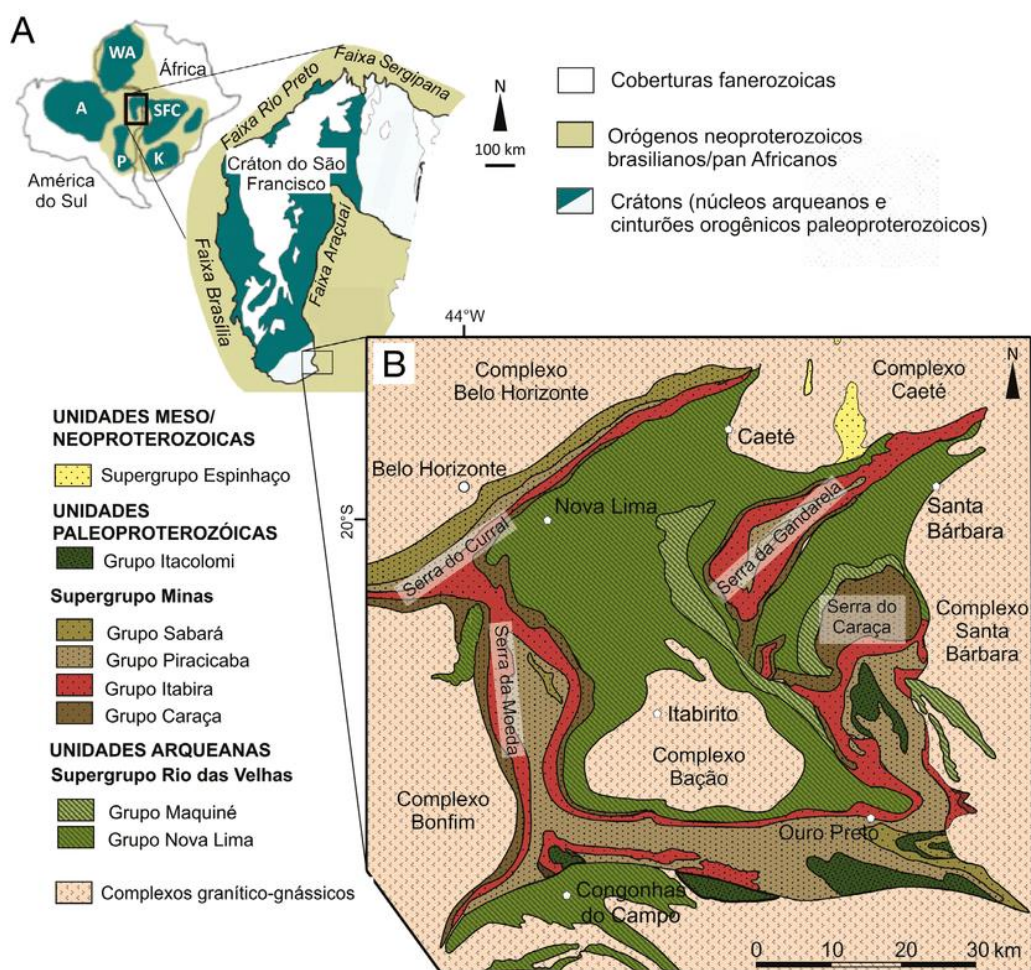
Figura 1 – Mapas de localização e distribuição espacial das estações pluviométrica e fluviométrica da região de Nova Lima (MG), que realizam monitoramento histórico do Alto Rio das Velhas.



CONTEXTUALIZAÇÃO

A área de estudo, está inserida no contexto geológico do Quadrilátero Ferrífero (QF), uma das maiores províncias minerais do Brasil, localizada na borda sul do Crátón do São Francisco em Almeida (1977), porção central do estado de Minas Gerais. É composto essencialmente por terrenos granito-gnáissicos de idade Arqueana e variadas sucessões metassedimentares e metavulcanossedimentares deformadas e metamorfizadas em intensidades diversas, Farina et al. (2016) (Figura 2).

Figura 2 – Localização do Quadrilátero Ferrífero no Cratón São Francisco (Fonte: modificado de Alkmim e Marshak (1998)).

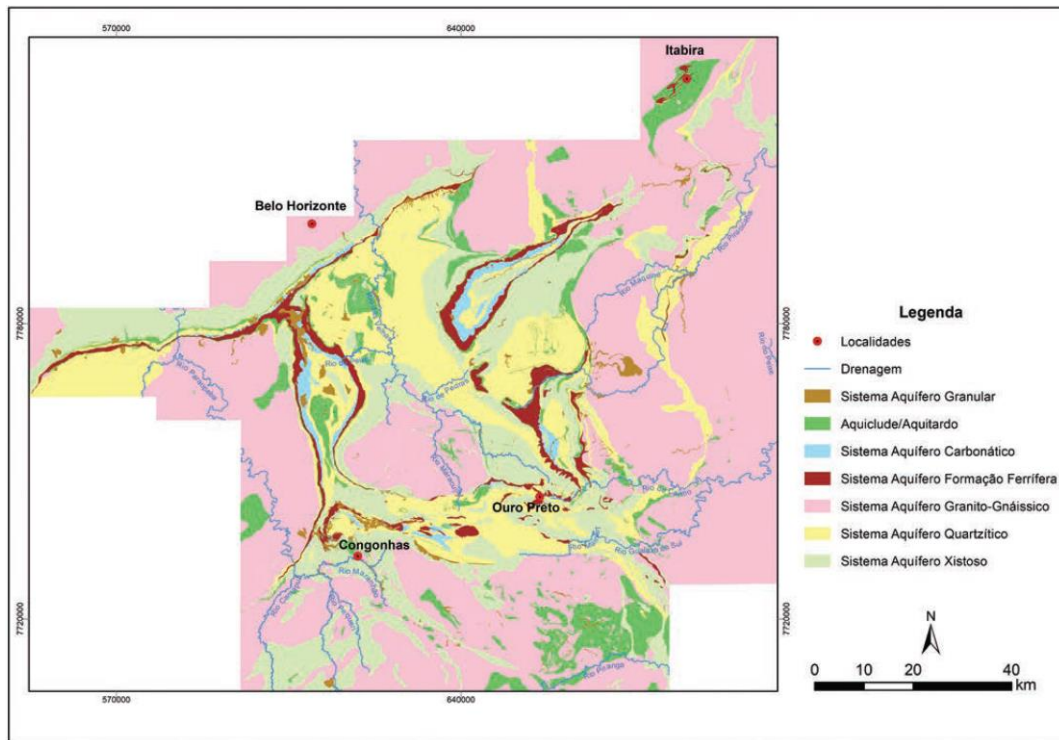


Em relação aos modelos estruturais, o Quadrilátero Ferrífero contém megadobras com eixos dispostos em todos os quadrantes (NE-SW, N-S, NW-SE e E-W), segundo a concepção de Dorr (1963). Endo (1997) detalha a evolução tectônica das rochas arqueanas do QF com a interferência de três eventos deformacionais distintos, denominados Rio das Velhas I, Rio das Velhas II e Rio das Velhas III.

De acordo com Bertachini (1994), na porção norte do QF, destacam-se como potenciais aquíferos os quartzitos da Fm. Moeda, o minério de ferro e os itabiritos alterados da Fm. Cauê e os quartzitos ferruginosos da Fm. Cercadinho, todas constituintes do Supergrupo Minas. As demais unidades têm comportamento de aquíclode ou apresentam zonas aquíferas localizadas (Figura 3). Segundo Mourão (2007), estas zonas apresentam fluxo ao longo das camadas, por lixiviação diferencial e dissolução mineral, e por planos de descontinuidades das rochas, representados por fraturas, clivagens e falhas – algumas apresentam reativação neotectônica gerando superfícies

preferenciais para o escoamento. Ocorre também intensa compartimentação em decorrência de falhas, de diques básicos ou da presença de rochas menos permeáveis na porção oeste do QF.

Figura 3 – Mapa hidrogeológico do Quadrilátero Ferrífero (Ramos, Cordeiro e Fernandes, 2020).



MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foram obtidos os dados de séries históricas de estações pluviométrica e fluviométrica situadas no município de Nova Lima retiradas da plataforma pública Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA). O pluviômetro está inserido na antiga Mineração Morro Velho possui denominação homônima, código de registro 1943000, e realiza o monitoramento pluviométrico desde janeiro de 1855 até dezembro de 2019. O fluviômetro denominado Honório Bicalho Montante, código de registro 4199998, realiza o monitoramento da vazão do Rio das Velhas desde abril de 1971 até outubro de 2022. O pluviômetro escolhido está localizado a 5,7 km da estação fluviométrica e possui série histórica de monitoramento centenária, sendo assim, representativo para o estudo.

A base de dados públicas da estação Mineração Morro Velho possui intervalos com escassez de dados de monitoramento pluviométrico, desta forma para suprir os dados faltantes foi adotada a planilha normalizada por Cruz *et al.* (2022). No estudo de Cruz *et al.* (2022), foram adotados os métodos de Dupla Massa, desenvolvido pela *U.S. Geological Survey*, e de Regressão Linear, Tucci (2001, 2012), Barbosa *et al.* (2005) e Oliveira *et al.* (2010), o qual por comparação à similaridade com outras estações próximas foram produzidos os dados e preenchidas as lacunas de monitoramento.

De posse dos dados retirados das planilhas de Cruz *et al.* (2022), iniciou-se a etapa de tratamento e análise. Para os dados pluviométricos foi estabelecida uma segmentação matemática e posteriormente aplicado um ajuste manual sobre os mesmos, a fim de agrupar as informações em períodos secos e úmidos de forma quali-quantitativa por meio de planilhas de Excel do pacote Microsoft Office™. Além da média pluviométrica anual total, os dados foram interpretados utilizando intervalo de 20% acima e abaixo sobre a média, alcançando os valores de referência que contribuiriam na delimitação dos períodos e respectivos ajustes manuais.

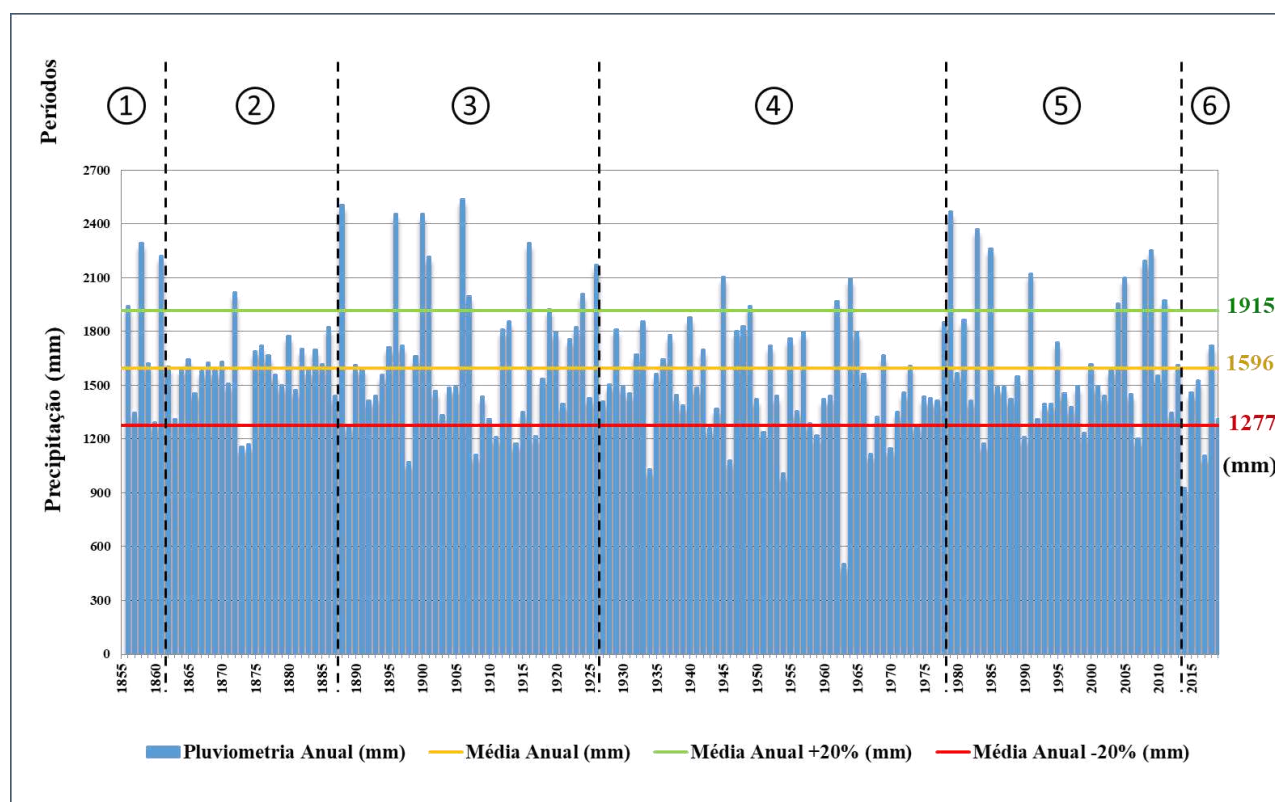
A construção de gráficos permitiu a interpretação das sazonalidades de precipitação local e vazão do Rio das Velhas, além da comparação e correlação direta entre os eventos. Os dias em que ocorreram precipitações acima de 1 mm/dia foram contabilizados e utilizados para um melhor entendimento da intensidade de chuvas anuais, por meio de gráficos e análise de coeficiente de correlação dos dados, além da sua relação com a infiltração d'água e escoamento superficial Chow (1953).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Objetivando a análise centenária da pluviometria da área de estudo, foram analisados os dados normalizados por Cruz *et al.* (2022) da estação pluviométrica Mineração Morro Velho que possui mais de 160 anos de dados de precipitação mensal com fim do monitoramento no ano de 2019. Essa estação é uma das mais antigas do estado de Minas Gerais e localiza-se no município de Nova Lima.

A partir dos dados de monitoramento pluviométrico foi confeccionado o gráfico da Figura 4 no qual podem ser observados os períodos secos e úmidos, além da média geral plurianual centenária.

Figura 4 – Gráfico de precipitação plurianual, médias, períodos secos e úmidos entre os anos 1856 e 2019.



Através da análise dos 163 anos de monitoramento, tem-se que a pluviometria média anual total é de 1595,8 mm, com pluviometrias máximas e mínimas de 2537,1 mm no ano de 1906 e 504,9 mm em 1963, respectivamente. Foram aferidos que 71 anos apresentam precipitações médias anuais superiores à média total e o restante, 93 anos, estão abaixo da média total. A fim de discernir os anos em que houveram precipitações anuais extremas, tem-se que ocorreram em 27 anos chuvas com picos superiores à 1915 mm e apenas 22 anos com picos inferiores a 1277 mm.

Pode-se afirmar que normalmente ocorrem precipitações abaixo da média total, no entanto os anos com grandes volumes de chuvas, representados pelos picos ascendentes do gráfico acima, são mais expressivos e atingem de forma geral pluviometrias anuais bem superiores aos anos de estiagem, quando comparados em módulo da diferença com a média total, 1595,8 mm.

Foram interpretados no total 6 períodos, sendo 4 deles completos e 2 incompletos, devido estarem nas extremidades temporais do monitoramento, são eles os períodos 1 e 6 (Figura 4). Observa-se que os períodos secos e úmidos se dão de maneira alternada e não exibem temporalidade de ciclos definidas, a exemplo e tomando como referência apenas os períodos completos, tem-se intervalos que variam desde 25 a 51 anos. Além disso, a diferença do percentual entre os períodos completos, seja úmido ou seco, e a média total plurianual ao longo de todo o monitoramento é de no máximo $|5,4|\%$. O que demonstra que, mesmo ocorrendo alguns anos com extremos chuvosos ou de estiagem, de maneira geral os períodos supracitados apresentam pouca variação pluviométrica média, sendo esta variação em módulo inferior a 90 mm em relação à média total dos 163 anos analisados. No entanto para os períodos 1 e 6 essa diferença percentual é bastante acentuada, $|11,9|\%$ e $|-13,5|\%$, respectivamente. Entende-se que para os períodos 1 e 6, devido ao curto intervalo de tempo, apenas 5 e 6 anos monitorados, os valores analisados podem ser considerados como pouco representativos frente aos demais períodos interpretados.

Os períodos e respectivos percentuais supracitados estão dispostos na Tabela 1, onde foram comparadas médias pluviométricas anuais dos mesmos com a média pluviométrica anual de todos os anos.

Tabela 1 – Períodos pluviométricos, intervalos, médias pluviométricas e correlações das médias plurianuais.

Período	Ano Início	Ano Término	Intervalo (anos)	Média Pluviométrica Anual do Período (mm)	Média Pluviométrica Anual Total (mm)	Diferença Média Total por Período (mm)	Percentual de Diferença (%)
1	1856	1861	5	1786,3	1595,8	190,5	11,9
2	1862	1887	25	1581,7		-14,1	-0,9
3	1888	1926	38	1682,7		86,9	5,4
4	1927	1978	51	1511,3		-84,5	-5,3
5	1979	2012	33	1646,7		50,9	3,2
6	2013	2019	6	1380,8		-215,0	-13,5

No intuito de avaliar a interferência pluviométrica quanto a intensidade, foram confeccionados dois gráficos, Figura 5 e Figura 6, os quais apresentam gráfico de correlação e gráfico de precipitação plurianual e os dias de chuva por ano ao longo de 60 anos de monitoramento, entre os anos 1942 e 2002, respectivamente.

Figura 5 – Gráfico de correlação da precipitação plurianual e os dias de chuva por ano entre os anos 1942 e 2002.

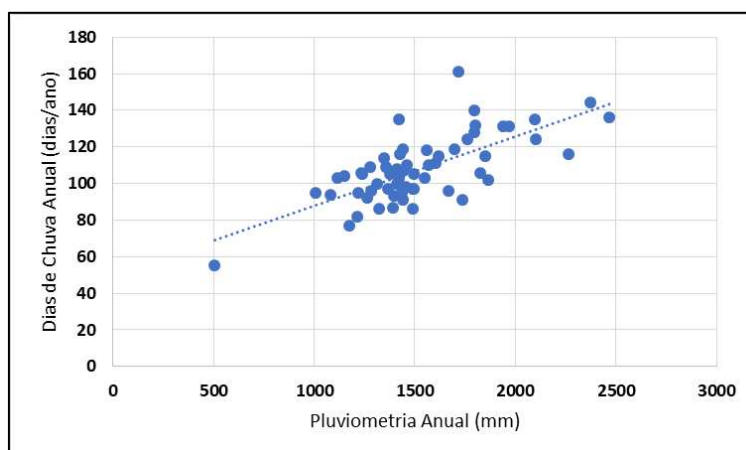
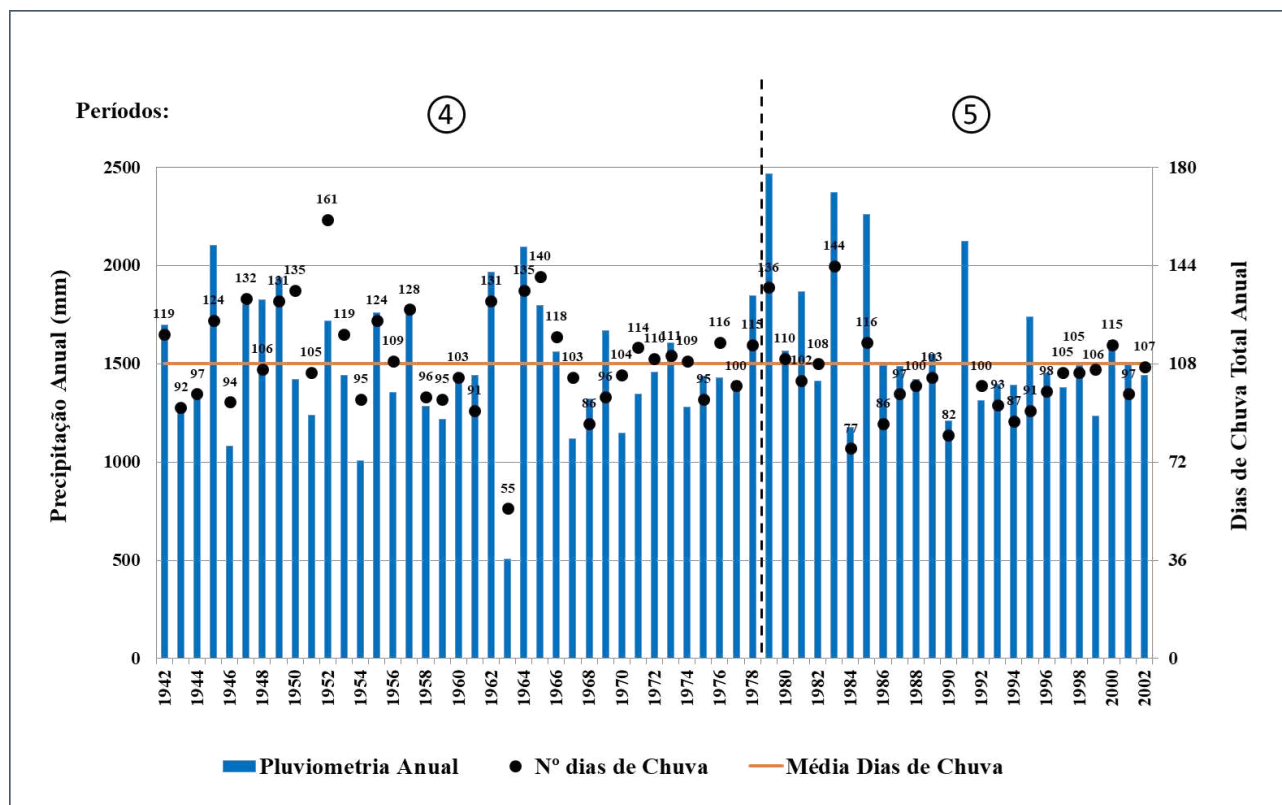


Figura 6 – Gráfico de precipitação pluri-anual, dias de chuva por ano e média de dias de chuva anuais entre os anos 1942 e 2002.



Ao analisar o número de dias de chuva anual entre 1942 e 2002, tem-se uma média 108 dias de chuva, com máximo de 161 dias e mínimo de 55 dias. As intensidades média, máxima e mínima das chuvas em mm/dia, modificado de Chow (1953), foram de 14,2 mm/dia, 19,5 mm/dia e 9,2 mm/dia, respectivamente. Por meio do gráfico de correlação, foi retirada o coeficiente de correlação entre a precipitação pluri-anual e os dias de chuvas anuais ano a ano, o qual demonstrou um coeficiente de 0,709, ou seja, aproximadamente 71% de correlação direta entre intensidade de chuvas e média pluri-anual. De maneira geral é possível correlacionar o volume de precipitação com a quantidade de dias chuvosos, ou seja, normalmente os dias de chuvas aumentam com o aumento da precipitação e vice-versa.

A fim de entender a dinâmica das vazões do Rio das Velhas, os dados históricos, de 1972 e 2019, da estação fluviométrica Honório Bicalho Montante situada a 5,7 quilômetros do pluviômetro Mineração Morro Velho foram tratadas e então comparadas as precipitações anuais. A proximidade entre as estações garante assertividade na interpretação das relações entre as mesmas.

O gráfico da Figura 7, abaixo, apresenta a precipitação anual da estação Mineração Morro Velho e a vazão do Rio das Velhas entre os anos de 1972 e 2019, e também apresenta a quantidade de dias de chuvas por ano que ocorreram entre os anos 1972 e 2002. A termo de comparação entre as precipitações pluri-anuais e as vazões anuais do Rio das Velhas e a fim de se obter uma relação direta entre elas e definir se ocorrem captações superficiais, foi confeccionada a Tabela 2 e comparada a Tabela 1. A Tabela 2, abaixo, apresenta a variação média percentual por período, de parte do 4º até o 6º, da vazão média anual.

Figura 7 – Gráfico de precipitação plurianual, dias de chuva e vazão média anual do Rio das Velhas entre os anos de 1972 e 2019.

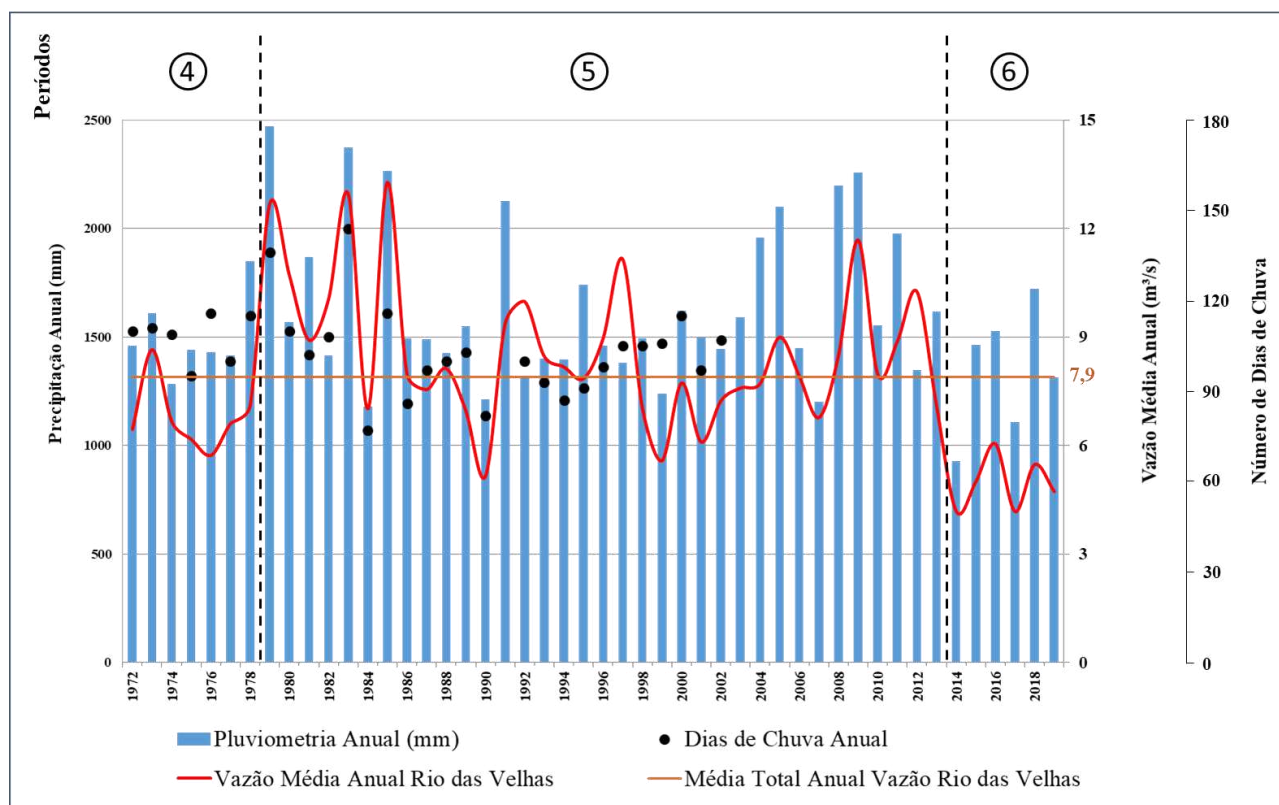


Tabela 2 – Períodos fluviométricos, intervalos, médias pluviométricas e correlações das médias plurianuais.

Período	Ano Início	Ano Término	Intervalo (anos)	Média Fluviométrica Anual do Período (m³/s)	Média Fluviométrica Anual Total (m³/s)	Diferença Média Total por Período (m³/s)	Percentual de Diferença (%)
4*	1972	1978	6	6,767	7,902	-1,135	-14,4
5	1979	2012	33	8,649		0,747	9,5
6	2013	2019	6	5,243		-2,660	-33,7

*Período incompleto.

Por meio da análise dos 49 anos de monitoramento da vazão do Rio das Velhas, tem-se uma média anual de 7,902 m³/s, com vazões máxima e mínima de 13,269 m³/s no ano de 1985 e 4,175 m³/s em 2017, respectivamente. Observa-se que a pluviometria influencia diretamente a vazão do rio, podendo-se correlacionar os períodos úmidos com aumento de vazão e os períodos secos com a redução da vazão do rio (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**). Ao comparar os dados da Tabela 1 e Tabela 2, tem-se que, para os períodos 4 e 5 a diferença percentual modular é de 8,2% e 6,3%, entre as médias percentuais de precipitação e de vazão, no entanto a partir de 2013, período 6, ocorre queda brusca da vazão, bem superior a queda percentual da precipitação para o mesmo período analisado, atingindo 20,2% de diferença modular.

Outro fator importante para o aumento ou redução da vazão é a intensidade das chuvas anuais, como pode ser observado no gráfico através dos dias de chuva e precipitações anuais (Figura 7). De maneira geral quando ocorrem muitos dias chuvosos com baixa a média precipitação anual, a exemplo do período 4 compreendido entre 1972 e 1978, as vazões médias anuais da drenagem em estudo

reduzem. Esse fenômeno ocorre segundo Chow (1953), pois a intensidade das chuvas tem relação direta com a taxa de infiltração, uma vez que ocorre grande precipitação em um curto espaço de tempo a água tende a aumentar o escoamento superficial, de maneira a abastecer as drenagens, aumentando assim suas vazões. Enquanto que o inverso, o aumento da duração das chuvas para o mesmo volume de precipitação, reduz a intensidade das chuvas permitindo maior infiltração d'água no solo e redução da vazão das drenagens. Vale ressaltar que no presente estudo o relevo, declives, aclives e vegetação não foram considerados para as interpretações de infiltração.

CONCLUSÃO

Após análise dos dados históricos de monitoramento da estação pluviométrica localizada no município de Nova Lima, conclui-se que existem períodos secos e úmidos, os quais foram separados de maneira a sempre alternarem. Apesar dos períodos completos com intervalos iniciais e finais bem definidos apresentarem alguns anos com picos chuvosos ou de estiagem, observa-se pluviometria média próxima a média plurianual centenária. Entende-se também que desde o ano de 2013 até 2019 presenciou-se um dos períodos de recessão, que mesmo sem ter espaço amostral conclusivo apresentou grande aumento percentual em relação a última recessão ocorrida entre 1927 e 1978.

Nesse sentido, é conclusivo que ocorre correlação direta entre a pluviometria, intensidade de chuvas e a vazão do Rio das Velhas. Desta maneira, quando as chuvas se dão com baixa intensidade a vazão da drenagem sofre leve redução. Sendo, o fator regente e de maior influência para o controle da vazão, as taxas de precipitação plurianual.

É importante ressaltar que a partir do ano 2013 as vazões do Rio das Velhas sofreram considerável queda sem manter a variação percentual padrão com as taxas de precipitações plurianuais. Especula-se que isso se dá pelo aumento das captações antrópicas d'água na região a montante a partir da mesma data até os dias atuais. Vale ressaltar que a bacia do Rio das Velhas é responsável por grande parte do abastecimento de água da RMBH, de maneira a ser fundamental uma boa gestão das águas na região.

REFERÊNCIAS

ALKMIM, F.F. & MARSHAK, S. 1998. Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero. *Precambrian Research*. v. 90. p. 29-58.

ALMEIDA F.F.M. 1977. O cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, 7, 349-364, 285-295.

BARBOSA, S. E. d. S.; BARBOSA JÚNIOR, A. R.; SILVA, G. Q. d.; CAMPOS, E. N. B. (2005). Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio do Carmo, Minas Gerais. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 10, n. 1, p. 64-71.

BERTACHINI A.C. 1994. Hidrogeologia e desaguamento da Mina de Águas Claras. *Revista Águas Subterrâneas*, [S. 1.].

CBH RIO DAS VELHAS (2015). Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio das Velhas. *Resumo Executivo*, Belo Horizonte. 35 p.

CBH RIO DAS VELHAS (2021). Rio das Velhas perdeu 40% de água superficial em 30 anos, indica estudo. <https://cbhvelhas.org.br/noticias/rio-das-velhas-perdeu-40-de-agua-superficial-em-30-anos-indica-estudo/>

CHOW, V.T. (1953). Frequency of hydrologic data with special application to rainfall intensities. *University of Illinois Bulletin*, p.50-81.

CRUZ, C. E.; CAETANO, I. S. H.; MOTA, A. C. V.; FERREIRA, J. J.; SOUZA, J. V. F.; VELÁSQUEZ, L. N. M.; DE PAULA, R. S. (2022). Caracterização pluviométrica do Quadrilátero Ferrífero na região do Sinclinal Moeda – Minas Gerais. *Alemur*, v. 7, n. 1, p. 17-35.

DE OLIVEIRA, L. F.; FIOREZE, A. P.; MEDEIROS, A. M.; SILVA, M. A. (2010). Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, ed. 14, n. 11, p. 1186-1192.

DORR J.V.N., BARBOSA A.L.M. 1963. Geology and ore deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geological Survey Professional Paper, 341(C)-110.

ENDO, I. 1997. Regimes Tectônicos do Arqueano e Proterozoico no Interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e Áreas Adjacentes. Instituto de Geociências, USP. Tese de doutoramento.

FARINA F., ALBERT C., DOPICO C. M., AGUILAR C. G., MOREIRA H., HIPPERTT J., CUTTS K., ALKMIM F. F., LANA C. C. 2016. The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brazil: current models and open questions. *Jour. South Am. Earth Sci.* 68, 4-21;

MOURÃO M.A.A. 2007. Caracterização hidrogeológica do aquífero Cauê, Quadrilátero Ferrífero, MG. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

TUCCI, C. E. (2001). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH.

TUCCI, C. E. (2012). Hidrologia: ciência e aplicação. Porto Alegre: Editora da Universidade/UFRGS: ABRH.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento de bolsa de estudos, ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) e a Secretaria de Estado de Meio-Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) pela parceria e fornecimento de dados. Ao Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC-UFMG), PPGEOL (Programa de Pós-graduação em Geologia) e LEHID (Laboratório de Estudos Hidrogeológicos) pelos laboratórios e disponibilidade de local de trabalho.