



Revista Brasileira de Geografia Física

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



Deposição atmosférica e transporte específico de sedimentos suspensos em bacias hidrográficas sob influência de mineração no Planalto de Poços de Caldas (MG)¹

Diego de Souza Sardinha², Leonardo Barbosa Silva³, Adriano Mota Ferreira⁴, Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes⁵

¹Pesquisa financiada com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), Processo n.: CAG - APQ-02752-18.

²Professor Associado da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL), lotado no Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e Solos (LEAS) do Campus de Poços de Caldas (MG). E-mail: diego.sardinha@unifal-mg.edu.br (autor correspondente).

³Engenheiro de Meio Ambiente da Hatch, Mining & Metals Consulting and Technologies. E-mail: leonardo.bsilva06@gmail.com.

⁴Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Desastres no Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista "Júlio Mesquita Filho" (UNESP) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). E-mail: adrianomotaferreira@gmail.com.

⁵Professor Adjunto da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL) lotado no Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), Campus Poços de Caldas (MG). E-mail: paulo.menezes@unifal-mg.edu.br.

Artigo recebido em 18/01/2022 e aceito em 26/06/2022

RESUMO

A caldeira vulcânica de Poços de Caldas, formação geológica rica em bauxita, está localizada na região Sul do estado de Minas Gerais. Apesar da importância econômica e social, a mineração pode ocasionar alguns impactos como erosão, aumento do escoamento superficial e assoreamento. O presente estudo quantificou a deposição atmosférica e o transporte específico de sólidos totais suspensos nas sub-bacias hidrográficas dos Córregos Gigante e Chapadão, sob influência de mineração, no Planalto de Poços de Caldas (MG). Foram coletadas e analisadas 14 amostras de águas pluviais e 26 de águas fluviais. A deposição pluvial e o transporte fluvial foram de 6,00 t/ano e 1,47 t/ano para o Gigante, e de 26,65 t/ano e 40,64 t/ano para o Chapadão, respectivamente. O transporte específico no Gigante (0,40 t/km²/ano) e Chapadão (2,49 t/km²/ano) apresentam valores abaixo de outras bacias da região do Planalto. Por outro lado, a deposição atmosférica foi de 1,64 t/km²/ano, acima de outras bacias da região, apesar da pequena quantidade de estudos. As diferenças foram de -1,24 t/km²/ano para o Gigante e de 0,85 t/km²/ano para o Chapadão, indicando que as águas pluviais contribuem com aproximadamente 400% de sólidos suspensos para o Gigante e 65% para o Chapadão. As atividades de mineração, empregando procedimentos adequados, juntamente com a cobertura vegetal nas principais redes de drenagem, podem estar atenuando o transporte de sólidos totais suspensos carregados pelo escoamento superficial. Por outro lado, medidas para o controle da poluição atmosférica do tipo difusa e diminuição dos materiais particulados podem ser adotadas.

Palavras-chave: deflúvio, nitrato, fosfato, sulfato, reservatório do Cipó.

Suspended sediments atmospheric deposition and specific transport in hydrographic basins under mining influence in the Poços de Caldas Plateau (MG)

ABSTRACT

Poços de Caldas volcanic caldera, a geological formation rich in bauxite, is located in the southern region of Minas Gerais State. Despite its economic and social importance, mining can cause some impacts such as erosion, increased runoff and silting. The present study quantified total suspended solids atmospheric deposition and specific transport in the Gigante and Chapadão Stream hydrographic sub-basins, under mining influence, in Poços de Caldas Plateau (MG). 14-rainwater samples and 26-river water were collected and analyzed. Rain deposition and fluvial transport were 6.00 t/year and 1.47 t/year for Gigante, and 26.65 t/year and 40.64 t/year for Chapadão, respectively. The specific transport in the Gigante (0.40 t/km²/year) and Chapadão (2.49 t/km²/year) have values below other basins in the Plateau region. On the other hand, atmospheric deposition was 1.64 t/km²/year, above other basins in the Plateau region, despite the small numbers of studies. The differences were -1.24 t/km²/year for Gigante and 0.85 t/km²/year for Chapadão, indicating that rainwater contributes with approximately 400% of suspended solids for Gigante and 65% for the Chapadão. Mining activities, employing adequate procedures, with vegetation cover in the main drainage, may be mitigating total suspended solids transport

carried by surface runoff. Nevertheless, measures to control air pollution diffuse type and reduce particulate matter can be adopted.

Keywords: defluvium, nitrate, phosphate, sulfate, Cipó reservoir.

Introdução

A exploração dos recursos naturais pela mineração é um dos setores da economia que contribui para o desenvolvimento de uma sociedade. O município de Poços de Caldas está localizado sobre uma formação geológica rica em bauxita, matéria-prima para fabricação de alumínio. Atualmente o município conta com aproximadamente 13 empresas mineradoras operando em 96 lavras. A cadeia produtiva do alumínio, em Poços de Caldas, possui três etapas principais: mineração e extração da matéria prima bauxita, etapa de refinaria e/ou produção de alumina, e, etapa de redução ou produção de alumínio primário. Apesar da importância econômica e social, a extração da matéria prima bauxita também pode ocasionar impactos como erosão, perda de nutrientes, compactação dos solos, aumento do escoamento superficial e assoreamento de corpos d'água.

Os depósitos de bauxita se localizam, em sua maioria, no norte do Planalto de Poços de Caldas, em uma área praticamente contínua no dique anelar. Já no interior do Planalto, estes estão distribuídos numa região de argilas residuais, sendo o principal mineral a gibbsita, acompanhado de óxidos e hidróxidos de alumínio, provenientes da alteração das rochas alcalinas (Schorscher e Shea, 1992). A extração é normalmente realizada em pequenas covas com vida útil da mina entre 2 e 8 anos, em áreas de até 50 hectares e produções de minério entre 15.000 e 20.000 toneladas/mês (Melo e Sanches, 2020). O uso da terra antes da mineração é predominantemente agrícola em uma paisagem com áreas de florestas nativas que atualmente não são mineradas (Melo e Sanches, 2020).

Segundo Barros et al., (2012) a mineração de bauxita implica na retirada do horizonte A, bem como das camadas do subsolo, em especial os horizontes B e C comprometendo o perfil topográfico com o rebaixamento da cota e a permeabilidade do restante do terreno. As evidências encontradas em algumas minas reabilitadas na região de Poços de Caldas, de acordo com Melo e Sanches (2020), indicam uma série de problemas recorrentes, como erosão do solo e sedimentação de riachos resultantes do rápido escoamento superficial.

Tendo em vista a importância de estudos relacionados ao uso da terra e a erosão hídrica em

bacias hidrográficas (Braga et al., 2018; Cabral e Filho, 2018; Alves et al., 2019; Sardinha et al., 2019; Félix-Faure et al., 2019; Melo et al., 2020; Libânio e Sardinha, 2020; Degrande et al., 2020; Martins et al., 2020; Calado et al., 2020; Anjinho et al., 2020; Rocha et al., 2020; Reis e Sardinha, 2021; Ferreira et al., 2021; Oliveira et al., 2022; Santos et al., 2022), o presente estudo tem como objetivo quantificar a deposição atmosférica e o transporte específico anual de sedimentos suspensos em duas bacias hidrográficas sob influência de mineração a montante do Reservatório Lindolpho Pio da Silva Dias no Planalto de Poços de Caldas (MG). O reservatório armazena aproximadamente 32 milhões de metros cúbicos de água é responsável pela regularização do escoamento que alimenta as turbinas da PCH instaladas à sua jusante, e por 47% do abastecimento público de água do município de Poços de Caldas.

Área de estudo

A caldeira vulcânica de Poços de Caldas está localizada na região Sul do estado de Minas Gerais (Figura 1), abrangendo os municípios de Águas da Prata (SP), Andradas, Caldas (MG) e Poços de Caldas (MG). A intrusão alcalina que deu origem a Caldeira Vulcânica, segundo Schorscher e Shea (1992), surgiu a partir da abertura continental entre 145 a 125 Ma e o magmatismo alcalino na crosta continental ocorreu entre 140 a 50 Ma se estendendo para as ilhas oceânicas da costa brasileira. As idades da intrusão alcalina variam entre aproximadamente 53 a 84 Ma (Ulbrich et al., 2002). De acordo com Ellert (1959), a litologia é formada por rochas alcalinas efusivas, tufos, rochas piroclásticas e fonólitos, rochas hipoabissais tinguaítos, e, rochas plutônicas que correspondem aos foiaítos, lujauritos e chibinitos.

A região situa-se na província geomorfológica denominada Planalto Sul de Minas, subdividido em três unidades: a Superfície do Alto Rio Grande, o Planalto de São Pedro de Caldas e o Planalto de Poços de Caldas (CPRM, 1979). Segundo Christofoletti (1973), o Planalto de Poços de Caldas se formou com uma intensa atividade vulcânica que provocou diversas alterações no terreno, soerguimento com posterior abatimento, originando uma caldeira na borda ocidental da Serra da Mantiqueira. As zonas que abrangem o Planalto de Poços de Caldas podem ser divididas em Planalto do Maciço Cristalino, região circundante da estrutura da caldeira com altitudes

em torno de 800 m, Serra e/ou Dique Anelar com cotas variando entre 1.500 a 1.700m, e Planalto do Maciço Alcalino Interno com cotas médias entre 1.300m.

As sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão estão localizadas na região sudoeste do

Planalto de Poços de Caldas na qual se encontra a principal fonte de abastecimento e geração de energia do município, o Reservatório Lindolpho Pio da Silva Dias e/ou Cipó (Figura 1).

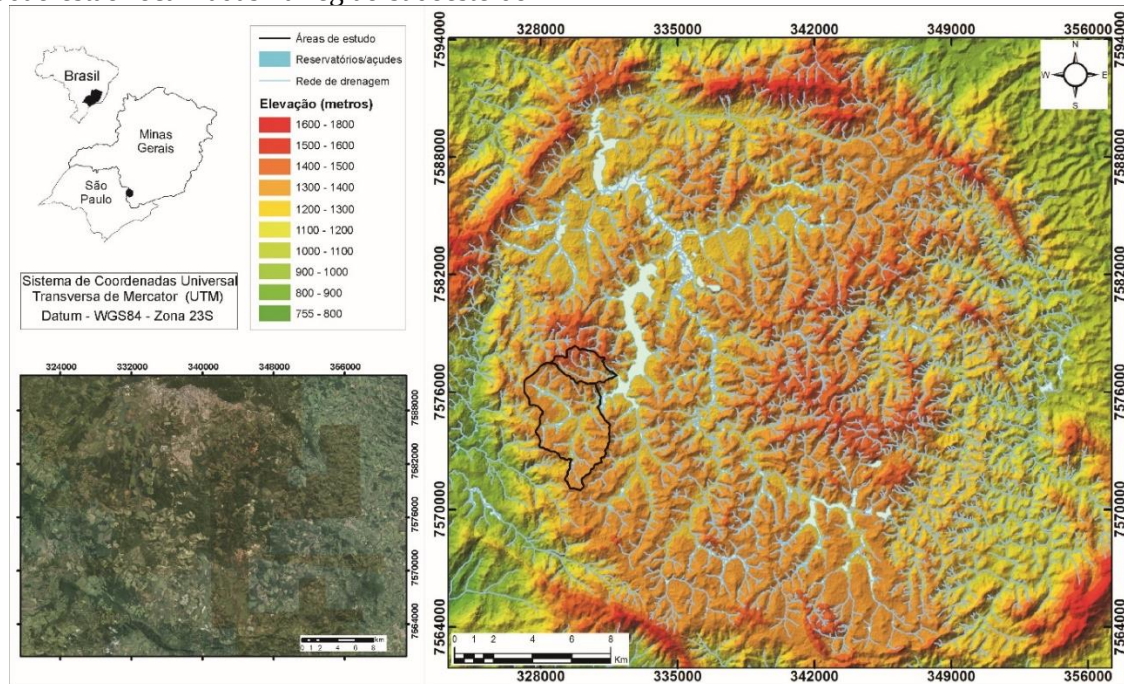


Figura 1. Caldeira Vulcânica de Poços de Caldas com a localização das sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão no Planalto de Poços de Caldas. Fonte: elaborado pelos autores com base na Imagem Digital Globe de 08/09/2020 (Google Earth Pro, 2020) e no modelo digital de elevação (MDE) com imagem ALOS/PALSAR de 25/02/2011 (ASF, 2020).

A bacias dos Córregos Gigante e Chapadão possuem áreas de 3,67 e 16,30 km², perímetros de 9,03 e 19,44 km e padrões dendríticos de drenagem. O comprimento dos cursos d'água principais são de 3,27 e 5,41 km com totais de 9,45

e 44,02 km de rede hidrográfica, indicando eficiências de drenagem ou ainda do grau de desenvolvimento do sistema de drenagem muito bom, conforme densidades de drenagem de 2,57 e 2,70 km/km² (Tabela 1).

Tabela 1. Morfometria das sub-bacias hidrográficas dos Córregos Gigante e Chapadão no Planalto de Poços de Caldas (MG).

Tipos de análises	Gigante	Chapadão
Área total (km ²)	3,67	16,30
Perímetro (km)	9,03	19,44
Padrão de drenagem	Dendrítica	Dendrítica
Densidade de drenagem (km/km ²)	2,57	2,70
Comprimento do curso d'água principal (km)	3,27	5,41
Comprimento total dos cursos d'água (km)	9,45	44,02
Altitude mínima (m)	1260	1263
Altitude média (m)	1377	1345
Altitude máxima (m)	1476	1427
Amplitude altimétrica (m)	216	164
Declividade mínima (%)	0	0
Declividade média (%)	18,59	11,60
Declividade máxima (%)	56,58	53,81

Quanto a litologia, as rochas predominantes na área da bacia são tinguaitos, nefelinas sienitos e fonólitos (Figura 2a). Os fonólitos e tinguaitos são os correspondentes extrusivos e hipoabissais dos nefelinas sienitos, apresentando em sua maioria coloração acinzentada, sendo observáveis amígdalas e vênulas em algumas amostras, conforme observações de campo. A composição química e mineralógica é semelhante, formada principalmente por feldspatos alcalinos,

seguido por feldspatóides e clinopiroxênios. Brechas de tinguaitos são rochas piroclásticas compostas por aglomerados e tufos vulcânicos, contendo vesículas, amígdalas e fragmentos remanescentes de fluxos de lava. Já lujaunitos e chibinitos são caracterizados por granulação grossa e ricos em eudialita.

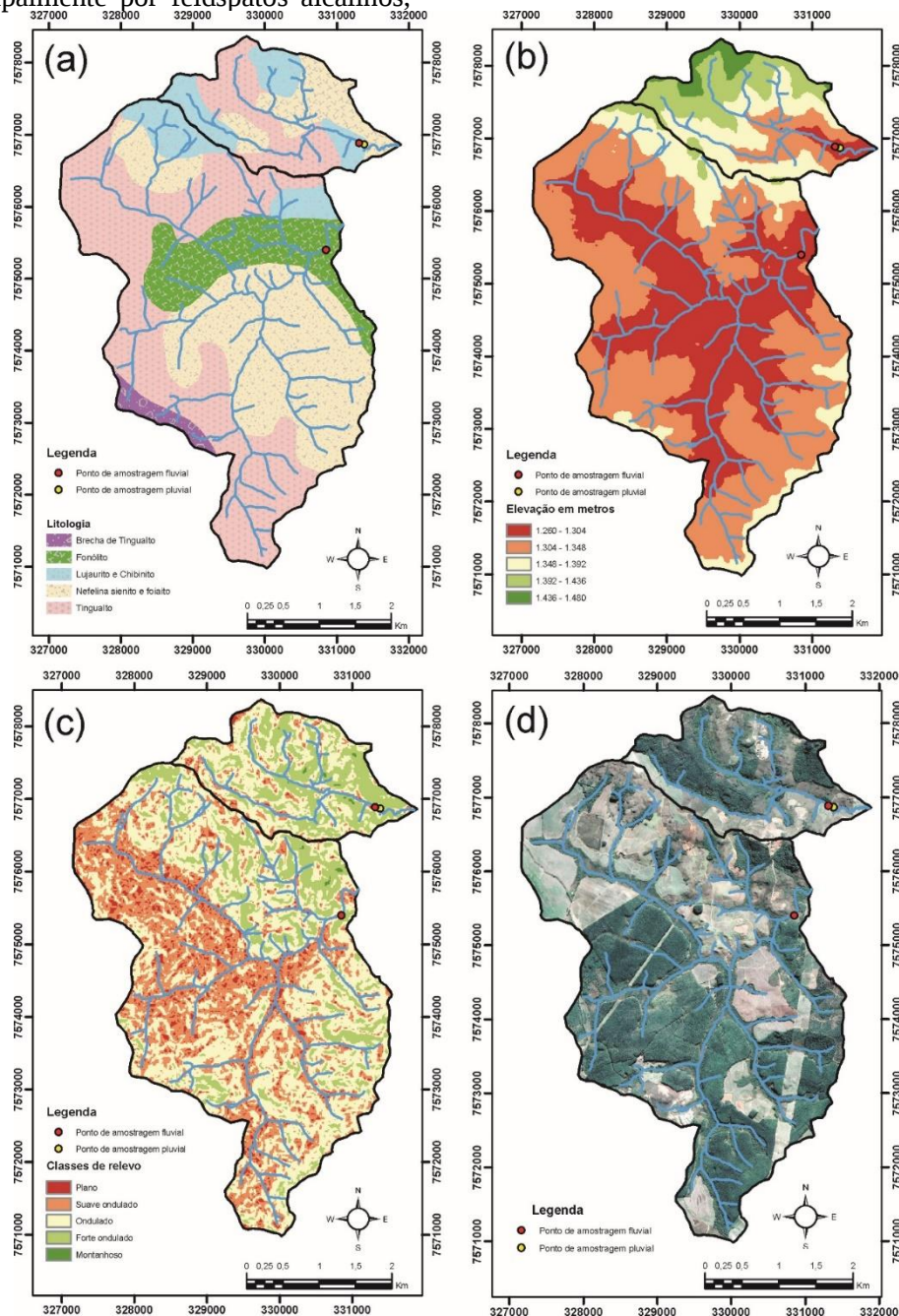


Figura 2. Bacia dos Córregos Gigante e Chapadão com a localização dos pontos de amostragem. Fonte: elaborado pelos autores com base: (a) Litologia, adaptado de (Ellert, 1959; Ulbrich et al., 2002; Indústrias Nucleares do Brasil, 2011); (b) Hipsometria com base em (ASF, 2020); (c) Relevo com base na classificação da (Embrapa, 2018); (d) Imagem Digital Globe de 25/06/2021 (Google Earth Pro, 2021).

Localizadas no Planalto do Maciço Alcalino Interno, as sub-bacias possuem elevações que variam entre 1476 m a 1260 m, com altitudes médias de 1377 m e 1345 m (Tabela 1 e Figura 2b). A sub-bacia do Córrego Gigante apresenta uma declividade forte ondulada a ondulada, média de 18,59% enquanto a bacia do Córrego Chapadão apresenta uma declividade ondulada e suavemente ondulada, média de 11,60% (Tabela 1 e Figura 2c). As sub-bacias apresentam morros e morrotes de encostas convexas e topos de morros arredondados. As maiores declividades estão localizadas principalmente em pequenos divisores ao norte e noroeste da bacia do Gigante, onde há morros com encostas convexas e topos de morros restritos (cristas alongadas). Nas principais drenagens os relevos são formados por planícies aluvionares com encostas e topos aplainados.

O clima da região de estudo é do tipo Cwb (clima úmido com inverno seco e verão brando) e Cwa (mesotérmico de inverno seco, com verões quentes e estação chuvosa no verão). Quanto a pedologia, foram observados em relevos mais acidentados, ondulado a forte ondulado, Cambissolos rasos com sequência de horizontes A, Bi e C. Gleissolos, Organossolos e Aluviões com características associadas a enchimento e/ou deposição de material foram observados nas regiões de relevo plano, nas margens das principais drenagens e próximas ao remanso do reservatório. Latossolos profundos com horizonte B espesso, afloram nos relevos suave ondulado a ondulado, com presença marcante de bauxitas, hematitas e caulinitas.

Quanto ao uso da terra, pastagens para pecuária e mata nativa (principalmente campos de altitude com vegetação arbustiva) predominam nos topos e vertentes, já as formações arbóreas ocupam os taludes íngremes e as margens das redes de drenagem. As áreas agrícolas com culturas de batata e milho, além de áreas com solo exposto, relacionadas as atividades agrícolas (preparo do solo) também fazem parte da paisagem (Figura 2d).

As cavas de mineração localizam-se principalmente na região norte, cabeceiras dos rios do Córrego do Gigante, no interflúvio entre as duas sub-bacias e em grande parte da sub-bacia do Córrego Chapadão. A extração é realizada em pequenas áreas através da retirada da camada superficial do solo e das camadas do subsolo, alterando o perfil topográfico e rebaixando o relevo (Figura 3). Além disso, antigas áreas de extração de bauxita atualmente estão ocupadas pela silvicultura por reflorestamento de Eucalipto, que ocupa uma grande parcela de área das bacias (Figuras 2d e 3).

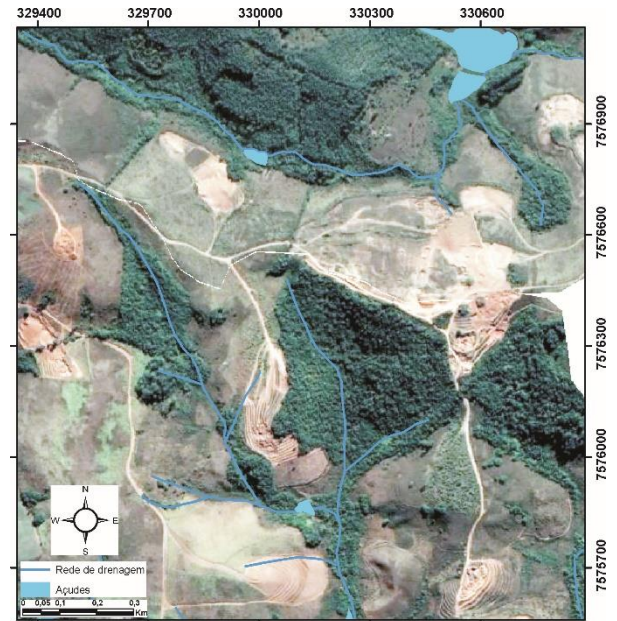


Figura 3. Interflúvio das bacias dos Córregos Gigante e Chapadão com detalhe das cavas de mineração de bauxita. Fonte: elaborado pelos autores com base na Imagem Digital Globe de 25/06/2021 (Google Earth Pro, 2021).

Material e métodos

Para quantificar a deposição atmosférica e o transporte específico anual de sedimentos suspensos nas sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão e, conseqüentemente, a influência de mineração no Planalto de Poços de Caldas, Minas Gerais, realizaram-se análises específicas em amostras coletadas no monitoramento hidrossedimentológico. As águas pluviais foram coletadas entre 16 de agosto de 2018 a 23 de abril de 2019, totalizando 14 amostras. Para as águas fluviais foram realizadas amostragens quinzenais entre 10 de maio de 2018 a 23 de abril de 2019, sendo 26 amostragens próximo ao exutório das bacias (Figura 2).

Para a amostragem das águas pluviais foi utilizado coletor do tipo bulk (deposição seca e úmida), sendo composto de um recipiente de polietileno cilíndrico de 2.600 mL, acoplado a um funil de aproximadamente 14 cm de diâmetro coberto por uma malha de 0,075 mm de abertura, ambos fixados a 1,50 m do solo, próximo ao pluviômetro (Figura 2). As águas fluviais foram coletadas utilizando amostrador do tipo USDH-48 com o método de igual incremento de largura (IIL) de acordo com Carvalho (2008), dividindo a seção transversal dos pontos de amostragem em subseções de largura igual, determinada de acordo

com a velocidade de escoamento e a profundidade. As amostras foram compostas em uma única alíquota ainda em campo.

Balanço hídrico

Os dados da precipitação durante o período de estudo foram obtidos por meio do pluviômetro SL2021 P (0 a 500 mm/hora $\pm$ 1%). Instalado nas coordenadas UTM 7.576.887 m e 331.330 m a 1296 metros de altitude, o equipamento está localizado junto ao ponto de amostragem pluvial (Figura 2).

A vazão, nos pontos de amostragem fluvial (Figura 2), foi determinada utilizando-se uma régua limnimétrica graduada para medida de nível da água, trena de aço graduada para largura e micromolinetes Flow Rate Sensor Vernier para velocidade (0,00 a 4,00 m/s $\pm$ 0,01 m/s). A vazão foi estimada de acordo com a Equação (1).

$$Q = V \times A \quad (1)$$

Onde: Q = vazão (m^3/s); V = velocidade média de escoamento do curso d'água (m/s); A = área (m^2).

A relação entre a vazão e a área de influência dos pontos de amostragem, vazão específica (Equação 2), foi estimada a fim de comparar o nível da produção de água entre as sub-bacias hidrográficas estudadas.

$$Q_e = \left(\frac{Q_m}{A_i} \right) \times 1000 \quad (2)$$

Onde: Q_e = vazão específica média (L/s/km^2); Q_m = vazão média do ponto de amostragem (m^3/s); A_i = área de influência do ponto de amostragem (km^2)

O deflúvio foi calculado pela Equação (3), levando em conta a vazão medida nos dias de amostragem, os dias do mês e a área da bacia até o ponto de amostragem.

$$Defl = \frac{Q \times \text{dias}}{A} \quad (3)$$

Onde: Defl. = deflúvio (mm); Q = vazão (m^3/s); dias = segundos (s); A = área da bacia (m^2).

O saldo do balanço hídrico foi calculado pela Equação (4) e pode assumir valores negativos ou positivos. Quando o saldo é positivo há armazenamento de água no sistema e, quando negativo déficit no sistema hidrológico.

$$Saldo = P - Defl \quad (4)$$

Onde: Saldo = saldo (mm); P = precipitação (mm); Defl. = deflúvio (mm).

Águas pluviais e fluviais

As águas pluviais e fluviais foram monitoradas através de equipamento com eletrodos de leitura direta no próprio local de amostragem, sonda multiparâmetro Pro2030 da marca YSI, previamente calibrada, sendo analisada as seguintes variáveis: temperatura (-5 a $55^\circ\text{C} \pm 0,3^\circ\text{C}$); oxigênio dissolvido (0 a $20 \text{ mg/L} \pm 0,2 \text{ mg/L}$); condutividade (0 a $500 \mu\text{S/cm} \pm 1 \mu\text{S/cm}$); e sólidos totais dissolvidos (0 a $100 \text{ g/L} \pm 0,1 \text{ g/l}$).

As amostras foram armazenadas em vasilhame de polietileno, acondicionada em caixa térmica contendo gelo ($\sim 4^\circ\text{C}$) e encaminhadas ao Laboratório de Ecossistemas Aquáticos e Solos (LEAS) do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas (ICT/UNIFAL) e analisada após a coleta, segundo as normas da NBR 9898:1987 (ABNT, 1987).

Os teores dos íons nitrato NO_3^- (método de redução de cádmio, de 0 a $30,0 \pm 0,3 \text{ mg/L}$), fosfato PO_4^{3-} (método do ácido ascórbico, de 0,02 a $2,5 \pm 0,01 \text{ mg/L}$) e sulfato SO_4^{2-} (método sulfaver 4, de 0 a $70 \pm 0,9 \text{ mg/L}$) foram quantificados por espectrofotômetro modelo DR 890 da Hach Company (HACH, 2009). A variável turbidez foi mensurada com turbidímetro da Vernier (TRB-BTA) (0 a $200 \pm 2 \text{ NTU}$) e as medidas de pH com sensor da Vernier (PH-BTA) de Ag/AgCl (0 a $14 \pm 0,2$ unidades de pH).

Amostras de sólidos totais em suspensão (STS) foram realizadas em triplicata segundo metodologia gravimétrica da Equação (5) com volume de 300 ml cada (APHA, 2012).

$$STS = \frac{P1 - P2}{V} \quad (5)$$

Onde: STS = concentração de Sólidos Totais em Suspensão (mg/L); P1 = massa do filtro pesado após a filtração (mg), P2 = massa do filtro pesado antes da filtração (mg) e V = volume da amostra de água filtrada (L).

Análise estatística

Tendências de relação estatística (R^2) foram realizadas em planilha eletrônica de cálculo para identificar as relações entre as variáveis independentes (x) e dependentes (y), ou seja, os sedimentos suspensos, dissolvidos e as variáveis físico e químicas analisadas nas águas pluviais e fluviais deste estudo.

Para a análise de sólidos totais dissolvidos, utilizou-se o modelo potencial, que expressa relação inversa entre sólidos totais dissolvidos (STD) e vazão (Q), conforme a Equação (6). Nesta equação a e b são variáveis de ajuste e o expoente b negativo configura o coeficiente de diluição da função matemática.

$$C_{STD} = a \times Q^{-b} \quad (6)$$

Para o comportamento em relação à concentração de sólidos em suspensão (STS) foi utilizado o modelo de regressão potencial, conforme a Equação (7). Neste modelo, a e b consiste em variáveis de ajuste e o expoente b geralmente positivo, expressa a relação direta entre vazão e concentração.

$$C_{STS} = a \times Q^b \quad (7)$$

Deposição atmosférica e transporte específico

A deposição pluvial foi estimada em t/ano pelo método estocástico (Probst, 1992) considerando a concentração média ponderada pelo volume de precipitação (C_{MV}), a área das sub-bacias e a quantidade de precipitação durante o período de amostragem (Equações 8 e 9).

$$C_{MV} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (8)$$

Onde: C_{MV} = concentração média ponderada pelo volume de precipitação (mg/L); C_i = concentração do constituinte (mg/L) medida no evento i; P_i = volume de precipitação (mm) medido no evento i.

$$D_{fluvial} = C_{MV} \times P_{total} \times A \quad (9)$$

Onde: $D_{pluvial}$ = deposição pluvial anual do parâmetro nas águas pluviais (t/ano); C_{MV} = concentração média ponderada pela precipitação do parâmetro nas águas pluviais (mg/L); P = precipitação total anual (L/s); A = área da bacia (km^2).

As taxas de deposição atmosférica (D_{atm}) foram estimadas a partir da deposição pluvial anual do parâmetro nas águas pluviais (t/ano) dividido pela área de drenagem das bacias, obtendo assim o resultado em $\text{t}/\text{km}^2/\text{ano}$.

O transporte fluvial foi estimado em t/ano pelo método estocástico (Probst, 1992) tendo como variáveis a concentração média ponderada pela

vazão (C_{MP}) e vazão média anual ($Q_{média}$), conforme as Equações (10) e (11).

$$C_{MP} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times Q_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (10)$$

Onde: C_{MP} = concentração média ponderada do parâmetro nas águas fluviais (mg/L); C_i = concentração do parâmetro na i-ésima amostra (mg/L); Q_i = vazão do rio durante a coleta da i-ésima amostra (m^3/s).

$$T_{fluvial} = 31,536 \times C_{MP} \times Q_{média} \quad (11)$$

Onde: $T_{fluvial}$ = transporte fluvial anual do parâmetro nas águas fluviais (t/ano); 31,536 = correção da massa e do tempo; C_{MP} = concentração média ponderada pela vazão do parâmetro nas águas fluviais (mg/L); Q = vazão média anual (m^3/s).

O transporte específico (T_{esp}) foi estimado a partir dos dados do transporte fluvial anual e da área de drenagem dos pontos de amostragem das bacias, obtendo assim o resultado em $\text{t}/\text{km}^2/\text{ano}$.

Resultados e discussão

Balanço hídrico

Os dados hidrológicos das sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão, referentes ao período de estudo, encontram-se na Tabela 1. As médias pluviométricas mensais indicam dois períodos hidrológicos distintos, caracterizado por uma estação seca que compreende os meses entre maio a outubro (230,8 mm), e estação úmida entre os meses de novembro a abril (1149,0 mm). A precipitação total durante o período de estudo foi de 1379,8 mm, com uma média de 114,98 mm, mínima de 8,20 mm e máxima 315,20 mm.

Nos meses de maio, junho e julho as precipitações foram de 28,80, 8,20 e 10,60 mm. Considerando o deflúvio nas sub-bacias dos Córregos Gigante (25,54; 24,72 e 21,89 mm) e Chapadão (30,40; 12,72 e 8,22 mm), nestes meses há um saldo pequeno ou negativo de 3,26; -16,52 e -11,29 mm e, -1,60; -4,52 e 2,38 mm, do qual provavelmente o escoamento superficial dos Córregos Gigante e Chapadão são alimentados pelo escoamento de base (escoamento subterrâneo).

As precipitações aumentam nos meses de janeiro (292,6 mm), fevereiro (198,60 mm) e março (315,20 mm) recarregando as águas subterrâneas que alimentaram a água superficial influenciando positivamente no balanço hidrológico das bacias, com um saldo positivo de

água no Gigante (263,41; 175,53 e 278,71 mm) e Chapadão (261,87; 172,63 e 263,44 mm (Tabela 1).

Na sub-bacia do Córrego do Gigante, a vazão média na sessão variou pouco durante o período de estudo 0,030 m³/s (julho) a 0,065 m³/s (setembro). Os dados indicam que a maior vazão média foi observada em um mês relativamente seco. Esta sub-bacia possui uma área (3,67 km²) e um perímetro (9,03 km) relativamente pequenos, diferença altimétrica de 216 m, declividade

máxima de 56,58 % e relevos ondulados e forte ondulados com predomínio de cavas de mineração de bauxita nos inteflúvios. Estas características fisiográficas influenciam no comportamento hidrológico, ou seja, a bacia possui um tempo de concentração muito curto e escoamento superficial na calha do rio muito rápido. Apesar do regime de precipitação ser desigual durante o período de estudo, estação seca (17 %) e úmida (83 %) o deflúvio é de 50 % em cada estação (Figura 3).

Tabela 1. Balanço hídrico das bacias dos Córregos Gigante e Chapadão.

Mês	Dias	Precipitação (mm)	Córrego Gigante			Córrego Chapadão		
			Vazão (m ³ /s)	Deflúvio (mm)	Saldo (mm)	Vazão (m ³ /s)	Deflúvio (mm)	Saldo (mm)
Maio	31	28,80	0,035	25,54	3,26	0,185	30,40	-1,60
Junho	30	8,20	0,035	24,72	-16,52	0,080	12,72	-4,52
Julho	31	10,60	0,030	21,89	-11,29	0,050	8,22	2,38
Agosto	31	80,32	0,063	46,22	34,10	0,057	9,37	70,95
Setembro	30	62,28	0,065	45,91	16,37	0,040	6,36	55,92
Outubro	31	40,60	0,040	29,19	11,41	0,230	37,79	2,81
Novembro	30	93,20	0,045	31,78	61,42	0,155	24,65	68,55
Dezembro	31	177,60	0,040	29,19	148,41	0,275	45,19	132,41
Janeiro	31	292,60	0,040	29,19	263,41	0,187	30,73	261,87
Fevereiro	28	198,60	0,035	23,07	175,53	0,175	25,97	172,63
Março	31	315,20	0,050	36,49	278,71	0,315	51,76	263,44
Abril	30	71,80	0,060	42,38	29,42	0,325	51,68	20,12
Média	30,42	114,98	0,045	32,13	82,85	0,173	27,90	87,08
Total	365,00	1379,80	0,538	385,58	994,22	2,074	334,83	1044,97
Desvio padrão	0,90	106,23	0,012	8,65	106,23	0,101	16,47	98,91

Diferente do Córrego Gigante, o Córrego Chapadão com o mesmo regime de precipitação, possui um deflúvio de aproximadamente 69 % no período úmido (novembro a abril). Apesar do uso da terra semelhante, as características da bacia, área de 16,30 km², perímetro de 19,44 km e 44,02 km de cursos d'água que drenam um relevo ondulado a suavemente ondulado, refletem em uma distribuição menos uniforme da vazão média, com menores valores em setembro (0,040 m³/s) e maiores em abril (0,325 m³/s), conforme Figura 3.

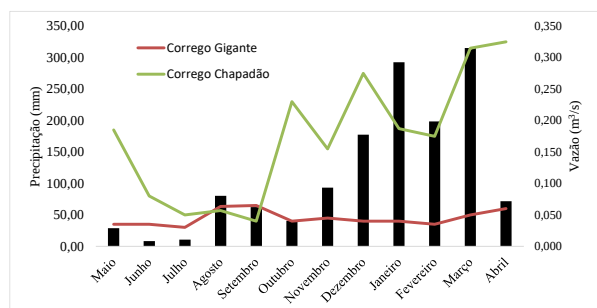


Figura 3. Relação entre vazão média e precipitação média mensal nas sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão.

Destaca-se aqui a influência do relevo e da diferença de área em bacias que tem o mesmo padrão de uso do solo, mesmo regime de precipitação, porém respondem aos processos hidrológicos de forma distinta, muito em função de suas particularidades nas características topográficas das bacias.

Águas pluviais e fluviais

Os resultados apresentados na Tabela 2, indicam que os valores de pH das águas pluviais ficaram abaixo de 7 durante todo o período de coleta, com pequena variação entre o valor mínimo de 4,31 (08/03/2019) e máximo de 4,87 (16/08/2018). Segundo Sardinha et al., (2018) os valores de pH são resultados da ionização parcial do ácido carbônico (H₂CO₃) em água pura, que corresponde a um pH de 5,6, no entanto, o limite inferior de pH para as águas de chuva acidificadas por processos naturais corresponde a 5,0, conforme os valores encontrados neste trabalho. Os valores de pH das amostras coletadas por Sardinha et al., (2019) variaram entre 4,70 e 6,90, com média de 5,80.

Em relação aos nutrientes, não há minerais nas rochas das sub-bacias estudadas com NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} como um constituinte essencial e, consequentemente, pouca entrada natural é esperada na composição das águas pluviais, com concentrações médias durante o período de estudo de 1,32 mg/L para NO_3^- , 0,20 mg/L para PO_4^{3-} e 0,86 para SO_4^{2-} (Tabela 2).

Em estudo realizado em área urbana, Martins et al., (2019) consideram que a presença de íons nitrato e sulfato são os mais relevantes para a formação de chuva ácida, sendo encontrados valores médios de $\text{NO}_3^- = 0,97$ mg/L e $\text{SO}_4^{2-} = 1,53$ mg/L. Na bacia hidrográfica do Ribeirão Jacutinga, rural, Spatti Júnior et al., (2019) encontraram para os íons NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} valores que variam entre mínimo (0,1 mg/L, 0,02 mg/L e < 1 mg/L) e máximo (0,5 mg/L, 0,25 mg/L e < 1 mg/L). Por outro lado, em estudo realizado dentro e ao redor da cidade de Goma durante um episódio não eruptivo do vulcão Nyamulagira, Kasereka et al., (2021) encontraram valores médios de NO_3^- (2,75 mg/L), PO_4^{3-} (0,20 mg/L) e SO_4^{2-} (9,07 mg/L) atribuindo causas a solos de origem vulcânica, tráfego de veículos, atividades vulcânicas, agricultura e atividades industriais.

As concentrações de sólidos totais dissolvidos variaram neste estudo com uma

mínima de 12,10 mg/L e máxima de 73,50 mg/L (Tabela 2), valores acima dos encontrados para a bacia do Ribeirão Monjolo Grande (mínima 3,12 mg/L e máxima 21,53 mg/L) e Ariranha (mínima 6,1 mg/L e máxima 12,3 mg/L), bacias hidrográficas rurais dos estudos de Spatti Júnior et al., (2019) e Mello (2020). Já os valores de STS, no presente estudo, variaram entre (1,05 a 1,61 mg/L). Hagemann e Gastaldini (2016) em trabalho realizado em telhado de área urbana, encontraram valores de STS variando entre (3,0 mg/L a 45 mg/L), valores muito acima deste estudo, diferente dos estudos de Mello (2020) em bacia rural (0,0 mg/L a 1,8 mg/L).

As concentrações dos nutrientes NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} neste estudo, podem estar relacionadas com aportes geogênicos (litologia ou solo) ou antropogênicos como tráfego de veículos, queima de combustíveis fósseis, queimadas e carvoarias (SO_4^{2-} e NO_3^-), volatilização de N derivada de fertilizantes nitrogenados e solos de origem vulcânica (NO_3^-) e poeiras de solos agrícolas onde há aplicação de fertilizantes fosfatados (PO_4^{3-}). Estes aportes também podem estar influenciando as concentrações de pH e sólidos totais dissolvidos e suspensos (Tabela 2).

Tabela 2. Análises físico e químicas das águas pluviais neste estudo.

Amostragens	Precipitação (mm)	pH	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-} (mg/L)	STD	STS
16/08/2018	10,60	4,87	1,70	0,14	2,00	12,10	1,15
30/08/2018	3,80	4,55	0,00	0,00	0,00	45,60	1,05
27/09/2018	6,20	4,73	0,00	0,00	0,00	66,70	1,11
19/10/2018	7,80	4,39	0,70	0,04	0,00	37,30	1,10
08/11/2018	24,40	4,32	1,80	0,11	0,00	27,10	1,10
22/11/2018	9,60	4,71	1,30	0,07	1,00	27,50	1,12
06/12/2018	24,80	4,82	0,50	1,75	0,00	48,30	1,61
09/01/2019	4,80	4,78	3,30	0,07	6,00	51,10	1,11
15/01/2019	21,00	4,61	1,20	0,05	0,00	73,50	1,10
05/02/2019	5,80	4,52	1,90	0,34	2,00	24,60	1,14
08/03/2019	8,60	4,31	1,40	0,03	0,00	25,80	1,12
19/03/2019	4,00	4,33	2,70	0,04	0,00	33,30	1,06
09/04/2019	23,00	4,35	0,80	0,02	1,00	19,80	1,14
23/04/2019	13,20	4,56	1,20	0,10	0,00	20,60	1,09
Média	11,97	4,56	1,32	0,20	0,86	36,66	1,14
Desvio padrão	7,91	0,20	0,94	0,46	1,66	18,14	0,14
Mínimo	3,80	4,31	0,00	0,00	0,00	12,10	1,05
Máximo	24,80	4,87	3,30	1,75	6,00	73,50	1,61

Os resultados físicos e químicos para as águas fluviais das sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão encontram-se nas Tabelas 3 e 4. As temperaturas máximas e mínimas foram registradas nas estações chuvosa e seca, respectivamente, em ambas as bacias hidrográficas, com variação de temperatura em

torno de 8 a 10°C. As mesmas variações foram encontradas nos trabalhos de Sardinha et al., (2018) na bacia do Córrego Ariranha, Mello (2020) na bacia do Córrego Amoras e Justino e Sardinha (2019) na bacia do Ribeirão de Poços, bacias rurais, rurais/industriais e urbanas localizadas no Planalto de Poços de Caldas, respectivamente.

Os valores de pH tendem a ser neutros ao longo do período de amostragem (média de 6,57 e 6,47 para as bacias) e os maiores valores foram obtidos na estação seca. A condutividade elétrica média foi menor no Córrego Gigante (15,15 $\mu\text{S}/\text{cm}$) do que no Córrego Chapadão (17,02 $\mu\text{S}/\text{cm}$), com os maiores valores obtidos na estação seca para ambas as bacias. Ao contrário da condutividade elétrica, os valores de turbidez são maiores no período chuvoso, média de 14,3 NTU e 24,91 NTU, assim como, para oxigênio dissolvido com média anual de 7,91 e 7,95 mg/L para as bacias dos Córregos Gigante e Chapadão, respectivamente.

Os valores encontrados para pH estão próximos aos valores médios (6,2 a 6,9) no entanto, os valores de condutividade elétrica e turbidez são muito maiores na bacia urbana do Ribeirão de Poços (95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 35,2 NTU) do que na bacia rural/industrial do Córrego Amoras (27,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 9 NTU) e estritamente rural do Córrego Ariranha (31,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 10,2 NTU). Outra diferença também pode ser encontrada para os valores de oxigênio dissolvido (3,7 mg/L) para a bacia urbana, (6,9 mg/L) rural/industrial e (7,2 mg/L) rural dos trabalhos de Justino e Sardinha (2019), Mello (2020) e Sardinha et al., (2018), respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados das análises físico e químicas das águas fluviais da bacia do Córrego Gigante.

Amostragem	Vazão (m^3/s)	Temp. ($^{\circ}\text{C}$)	pH	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Turb. (NTU)	OD	STD	STS	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
10/05/2018	0,04	15,90	7,08	27,60	5,10	8,10	9,30	0,67	3,90	0,12	0,00
24/05/2018	0,03	14,73	6,07	12,00	15,90	--	7,67	0,33	2,10	0,07	1,00
07/06/2018	0,04	15,80	7,01	13,13	18,40	--	10,37	0,40	0,50	0,00	0,00
21/06/2018	0,03	13,40	6,87	13,50	21,50	--	13,80	2,00	9,10	0,07	0,00
05/07/2018	0,03	13,90	7,23	12,43	22,20	7,70	10,23	0,40	1,30	0,11	0,00
19/07/2018	0,03	13,13	7,09	12,23	25,20	--	10,27	1,00	1,80	0,08	0,00
02/08/2018	0,04	15,20	6,86	13,40	13,30	7,20	10,70	0,60	2,20	0,15	1,00
16/08/2018	0,08	15,20	6,38	13,10	22,20	7,50	10,50	0,40	1,20	0,05	1,00
30/08/2018	0,07	16,40	6,82	13,80	21,60	8,10	10,80	0,40	1,10	0,05	0,00
13/09/2018	0,06	16,80	6,51	13,20	19,80	7,90	10,20	1,60	1,10	0,05	0,00
27/09/2018	0,07	19,30	6,63	16,00	21,50	7,70	11,70	0,20	1,60	0,06	0,00
19/10/2018	0,04	20,80	6,19	16,10	22,00	7,00	11,80	3,40	2,70	0,09	2,00
25/10/2018	0,04	20,40	6,55	16,40	21,90	7,00	11,70	1,00	2,60	0,07	2,00
08/11/2018	0,04	18,50	7,20	13,80	33,10	7,40	11,60	0,40	2,40	0,07	2,00
22/11/2018	0,05	18,40	6,14	12,90	28,70	7,70	11,10	3,20	1,10	0,06	0,00
06/12/2018	0,05	19,80	5,64	16,30	4,30	7,90	11,73	2,80	1,50	0,19	0,00
20/12/2018	0,03	20,00	5,85	16,10	6,10	8,10	11,32	1,80	1,70	0,13	1,00
09/01/2019	0,04	20,00	5,96	16,50	8,70	7,90	11,80	0,00	2,50	0,09	2,00
15/01/2019	0,05	20,50	6,31	16,00	1,90	7,90	11,33	0,00	1,20	0,05	0,00
22/01/2019	0,03	20,23	6,93	16,40	3,50	7,93	11,80	0,40	0,60	0,21	1,00
05/02/2019	0,03	19,43	6,81	15,97	12,60	8,30	11,70	0,27	2,80	0,12	2,00
19/02/2019	0,04	19,80	6,57	14,87	3,90	8,10	10,77	0,27	1,80	0,10	1,00
08/03/2019	0,03	19,80	6,63	15,90	2,10	8,40	11,50	0,00	1,90	0,05	2,00
19/03/2019	0,07	20,50	6,56	15,70	15,20	8,70	11,70	2,93	0,60	0,07	0,00
09/04/2019	0,07	19,30	6,42	15,83	5,60	8,00	11,57	2,80	2,20	0,08	2,00
23/04/2019	0,05	17,83	6,52	14,70	4,10	9,40	11,10	0,13	1,20	0,10	0,00
Média	0,05	17,89	6,57	15,15	14,63	7,91	11,08	1,05	2,03	0,09	0,77
Desvio padrão	0,02	2,49	0,42	2,96	9,21	0,54	1,09	1,12	1,64	0,05	0,86
Mínimo	0,03	13,13	5,64	12,00	1,90	7,00	7,67	0,00	0,50	0,00	0,00
Máximo	0,08	20,80	7,23	27,60	33,10	9,40	13,80	3,40	9,10	0,21	2,00

Os valores de sólidos totais dissolvidos são maiores no período seco, ao contrário de sólidos totais suspensos com concentrações maiores no período chuvoso. As médias destes parâmetros foram (STD = 11,08 mg/L e STS = 1,05 mg/L) para o Córrego Gigante, e de (STD = 12,28 mg/L e STS = 5,69 mg/L) para o Córrego Chapadão.

As concentrações de nitrato apresentam grande variação entre o período seco e chuvoso, Córrego Gigante (mínima de 0,50 mg/L e máxima 9,10 mg/L) e Córrego Chapadão (mínima de 0,70

mg/L e máxima 5,50 mg/L). A média anual é de 2,03 e 1,82 mg/L com concentrações maiores no período seco, no entanto, abaixo do limite de 10,0 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 2 (Brasil, 2005).

Os resultados obtidos para fosfato e sulfato sugerem que o Córrego Gigante, com concentrações médias anuais de 0,09 mg/L e 0,77 mg/L, possui águas com menores teores destes nutrientes, ao contrário do Córrego Chapadão com

concentrações médias anuais de 1,01 mg/L e 6,24 mg/L (Tabelas 3 e 4).

As rochas da bacia não possuem grande quantidade de nitrato, fosfato e sulfato em sua composição mineralógica, e, segundo Reis e Sardinha (2021) a aplicação de fertilizantes nitrogenados, fosfatados e sulfatados em áreas de agricultura manual, mecanizada ou temporária em locais de maior declividade podem contribuir com a remoção de partículas e íons do solo influenciando na concentração destes elementos

nas águas fluviais das bacias estudadas. De acordo com Melo e Sanches (2020) para a reabilitação do solo nas cavas das minas de bauxita, fertilizantes são utilizados no preparo do solo, após o plantio, sendo também aplicados herbicida, inseticida e óleo mineral com bombas de pulverização. Cabe ressaltar que os pontos de amostragem são próximos ao remanso do Reservatório Lindolpho Pio da Silva Dias (e/ou Cipó) que em longo prazo, podem contribuir para o processo de eutrofização.

Tabela 4. Resultados das análises físico e químicas das águas fluviais da bacia do Córrego Chapadão.

Data	Vazão (m ³ /s)	Temp. (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	Turb. (NTU)	OD	STD	STS (mg/L)	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻
10/05/2018	0,15	15,30	7,12	36,70	7,50	8,10	9,30	7,00	5,50	0,20	1,00
24/05/2018	0,22	13,64	6,84	16,67	25,30	--	11,00	4,17	0,70	0,23	2,00
07/06/2018	0,10	15,10	7,09	14,87	19,60	--	11,93	3,07	1,70	0,07	0,00
21/06/2018	0,06	13,10	6,95	17,10	28,30	--	15,80	2,61	1,70	0,11	0,00
05/07/2018	0,04	11,63	7,23	14,77	26,30	7,70	12,87	2,40	1,00	0,18	8,00
19/07/2018	0,06	10,57	7,23	14,53	21,50	--	13,03	2,27	1,20	0,89	17,00
02/08/2018	0,05	13,67	6,90	15,70	11,80	9,00	13,03	3,20	1,70	0,09	1,00
16/08/2018	0,06	12,67	6,05	17,70	21,30	9,10	15,07	1,60	1,90	0,07	6,00
30/08/2018	0,06	13,80	6,10	17,00	21,10	8,70	13,80	1,07	2,00	0,07	7,00
13/09/2018	0,04	14,50	6,23	17,95	22,10	8,15	14,60	2,53	2,50	0,07	6,00
27/09/2018	0,04	17,70	6,40	20,20	20,50	7,90	15,30	1,20	1,20	0,06	7,00
19/10/2018	0,38	20,00	6,02	18,30	28,70	6,90	13,10	8,67	1,70	0,11	2,00
25/10/2018	0,08	19,50	6,55	17,20	21,30	7,50	12,47	8,67	1,50	0,09	2,00
08/11/2018	0,16	18,40	6,38	16,20	24,20	7,30	12,10	3,33	1,60	0,13	1,00
22/11/2018	0,15	18,30	6,01	15,20	31,60	7,70	11,30	5,47	1,40	0,09	1,00
06/12/2018	0,31	19,10	5,39	14,57	40,10	7,60	10,63	7,60	2,30	0,13	4,00
20/12/2018	0,24	20,10	5,91	16,80	38,70	7,80	12,00	3,60	2,10	0,15	4,00
09/01/2019	0,20	19,80	5,87	15,20	43,50	7,70	10,90	6,53	2,30	0,11	8,00
15/01/2019	0,16	20,30	6,03	16,40	31,30	7,47	11,60	11,33	0,80	0,26	10,00
22/01/2019	0,20	19,80	6,78	16,40	19,80	7,70	11,80	2,93	1,40	0,53	12,00
05/02/2019	0,16	19,40	6,81	15,70	12,60	7,90	11,43	6,40	1,60	0,16	5,00
19/02/2019	0,19	19,80	6,63	15,87	14,50	8,13	11,43	5,73	1,80	0,20	4,00
08/03/2019	0,32	19,50	6,48	14,80	24,20	7,70	10,70	10,93	1,40	0,03	0,00
19/03/2019	0,31	20,50	6,51	16,57	29,60	8,50	11,80	12,80	1,50	22,00	0,11
09/04/2019	0,45	19,60	6,23	15,83	47,50	7,60	11,47	16,53	2,40	0,12	4,00
23/04/2019	0,20	17,20	6,45	14,30	14,80	8,70	10,90	6,27	2,30	0,14	50,00
Média	0,17	17,04	6,47	17,02	24,91	7,95	12,28	5,69	1,82	1,01	6,24
Desvio padrão	0,11	3,15	0,48	4,24	9,77	0,56	1,59	3,93	0,89	4,28	9,85
Mínimo	0,04	10,57	5,39	14,30	7,50	6,90	9,30	1,07	0,70	0,03	0,00
Máximo	0,45	20,50	7,23	36,70	47,50	9,10	15,80	16,53	5,50	22,00	50,00

Análise estatística

A fim de verificar o comportamento das águas pluviais frente aos parâmetros físicos e químicos analisados neste trabalho, foram

realizadas tendência de relação (Figura 4) e variabilidade média mensal em relação ao pluviograma médio mensal (Figura 5).

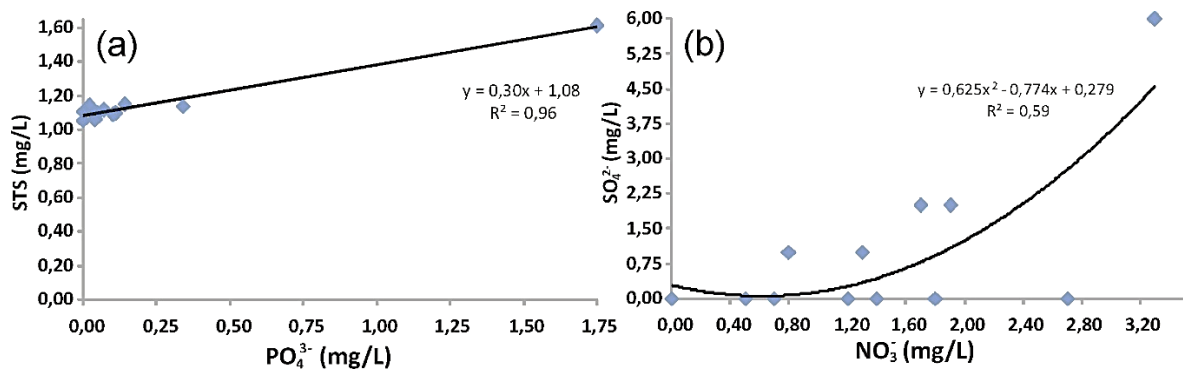


Figura 4. Tendência de relação estatística nas águas pluviais: (a) sólidos totais suspensos e fosfato; (b) sulfato e nitrato.

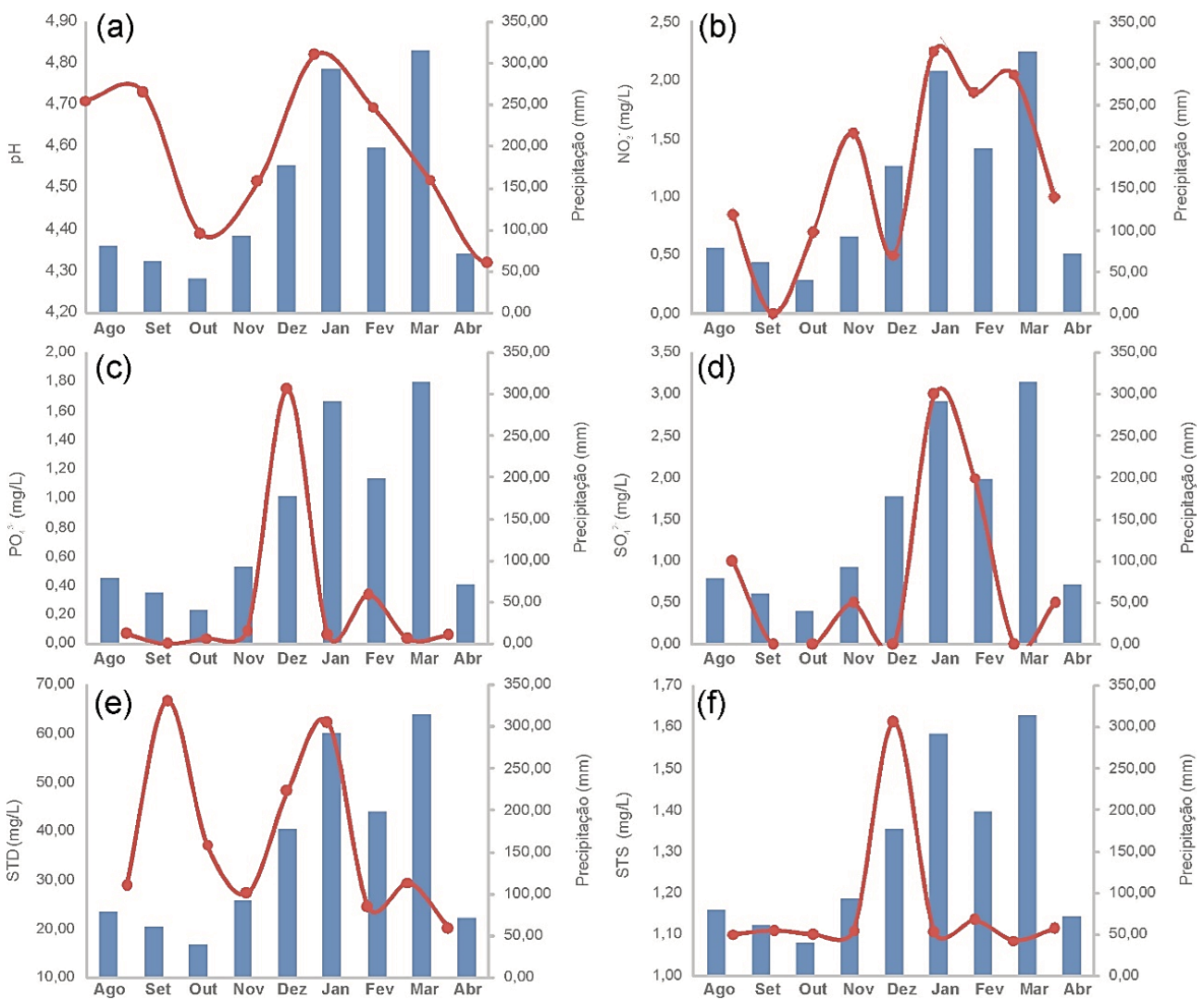


Figura 5. Variabilidade média mensal dos parâmetros físicos e químicos das águas pluviais em relação ao pluviograma médio mensal.

Para as águas pluviais, alguns valores significativos foram encontrados, tendo como causa provável, o aporte por poeiras de solos agrícolas e fertilizantes fosfatados (STS e $PO_4^{3-} = 0,96$ – Figura 4a) fato que também pode ser verificado no comportamento em relação ao

pluviograma médio mensal, um grande pico ocorrendo no mês de dezembro e um pequeno pico em fevereiro (Figuras 5c e 5f). Estas oscilações podem estar relacionadas a culturas agrícolas e/ou movimentação/recuperação de terras ocasionadas pela mineração.

Outra relação que pode ser observada nas águas pluviais é com relação ao comportamento de sulfato e nitrato (SO_4^{2-} e NO_3^- = 0,59 – Figura 4b) e nas oscilações, picos no mês de janeiro (Figuras 5d e 5c). Conforme relatado por Martins et al., (2019) SO_x e NO_x durante a precipitação, são os principais íons inorgânicos emitidos por diferentes fontes de poluição. Kasereka et al., (2021) atribuem essas concentrações a solos de origem vulcânica, tráfego de veículos, agricultura e atividades industriais que podem ou não estarem relacionadas as atividades de mineração da área de estudo.

Quanto aos sólidos totais dissolvidos, observa-se uma oscilação com picos no meses secos e/ou de pouca chuva, e, outro pico entre dezembro e principalmente janeiro, justamente os meses onde ocorrem as maiores concentrações de SO_4^{2-} e NO_3^- (Figura 5e).

A dinâmica dos sedimentos em suspensão difere dos sedimentos dissolvidos, sendo fortemente associada ao período chuvoso e com aumento da vazão, com isso, grande parte do

material suspenso é transportado no período de cheia ao longo de um ano hidrológico (Reis e Sardinha, 2021).

As relações entre sólidos totais em suspensão e vazão (Figuras 6a e 6b) foram expressas pelo modelo potencial, $C_{STS} = a \times Q^b$ demonstrando um ajuste para as sub-bacias dos Córregos Gigante ($R = 0,011$) e Chapadão ($R = 0,612$) com coeficientes (b) positivos de 0,317 e 0,751, respectivamente. Em geral a carga suspensa varia diretamente com a vazão do rio, uma vez que b é um expoente positivo que varia entre 2 e 3 (Stevaux e Latrubesse, 2017).

As relações de sólidos totais dissolvidos pela vazão (Figuras 6c e 6d), modelo potencial, $C_{STD} = a \times Q^b$, devem apresentar uma faixa que varia entre 0,17 e 0,40 de acordo com (Stevaux e Latrubesse, 2017). Os fatores de diluição (-b) foram positivos no caso da sub-bacia do Córrego Gigante (0,025), e negativos (-0,11) para a sub-bacia do Córrego Chapadão.

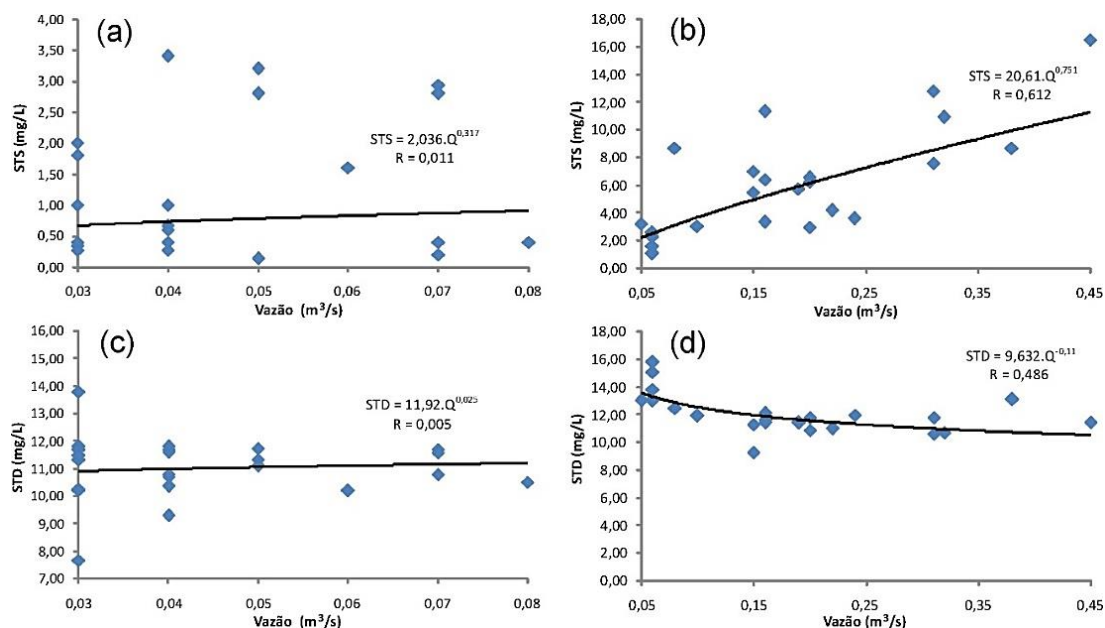


Figura 6. Modelo potencial. (a) Sólidos totais suspensos (STS) x vazão no Gigante. (b) Sólidos totais suspensos (STS) x vazão no Chapadão. (c) Sólidos totais dissolvidos (STD) x vazão no Gigante. (d) Sólidos totais dissolvidos (STD) x vazão no Chapadão. Fonte: elaborado pelos autores.

Segundo Oliveira et al., (2022) os componentes ambientais, uso e cobertura da terra, cobertura pedológica e relevo estão diretamente relacionados com a produção de sedimentos ao longo do ano. Os valores para STS e STD estão fora dos valores sugeridos, indicando que influências geogênicas (litologia, relevo, balanço hídrico etc.) podem estar afetando as dinâmicas nas sub-bacias estudadas. Porém, influências antropogênicas como o uso da terra e seus impactos nas águas

pluviais também tendem a modificar de maneira significativa as águas fluviais, conforme observado para STS e PO_4^{3-} (Figura 4a) e entre SO_4^{2-} e NO_3^- (Figura 4b), principalmente em bacias com tempo de concentração muito curto e escoamento superficial muito rápido como o Gigante.

A variabilidade temporal de sólidos totais dissolvidos (STD) e suspensos (STS) em função da evolução das respectivas vazões (hidrógrafa) estão representados na Figura 7. As concentrações de

sólidos totais dissolvidos (STD) também podem estar sendo influenciadas pelo escoamento de base (subterrâneo), que é rico em íons mobilizados. Conforme pode ser observado no aumento do pico

de STD no mês de junho, período no qual os saldos dos balanços hídricos são de -16,52 mm e -4,52 mm (Tabela 2) para as sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão, respectivamente (Figuras 7a e 7b).

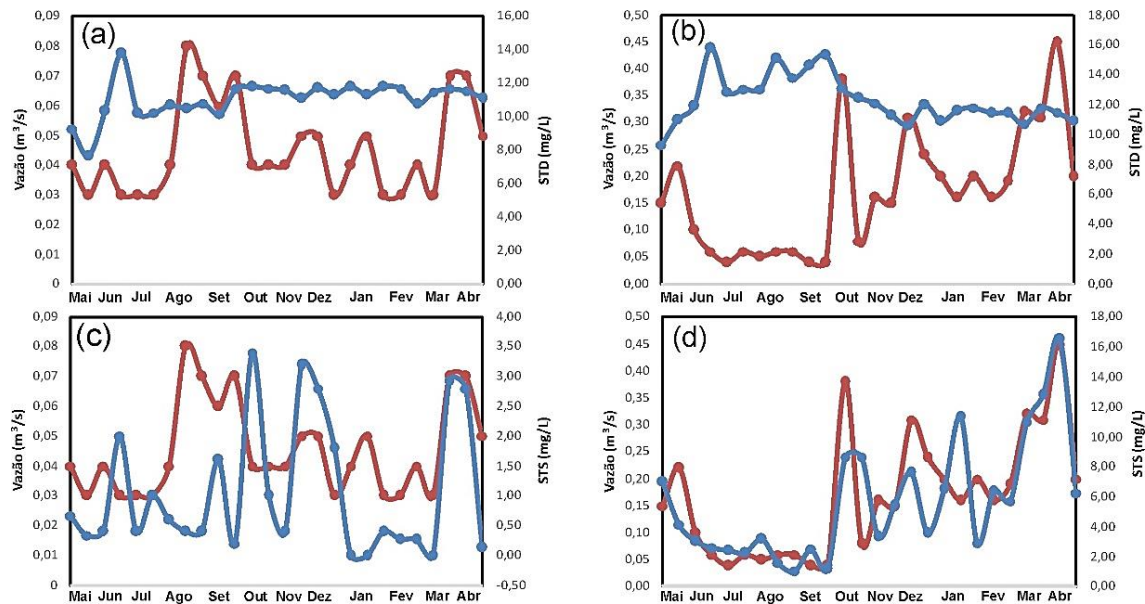


Figura 7. Distribuição das concentrações de sedimentos em função da vazão (hidrógrafa). (a) Sólidos totais dissolvidos (STD) e vazão no Gigante. (b) Sólidos totais dissolvidos (STD) e vazão no Chapadão. (c) Sólidos totais suspensos (STS) e vazão no Gigante. (d) Sólidos totais suspensos (STS) e vazão no Chapadão

Quanto aos sólidos totais suspensos (Figuras 7c e 7d) observa-se uma variação com a vazão e ao longo do período de estudo, evidenciando um efeito de erosão hídrica. Outro fator importante está no comportamento peculiar de STS em função da hidrógrafa no Córrego Gigante, diferente ao Córrego Chapadão, onde a carga sólida em suspensão é fortemente associada à magnitude da vazão, com grande parte do material sólido transportado em eventos de cheias que ocorrem em curtos períodos de tempo ao longo do ano hidrológico. Essas diferenças também podem estar relacionadas às características dos pontos de amostragem, principalmente pela grande amplitude com a redução da velocidade de fluxo, devido ao efeito de engarrafamento, gerado na seção do Córrego Gigante (Tabela 1 e Figura 2).

A concentração de sólidos nos ecossistemas aquáticos pode estar relacionada à litologia, geomorfologia, precipitação, pedologia, uso da terra e interferências antrópicas, e, o monitoramento regular pode servir para detectar tendências de aumento e/ou diminuição da erosão e interferências de uso da terra na bacia hidrográfica (Justino e Sardinha, 2019). Neste trabalho, os resultados da deposição pluvial e atmosférica de sedimentos suspensos são apresentados na Tabela 5. As sub-bacias apresentam uma concentração média ponderada pelo volume de precipitação (C_{MV}) de 1,18 mg/L para STS. A deposição atmosférica anual foi calculada utilizando as Tabelas 1 e 2. Os resultados apontam uma deposição pluvial anual de sólidos totais suspensos (STS) de 6,00 t/ano para o Gigante e de 26,65 t/ano para o Chapadão (Tabela 5).

Deposição atmosférica e transporte específico

Tabela 5. Concentração média ponderada pelo volume, deposição pluvial e deposição atmosférica.

Bacia	C_{MV}	$D_{pluvial}$	D_{atm}	Precipitação	Área	Uso da terra
	(mg/L)	STS (t/ano)	(t/km²/ano)			
^a Gigante	1,18	6,00	1,64	1379,80	3,67	Mineração/Rural
^b Chapadão		26,65			16,30	
^c Ariranha	0,80	7,56	1,20	1627,00	6,30	Rural
^d Amoras	0,63	20,00	1,11	1760,00	18,00	Rural/industrial

Fonte: elaborado pelos autores. Legenda: ^{a, b} este estudo. ^c Sardinha et al., 2018. ^d Mello (2020).

São poucos os trabalhos que avaliam sedimentos suspensos em águas pluviais, no entanto, foi possível comparar os dados com dois outros trabalhos realizados na região do Planalto de Poços de Caldas. Quando comparadas as taxas de deposição atmosférica ($\text{t/km}^2/\text{ano}$), observa-se que as sub-bacias estudadas, com influência de mineração e rural, são aproximadamente 30% superiores às das duas outras sub-bacias com usos da terra predominantemente rurais e industriais.

A Tabela 6 apresenta os dados relativos à taxa de deposição atmosférica anual dos principais

elementos analisados neste estudo, em sub-bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas e em bacias de outras regiões com diferentes usos da terra. Os dados demonstram que as bacias com influências urbanas apresentam maiores concentrações de NO_3^- e SO_4^{2-} (Ribeirão Preto, Jau e Sorocaba), sendo as concentrações de PO_4^{3-} de $0,45 \text{ t/km}^2/\text{ano}$ maiores que as demais, mas, próximas as bacias do Rio Jau ($0,44 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) na bacia sedimentar do Paraná, e Amoras ($0,42 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) no Planalto de Poços de Caldas.

Tabela 6. Concentração média ponderada pelo volume e taxa de deposição atmosférica.

Bacia	C_{MV}			D_{atm}			Precipitação	Área	Uso da terra
	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}			
	(mg/L)			(t/km ² /ano)			(mm/ano)	km ²	
^a Gigante	1,20	0,32	0,56	1,66	0,45	0,78	1379,80	3,67	Mineração/Rural
^b Chapadão								16,30	
^c Amoras	0,65	0,20	0,30	1,14	0,42	0,53	1760,00	18,00	Rural/Industrial
^d Ribeirão Preto	1,20	0,10	1,40	1,60	0,10	1,90	1404,00	346,00	Urbano
^e Rio Jau	1,83	0,25	1,44	3,21	0,44	2,52	1755,60	467,16	Urbano/Rural
^f Rio Sorocaba	1,42	0,15	3,96	2,20	0,24	6,17	1492,70	929,00	Urbano/Rural/Mineração

Fonte: elaborado pelos autores. Legenda: ^{a,b} este estudo. ^c Mello, (2020). ^d Conceição et al., 2015. ^e Sardinha et al., 2013. ^f Sardinha et al., 2010.

O transporte fluvial de sedimentos suspensos foi de $1,47 \text{ t/ano}$ para o Gigante e de $40,64 \text{ t/ano}$ para o Chapadão. Com isso, são

carreados e transportados aproximadamente 42 t de sólidos totais suspensos (STS) por ano ao do Reservatório Lindolpho Pio da Silva Dias no Planalto de Poços de Caldas (Tabela 7).

Tabela 7. Concentração média ponderada pelo volume, transporte fluvial e transporte específico.

Bacia	C_{MV}	$T_{fluvial}$	T_{esp}	Vazão média anual	Área	Uso da terra
	(mg/L)	STS (t/ano)	(t/km ² /ano)		km ²	
^a Gigante	1,03	1,47	0,40	0,05	3,67	Mineração/rural
^b Chapadão	7,63	40,64	2,49	0,17	16,30	
^c Ariranha	16,00	62,37	9,90	0,12	6,30	Rural
^d Amoras	9,30	104,00	5,78	0,63	18,00	Rural/industrial
^e Serra	31,38	819,42	27,52	0,83	29,78	Urbano/rural
^f Caldas	39,36	1457,87	36,78	1,17	39,64	Urbano/rural

Fonte: elaborado pelos autores. Legenda: ^{a,b} este estudo. ^c Sardinha et al., 2018. ^d Mello, 2020. ^{e, f} Justino e Sardinha 2019.

Os resultados da Tabela 7 indicam os valores de transporte específico nas bacias do Gigante ($0,40 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) e Chapadão ($2,49 \text{ t/km}^2/\text{ano}$). Os resultados, quando comparados com as bacias localizadas no Planalto de Poços de Caldas, são muito menores que nas bacias com influências urbanas, como os Ribeirões da Serra ($27,52 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) e Caldas ($36,78 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) que cortam a malha urbana do município de Poços de Caldas. Além disso, o transporte específico também é menor que nas bacias com influências rurais, como Ariranha ($9,90 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) e rurais/industriais como o Amoras ($5,78 \text{ t/km}^2/\text{ano}$).

A Tabela 8 também apresenta os dados relativos a transporte específico dos principais elementos analisados neste estudo, em bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas e em bacias de outras regiões com diferentes usos da terra. A bacia do Chapadão apresenta os maiores valores para PO_4^{3-} ($0,56 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) em comparação com as outras bacias da Tabela 8. Já em relação a SO_4^{2-} a bacia do Alto Pardo possui os maiores valores de transporte específico ($3,46 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) seguido pela bacia do Chapadão ($1,87 \text{ t/km}^2/\text{ano}$). Com relação a NO_3^- as bacias rurais do Monjolo ($0,40 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) e Jacutinga ($0,20 \text{ t/km}^2/\text{ano}$) são

as que possuem os menores valores de transporte específico.

Tabela 8. Concentração média ponderada pelo volume e transporte específico.

Bacia	C_{MP}			T_{esp}			Vazão média anual	Área	Uso da terra
	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}			
	(mg/L)			(t/km ² /ano)			(m ³ /s)	km ²	
^a Gigante	1,73	0,08	0,70	0,67	0,03	0,27	0,05	3,67	Mineração/Rural
^b Chapadão	1,82	1,70	5,73	0,59	0,56	1,87	0,17	16,30	
^c Amoras	0,40	0,03	0,50	1,14	0,42	0,53	0,65	18,00	Rural/Industrial
^d Monjolo	0,43	0,05	--	0,40	0,10	--	0,80	28,80	Rural
^e Jacutinga	0,29	0,06	--	0,20	0,10	--	0,60	28,90	Rural
^f Ribeirão Preto	8,20	0,30	8,10	2,00	0,10	0,60	6,20	346,00	Urbana
^g Muzambo	2,28	0,17	0,49	0,64	0,05	0,14	11,80	1322,00	Rural/Industrial/Urbana
^h Alto Pardo	2,80	0,40	5,30	1,84	0,30	3,46	34,00	1627,05	Rural/Industrial/Urbana

Fonte: elaborado pelos autores. Legenda: ^{a, b} este estudo. ^c Mello 2020. ^{d, e} Spatti Júnior et al., (2019).

^f Conceição et al., 2015. ^g Libânio e Sardinha (2020). ^h Reis e Sardinha (2021).

A ocupação de vertentes dos principais rios e a impermeabilização do solo em áreas urbanas favorecem o escoamento superficial, práticas agrícolas sem curvas de nível, com aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas sem acompanhamento técnico. A partir daí, podem contribuir com a remoção de partículas e íons do solo contribuindo para as taxas de deposição atmosférica e para o transporte específico de sólidos totais suspensos, nitrato, fosfato e sulfato conforme observados nas Tabelas 7 e 8.

Nas sub-bacias hidrográficas sob influência de mineração, extração da bauxita no Planalto de Poços de Caldas, o transporte de sedimentos (STS) comparados através do transporte específico (t/km²/ano), indicam que as áreas estudadas (Gigante e Chapadão) apresentam valores abaixo quando comparados com todas as outras bacias, com diferentes usos da terra (Tabela 7). Segundo Melo (2020) a mineração de bauxita no Planalto de Poços de Caldas emprega diferentes procedimentos para a reabilitação de áreas degradadas, dentre eles, sistemas de drenagem de águas pluviais. Neste sentido, a mineração deve estar seguindo, de maneira adequada, os procedimentos para a contenção dos sedimentos carregados pelo escoamento superficial. Além disso, a cobertura vegetal nas principais redes de drenagem também pode contribuir para atenuar o

transporte de sedimentos, conforme verificado por Ferreira et al., (2021) em parcelas experimentais em campo.

Valores superiores foram encontrados para as taxas de deposição atmosférica, apesar da pequena quantidade de estudos com sólidos totais suspensos (STS) em águas de chuva, as atividades agrícolas e de mineração por meio da movimentação de terra e do uso de maquinários (tratores, escavadeiras e caminhões) podem contribuir para os valores encontrados na Tabela 9. As atividades industriais, próximas a sub-bacia, atividades agrícolas juntamente com os procedimentos de reabilitação do solo nas cavas das minas de bauxita, utilizando fertilizantes no preparo do solo, também podem estar contribuindo para as taxas de deposição atmosférica de nutrientes, principalmente nitrato (NO_3^-) nas sub-bacias do Gigante e Chapadão, e sólidos totais suspensos (STS), fosfato (PO_4^{3-}) e sulfato (SO_4^{2-}) no Gigante, onde a contribuição das águas de chuva são maiores que das águas fluviais, conforme os valores negativos da Tabela 9. Cabe ressaltar que as características fisiográficas do Córrego Gigante, grande amplitude com um tempo de concentração muito curto, escoamento superficial muito rápido com a redução da velocidade de fluxo, devido ao efeito de engarrafamento, também podem afetar dos dados discutidos neste trabalho.

Tabela 9. Diferença entre a deposição atmosférica e o transporte específico.

	STS	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}
	(t/km ² /ano)			
$D_{atm} - T_{esp}$ Gigante	-1,24	-0,99	-0,42	-0,51
$D_{atm} - T_{esp}$ Chapadão	0,85	-1,07	0,11	1,09

Conclusões

As sub-bacias dos Córregos Gigante e Chapadão estão localizadas na região sudoeste do Planalto de Poços de Caldas onde localizam-se cavas de mineração de bauxita. A extração é realizada em pequenas áreas através da retirada da camada superficial do solo e das camadas do subsolo que podem causar erosão e assoreamento, principalmente pelas características do relevo ondulado com morros e morrotes de encostas convexas cristas alongadas. As médias pluviométricas mensais indicam dois períodos hidrológicos, estação seca que compreende os meses entre maio a outubro onde o escoamento superficial dos Córregos Gigante e Chapadão são alimentados pelo escoamento de base (escoamento subterrâneo), e estação úmida entre os meses de novembro a abril, responsáveis por recarregar as águas subterrâneas que alimentaram a água superficial.

Quando comparados com outros estudos, nas águas pluviais as concentrações de sólidos totais dissolvidos possuem valores acima dos encontrados para bacias hidrográficas rurais, diferente do encontrado para sólidos totais suspensos, com valores abaixo e próximos dos encontrados para áreas urbanas e rurais, respectivamente. Já as concentrações dos nutrientes NO_3^- , PO_4^{3-} e SO_4^{2-} estão relacionadas com aportes geogênicos ou antropogênicos, e podem estar influenciando as concentrações de pH e sólidos totais dissolvidos e suspensos das águas de chuva.

Nas águas fluviais, os valores de pH são neutros, condutividade elétrica e turbidez são muito menores que os valores encontrados para bacias urbanas e próximas as bacias rural/industrial e estritamente rural. As bacias também apresentam boa oxigenação das águas, com valores próximos a sete durante todo o período de amostragem. Os valores de sólidos totais dissolvidos são maiores no período seco (máxima de 13,80 mg/L e 15,80 mg/L), ao contrário de sólidos totais suspensos com concentrações maiores no período chuvoso (máxima de 3,40 mg/L e 16,53 mg/L). As concentrações de nitrato apresentam grande variação entre o período seco e chuvoso, já para fosfato e sulfato as concentrações são menores no Córrego Gigante (média de 0,09 mg/L e 0,77 mg/L) respectivamente, ao contrário do Córrego Chapadão com concentrações médias anuais de 1,01 mg/L e 6,24 mg/L. Como as rochas das bacias não possuem grande quantidade de nitrato, fosfato e sulfato em sua composição mineralógica, atribui-

se a entradas destes elementos a origens antropogênicas.

A área de estudo apresenta uma deposição pluvial de sólidos totais suspensos de 6,00 t/ano para o Gigante e de 26,65 t/ano para o Chapadão. Já o transporte fluvial foi de 1,47 t/ano para o Gigante e de 40,64 t/ano para o Chapadão. O transporte de sedimentos comparados através do transporte específico ($\text{t/km}^2/\text{ano}$), indicam que as áreas estudadas (Gigante = 0,40 e Chapadão = 2,49) apresentam valores inferiores, quando comparados com outras bacias, com diferentes usos da terra na região do Planalto de Poços de Caldas.

As atividades de mineração, empregando procedimentos para drenagem de águas pluviais, juntamente com a cobertura vegetal nas principais redes de drenagem, podem estar atenuando o transporte de sólidos totais suspensos carregados pelo escoamento superficial. Por outro lado, as áreas estudadas possuem uma taxa de deposição atmosférica de 1,64 $\text{t/km}^2/\text{ano}$, valor acima de outras bacias da região do Planalto de Poços de Caldas, apesar da pequena quantidade de estudos com sólidos totais suspensos em águas de chuva. A diferença entre a taxa de deposição atmosférica e o transporte específico de sólidos totais suspensos (STS) foram de -1,24 $\text{t/km}^2/\text{ano}$ para o Gigante e de 0,85 $\text{t/km}^2/\text{ano}$ para o Chapadão, indicando que as águas pluviais contribuem com aproximadamente 400% para o Gigante e 65% para o Chapadão.

Apesar da possibilidade das características fisiográficas, agrícolas e outros usos da terra terem afetado os dados deste estudo, medidas para o controle da poluição atmosférica do tipo difusa e diminuição dos materiais particulados na atmosfera podem ser adotadas. A umectação de estradas vicinais e das áreas próximas as cavas de mineração de bauxita, utilizando diferentes tecnologias, podem contribuir para a diminuição das taxas de deposição atmosférica de sólidos totais suspensos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, Processo n.: CAG - APQ-02752-18. Os autores também agradecem a Pró Reitoria de Pesquisa e Pós Graduação (PRPPG) da Universidade Federal de Alfenas (Unifal) em especial a Prof^a. Vanessa Bergamin Boralli Marques pelo apoio logístico.

Referências

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1987. NBR 9898: preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 22p.
- Alves, W.S.; Moraes, W.A.; Oliveira, L.D.; Pereira, M.A.B.; Martins, A.P.; Vasconcelos, S.M.A.; Ramalho, F.L. 2019. Análise das relações entre uso do solo e qualidade da água do Lago Bonsucesso, em Jataí, Estado de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 326-342.
- Anjinho, P.S.; Neves, G.L.; Barbosa, M.A.G.A.; Mauad, F.F. 2020. Análise da qualidade das águas e do estado trófico de cursos hídricos afluentes ao reservatório do Lobo, Itirapina, São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.01, 364-376.
- APHA. American Public Health Association. 2012. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22. ed. Washington, 1935p.
- ASF, Alaska Satellite Facility. MapReady: ALPSRP271026740. Disponível em: <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=AVNI> R. Acesso em: 25/02/2021.
- Barros, D.A.; Guimarães, J.C.C.; Pereira, J.A.A.; Borges, L.A.C.; Silva, R.A.; Pereira, A.A.S. 2021. Characterization of the bauxite mining of the Poços de Caldas alkaline massif and its socioenvironmental impacts. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 65(1), 127-133.
- Braga, C.C.; Cabral, J.B.P.; Lopes, S.M.F.; Oliveira, S.F.; Rocha, I.R. 2018. Qualidade dos sedimentos em relação à presença de metais pesados no reservatório da usina hidrelétrica de Caçu – GO. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.11, n.03, 959-972.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 1, 58-63, 2005.
- Cabral, J.B.P.; Filho, W.P. 2018. Técnicas de sensoriamento remoto aplicada análise da concentração de sólidos em suspensão na UHE Foz do Rio Claro – GO. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.11, n.04, 1526-1541.
- Calado, T.O.; Cardoso, A.S.; Marques, E.A.T.; Sobral, M.C. 2020. Planos diretores na articulação da gestão de recursos hídricos com o uso do solo no entorno de reservatórios. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13.
- Carvalho, N.O. 2008. Hidrossedimentologia prática. 2ed. Rio de Janeiro: Interciências, 600p.
- Christofoletti, A. 1973. A unidade morfoestrutural do Planalto de Poços de Caldas. *Notícias Geomorfológicas*, Campinas, v.13, n.26, p.77-85.
- Conceição, F.T.; Santos, C.M.; Sardinha, D.S.; Navarro, G.R.B.; Godoy, L.H. 2015. Chemical weathering rate, denudation rate, and atmospheric and soil CO₂ consumption of Paraná flood basalts in São Paulo State, Brazil. *Geomorphology*, 233, 41–51.
- CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. 1979. Projeto Sapucaí: relatório final. Escala 1:250.000. Editora do Departamento Nacional de Produção Mineral, São Paulo, 5 volumes, 289 p.
- Degrande, E.J.S.; Firmino, G.V.; Torres, M.A.N. 2020. Dinâmica Fluvial e Caracterização Limnológica do Córrego do Cedro, Presidente Prudente -São Paulo/ Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* v.13, n.04, 1851-1869.
- Ellert, R. 1959. Contribuição à geologia do maciço alcalino de Poços de Caldas. *Boletim Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras USP*, São Paulo, 237, 5-63.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2018. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5ª Edição revisada e ampliada, Brasília, 356 p
- Ferreira, A. M., da Silva, A. M., dos Passos, C. A., Valentino, C. H., Gonçalves, F. A., & Junker Menezes, P. H. B. 2021. Estimativa da erosão hídrica do solo pelo modelo Water Erosion Prediction Project na Sub-Bacia do Córrego do Gigante, sul de Minas Gerais. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 26(3), 471–483.
- Félix-Faure, J.; Gaillard, J.; Descloux, S.; Chanudet, V.; Poirel, A.; Baudoin, J.M.; Avriillier, J.N.; Millery, A.; Dambrine, E. 2019. Contribution of Flooded Soils to Sediment and Nutrient Fluxes in a Hydropower Reservoir (Sarrans, Central France) *Ecosystems*, v.22(2), 312-330.
- Google Earth Pro. Imagens de satélite. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 08/09/2020.
- Google Earth Pro. Imagens de satélite. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 25/06/2021.
- HACH. 2009. DR/820, DR/850 and DR/890. Portable Datalogging Colorimeter Instrument

- Manual. 2. ed. Loveland, Colorado, U.S.A: Hach Company, 68p.
- Hagemann, S.E.; Gastaldini, M.C.C. 2016. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria – RS. RBRH, 21, 525-536.
- INB. Indústrias Nucleares Do Brasil. 2011. Programa de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), UTM – Caldas, N° Projeto 099-515-3023. Elaboração R. L. Mapa Geológico Regional (2). Minas Gerais: INB.
- Justino, F.A.; Sardinha, D.S. 2019. Análise geoambiental aplicada à bacia hidrográfica do Ribeirão de Poços, Poços de Caldas (MG). Estudos Geográficos, 17(1), 68-90.
- Kasereka, M.M. Cuoco, E. Zabene, F.Z.; Balagizi, C.M. 2021. Baseline for rainwater chemistry and quality as influenced by Nyiragongo volcano permanent plume, East Africa. Chemosphere, 283, 130859.
- Libânio, C.R.; Sardinha, D.S. 2020. Transporte anual de sedimentos e nutrientes do Rio Muzambo, tributário do Reservatório de Furnas (MG). RMRH - Rev. Min. Rec. Hidr, 1, 1-20.
- Martins, E.H.; Nogarotto, D.C.; Mortatti, J. Pozza, S.A. 2019. Chemical composition of rainwater in an urban area of the southeast of Brazil. Atmospheric Pollution Research, 10, 520–530.
- Martins, L.L.; Martins, W.A.; Moraes, J.F.L.; Júnior, M.J.P.; Maria, I.C. 2020. Calibração hidrológica do modelo SWAT em bacia hidrográfica caracterizada pela expansão do cultivo da cana-de-açúcar. Revista Brasileira de Geografia Física 13, 576-594.
- Mello, R.C.A. 2020. Balanço de denudação no planalto alcalino de Poços de Caldas (MG). Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 98 p.
- Melo, C.E.S. 2020. Avaliação das práticas de recuperação ambiental na mineração de bauxita no Planalto de Poços de Caldas e propostas de aprimoramento. Dissertação de mestrado da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 92p.
- Melo, C.E.S.; Sánchez, L.E. 2020. Evaluation of environmental rehabilitation practices in bauxite mining at the plateau of Poços de Caldas. REM: Int. Eng. J., Ouro Preto, 73(2), 247-252.
- Melo, S.C.; Filho, J.C.A.; Carvalho, R.C.M.O. 2020. Curvas-chave de descargas de sedimentos em suspensão no Baixo São Francisco. Revista Brasileira de Geografia Física v. 13 n. 03, 1248-1262.
- Oliveira, J.D.; Souza, C.A.; Galbiati, C.; Sousa, J.B. 2022. Componentes ambientais e hidrodinâmica na bacia hidrográfica do Rio Branco, contribuinte do Pantanal Mato-Grossense. Revista Brasileira de Geografia Física 15, 465-486.
- Probst J.L. 1992. Géochimie et hydrologie de l'érosion continentale: Mécanismes, bilan global actuel et fluctuations au cours des 500 derniers millions d'années. Strasbourg: Université Louis Pasteur, Institut de Géologie, (Sciences Géologiques Mémoire, 94). 161 p.
- Reis, R.I.; Sardinha, D.S. 2021. Transporte fluvial de sedimentos e nutrientes a montante do Reservatório da Hidrelétrica Caconde, bacia do Alto Rio Pardo (MG). Revista Brasileira de Geografia Física v.14, n.05, 2646-2663.
- Rocha, C.M.C.; Lima, D.M.B.; Cunha, M.C.C.; Almeida, J.S. 2020. Submerged Macrophytes, Phytoplankton and Zooplankton in Tropical Reservoir. Revista Brasileira de Geografia Física 13, 2170-2179.
- Santos, R.S.; Medeiro, P.R.P.; Santos, E.O. 2022. Análise da variação temporal da carga de fósforo no baixo Rio São Francisco (AL/SE). Revista Brasileira de Geografia Física 15, 872-885.
- Sardinha, D.S.; Bonotto, D.M.; Conceição, F.T. 2010. Weathering rates at Alto Sorocaba basin, Brazil, using U-isotopes and major cations. Environ Earth Sci, 61, 1025–1036.
- Sardinha, D.S.; Bonotto, D.M.; Godoy, L.H.; Conceição, F.T.; Torres Moreno, M.M. 2013. Influências geogênicas/antropogênicas na composição química das águas pluviais de Dois Córregos, bacia do Rio Jaú (SP). Geociências, v. 32, n.3, p.577-585.
- Sardinha, D.S.; Godoy, L.H.; Conceição, F.T.; Spatti Júnior, E.P.; Fernandes, A.M.; Victal, F.A.C.A.; Costa, D.A.T. 2018. Geoquímica fluvial e balanço de denudação em Tinguaitos de Poços de Caldas, Minas Gerais. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 18, n. 1, p. 259-272.
- Sardinha, D.S.; Souza, A.D.G.; Silva, A.M.; Libânio, C.R.; Menezes, P.H.B.J.; Tiezzi, R.O. 2019. Índice de estado trófico para fósforo total (IET-PT) aplicado em afluente da Represa Bortolan em Poços de Caldas (MG). Revista DAE, 216, 67, 95-108.
- Schorscher, H. D.; Shea, M. E. 1992. The regional geology of the Poços de Caldas alkaline complex: mineralogy and geochemistry of selected nepheline syenites and phonolites. Journal of Geochemical Exploration, 45(1), 25-51.

- Spatti Júnior, E.P.; Conceição, F.T.; Fernandes, A.M.; Sardinha, D.S.; Menegário, A.A.; Moruzzi, R.B. 2019. Chemical weathering rates of clastic sedimentary rocks from the Paraná Basin in the Paulista Peripheral Depression, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 96, 102369.
- Stevaux, J.C.; Latrubesse, E.M. 2017. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo, Oficina de Texto, 336p.
- Ulbrich, H.H.G.J.; Vlach, S.R.F.; Ulbrich, M.N.C.; Kawashita, K. 2002. Penecontemporaneous syenite phonolitic and basic-ultrabasic-carbonatite rocks at the Poços de Caldas Alkaline Massif, SE Brazil: geological and geochronological evidence. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2), 15-26.