
Avaliação da carga sedimentar entre os anos de 2016 e 2019 no Rio Pandeiros, Januária, MG e sua influência na preservação ambiental da bacia hidrográfica

Cláudio José Chagas¹; Jefferson Vianna Bandeira²; Lécio Hannas Salim³; Cláudio Costa Camargos⁴; ⁵Gabriel Pires de França ; ⁶Leonardo Passos Sá.

Resumo

Apresentam-se alguns resultados do projeto de pesquisa que abrange estudos nas áreas de sedimentologia, climatologia e geomorfologia. O objetivo é avaliar o efeito da carga sedimentar medida e suas implicações no assoreamento do Pantanal do Rio Pandeiros, área úmida, conhecida como “Pantanal Mineiro”, situada junto à foz do Rio Pandeiros, Januária, MG e contribuir para traçar diretrizes na gestão da bacia. Os resultados hidrosedimentométricos indicam que o sistema barragem/reservatório da Pequena Central Hidrelétrica Pandeiros pode ser utilizado como um instrumento de manejo do transporte de sedimentos para minimizar o assoreamento do pantanal, bem como para armazenamento de água e suprir as demandas das comunidades vizinhas.

Palavras-Chave: gestão de bacia, pantanal do Rio Pandeiros, reserva hídrica.

Abstract

Some results of the research project are presented, covering studies in the areas of sedimentology, climatology and geomorphology. The objective is to evaluate the effect of the measured sediment load and its implications on the silting up of the Pantanal do Rio Pandeiros, a wetland, known as Pantanal Mineiro”, located near the mouth of the Pandeiros River, Januária, MG, and contributing to drawing up guidelines for the management of the basin. The hydrosedimentometric results indicate that the dam/reservoir system of the Pandeiros Small Hydroelectric Power Plant can be used as a sediment transport management tool to minimize the silting of the wetland, as well as to store water to supply neighboring communities.

Keywords: basin management, Pandeiros wetland, water reserve.

¹Mestre, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CNEN/CDTN) – cjc@cdtn.br

²Doutor, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CNEN/CDTN) – jvb@cdtn.br

³Mestre, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear CNEN/CDTN – salimlh@cdtn.br

⁴Mestre, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear CNEN/CDTN – camargosclaudio667@gmail.com

⁵Graduado, Instituto Federal do Norte de MG (Campus de Januária) (IFNMG) – camargosclaudio667@gmail.com gabrielcajoneiro@gmail.com

⁶Graduado, Instituto Federal do Norte de MG (Campus de Januária) (IFNMG) – quimico.passos@gmail.com



Introdução

Embora o estudo da dinâmica sedimentar seja complexo, ele atrai muitos pesquisadores que buscam responder sobre o assoreamento de reservatórios de barragens, transporte de sedimentos em suspensão e pelo leito, alterações na calha fluvial e na ictiofauna (COLLINS; WALLING; LEEKS, 1998; DIE-TRICH *et al.*, 2003; PETTS, 1983; SERRA; OLIVEIRA, 2020).

Para satisfazer algumas destas questões este trabalho faz uma breve análise dos relatórios do projeto: “SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros”, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG (BANDEIRA *et al.*, 2020). O relatório desse estudo multidisciplinar, está dividido em quatro subprojetos que se interligam nas áreas de geomorfologia, clima, solo e hidrossedimentologia, onde atuaram pesquisadores do Instituto de Geociências (IGC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), Campus Januária e do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN)⁷.

O sistema fluvial composto pelo Pantanal e o Rio Pandeiros funcionam como um berçário que é responsável pela reprodução e desenvolvimento de 70% da fauna ictiológica do médio Rio São Francisco (BETHONICO, 2009; FONSECA *et al.*, 2008; NUNES *et al.*, 2009). O assoreamento progressivo dessa área úmida, pelo transporte de sedimento

oriundo da bacia do Rio Pandeiros, é atualmente motivo de grande preocupação do Instituto Estadual de Florestas (IEF), que é o órgão responsável por sua administração (FONSECA *et al.*, 2008; INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM, 2017).

O CDTN e o IFNMG, conduziram o estudo de caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros (BANDEIRA *et al.*, 2018). Desta maneira, busca-se situar o transporte de sedimentos como a principal contribuição para o assoreamento do Pantanal.

Dentre os resultados, são apresentados a precipitação pluvial, que é o agente mandatário na produção e no transporte de sedimentos, a carga sedimentar por estação e a granulometria dos sedimentos do reservatório. Tais resultados nos dá um arrazoado sobre a distribuição dos sedimentos ao longo do rio e subsidia propostas de gestão da bacia para suprir a demanda de água na comunidade de Pandeiros e a preservação do Pantanal do Rio Pandeiros (BANDEIRA *et al.*, 2018; CARVALHO, 2008; PETTS, 1983).

Materiais e métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pandeiros está inserida na APA Pandeiros, criada pela Lei Estadual nº 11.901 de 01 setembro de 1995, que conforme Nunes *et al.* (2009), é destinada principalmente à proteção do bioma, cuja área está apresentada no Plano de Manejo aprovado pela Câmara Técnica de

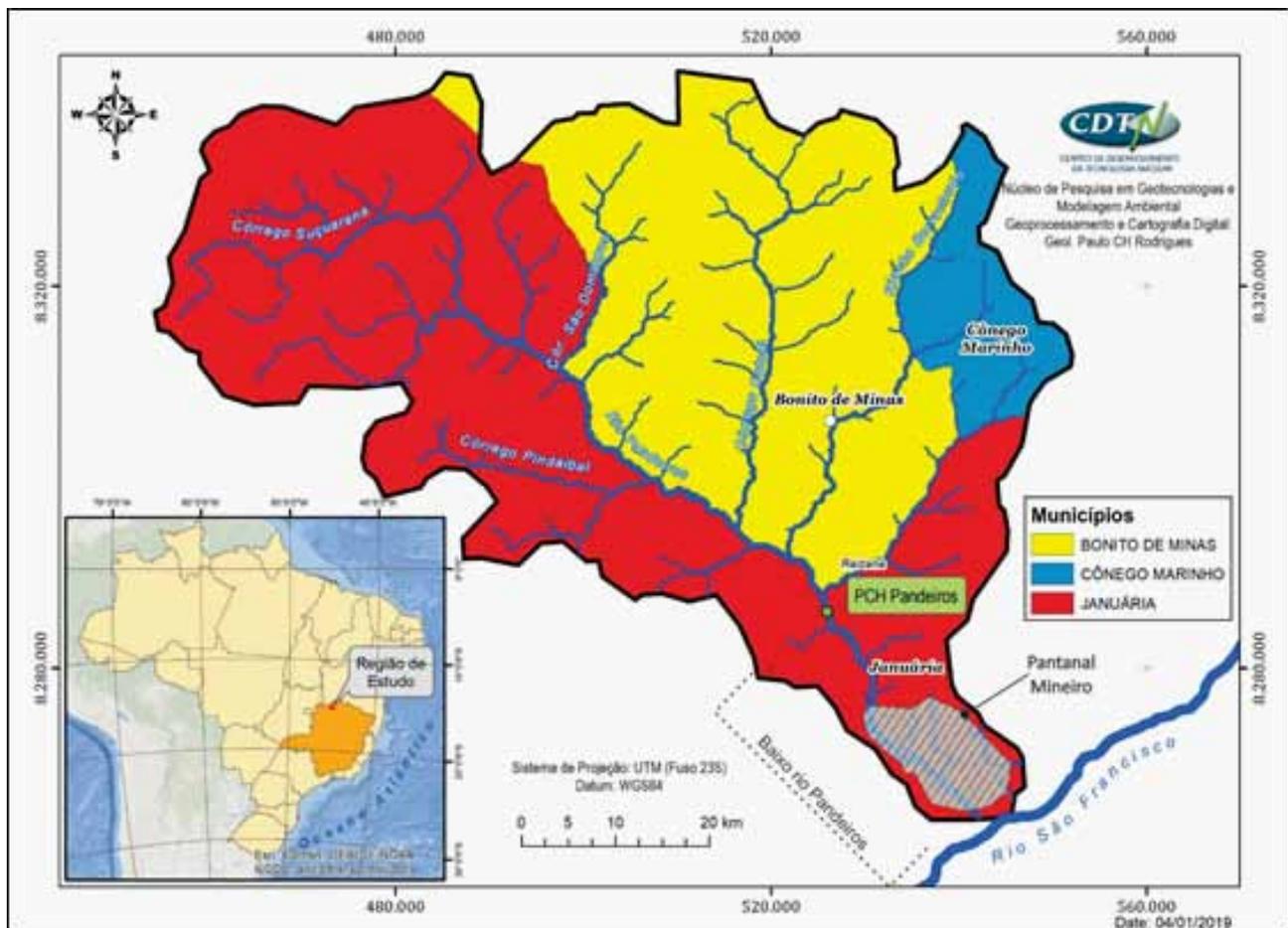
⁷<https://www.igc.ufmg.br/geografia/pos-graduacao-em-geografia/relatorios-e-produtos-tecnicos/>



Proteção à Biodiversidade (CPB) em fevereiro de 2019, divulgado pelo IEF, somada à sub-bacia do ribeirão do Peixe (BICHO DO MATO MEIO AMBIENTE, 2019). Essa bacia está localizada no sudeste do Brasil, na região noroeste do Estado de Minas Gerais, à margem esquerda do Rio São Francisco, do qual o Rio Pandeiros é afluente direto (MAPA

1). Conforme Bethonico (2009), a bacia se limita a noroeste com a Serra do Gibão, a sudoeste com a Serra das Araras, a nordeste com o divisor de águas da Bacia do Rio Peruaçu e com o divisor de águas da bacia hidrográfica do Rio Pardo ao sul-sudoeste e abrange os municípios de Bonito de Minas, Cônego Marinho e Januária.

Mapa 1 – Localização e divisão política da Bacia do Rio Pandeiros



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

Na porção inicial do baixo Rio Pandeiros e junto à comunidade homônima foi construída em 1957 uma barragem para suprir as necessidades da usina chamada de Pequena Central Hidrelétrica - PCH Pandeiros, com 4,2 MW de capacidade instalada e operada pelas Centrais Elétricas de Minas Gerais (CEMIG), por iniciativa do Governador Juscelino Kubits-

chek de levar desenvolvimento econômico, rural e social para a bacia do Rio São Francisco (FONSECA *et al.*, 2008). No entanto, a PCH Pandeiros está inoperante desde 2008 (IGAM, 2017).

Conforme apresentado no Mapa 1, a bacia do Rio Pandeiros tem aproximadamente 3.953 km², dos quais cerca de 20 a 50 km²,

dependendo do histórico de cheias, é formado por uma área úmida localizada na porção mais à jusante da bacia, que compõe o “Pantanal Mineiro” (BANDEIRA *et al.*, 2020b). De acordo com Nunes *et al.* (2009), esse Pantanal apresenta um ecossistema próprio recebendo, inclusive, várias espécies de peixes durante a época de reprodução e tendo também, embora modestos, fins turísticos.

Essa bacia se desenvolveu sobre rochas sedimentares siliciclásticas dos Grupos Urucuia e Areado, datados do Cretáceo, sendo o primeiro estratigraficamente mais elevado e predominante em termos de área ocupada do que o segundo. Grande parte dessas rochas encontra-se intemperizada, apresentando coberturas detríticas nas quais predominam os Neossolos Quartzarênicos e Litólicos. Nas áreas mais à jusante da bacia, onde a erosão fluvial provocou um maior encaixamento, rochas de formações do Grupo Bambuí, em especial os calcários, já estão

expostas, indicando o grande retrabalhamento geomorfológico ali ocorrido. Mapeamentos e levantamentos feitos com sobreposição de imagens em ambiente de Sistema de Informação Geográficas (SIG), identificaram a presença de seis unidades geomorfológicas distintas compondo a aparente “homogeneidade geológica” da bacia do Rio Pandeiros (OLIVEIRA; AUGUSTIN; FONSECA, 2017).

Conforme Bicho do Mato Meio Ambiente (2019), a cobertura vegetal predominante, ocupando quase 80% da Área de Proteção Ambiental, APA, é da fitofisionomia Cerrado sentido restrito, em cujo bioma ocorre o ecossistema das veredas, matas de galeria e matas ciliares (FOTOGRAFIA 1). Nas áreas em que ocorrem o afloramento de calcário, há presença da vegetação conhecida como mata seca, típica do domínio das Formações Calcárias do Grupo Bambuí (SANTOS *et al.*, 2007).

Fotografia 1 – Vegetação na estrada de ligação entre a comunidade de Palmeirinha em direção à comunidade do Traçadal, Januária, MG



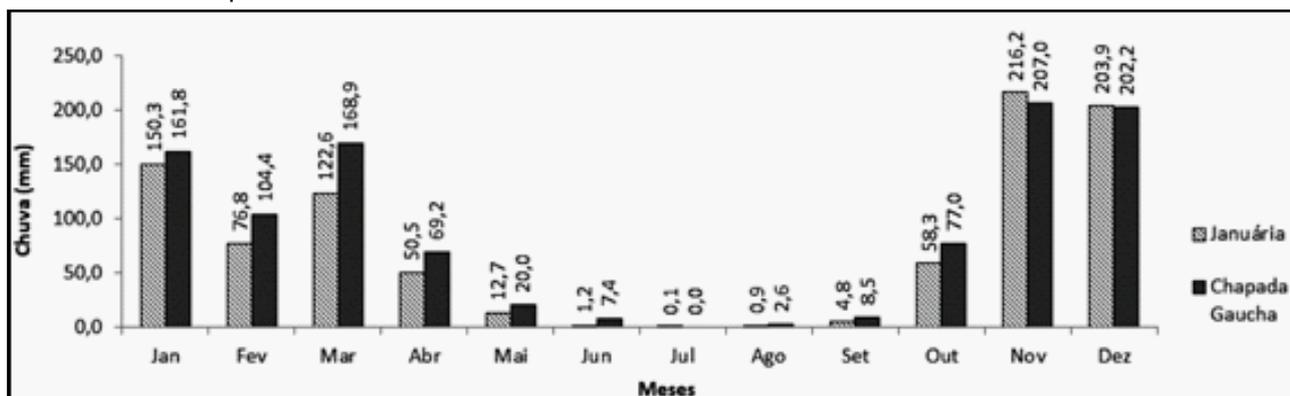
Fonte: BANDEIRA *et al.*, 2012.

Segundo Jardim e Moura (2018), na região sudeste do Brasil o verão é o período do ano de maior pluviosidade, quando ocorre maior quantidade de material sendo mobilizado da vertente para os corpos hídricos, bem como a remobilização dos sedimentos na calha dos rios.

No município de Januária, de acordo com as Normais Climatológicas 1961-1990 levantadas por Jardim e Moura (2018) no Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), entre os meses mais quentes e mais frios a temperatura média do ar variou entre 23,0°C e 25,3°C. Sendo que a temperatura máxima absoluta registrada foi de 41,5°C e a mínima absoluta de 7,7°C. O verão concentra a maioria das chuvas com total médio anual de 826,5 mm (MOURA; JARDIM, 2016). Para os anos entre 2008 e 2016 na estação automática de Januária a média de chuvas registrada foi de 921,9 mm (JARDIM *et al.*, 2017).

Em estudo recente, Jardim e Moura (2018) apresentaram as variações de chuva incidentes na bacia do Rio Pandeiros, tendo como base os dados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) dos municípios de Chapada Gaúcha e Januária. Essas estações ficam na área externa da bacia, e estão situadas aproximadamente a 20 km das bordas oeste e leste, respectivamente. Apesar dessas distâncias, os eventos chuvosos que ocorrem nessas estações são dinâmicos, ligados a circulação de massas de ar e podem atuar em toda região do entorno. Sendo assim, os autores fizeram uma comparação dos totais médios anuais de chuva para as duas localidades entre os anos de 2008 e 2017, de onde podemos inferir que o período efetivamente de chuvas ocorreu entre novembro e março, tendo sido o período mais seco de abril a outubro (GRÁFICO 1).

Gráfico 1 – Média mensal de chuva na bacia do Rio Pandeiros entre os anos de 2008 e 2017 para os municípios de Chapada Gaúcha e Januária



Fonte: JARDIM; MOURA, 2018, p.185.

Cada ciclo temporal estudado é composto por um período úmido, também chamado de período chuvoso, e um período seco. Tendo como base os registros levantados por Jardim

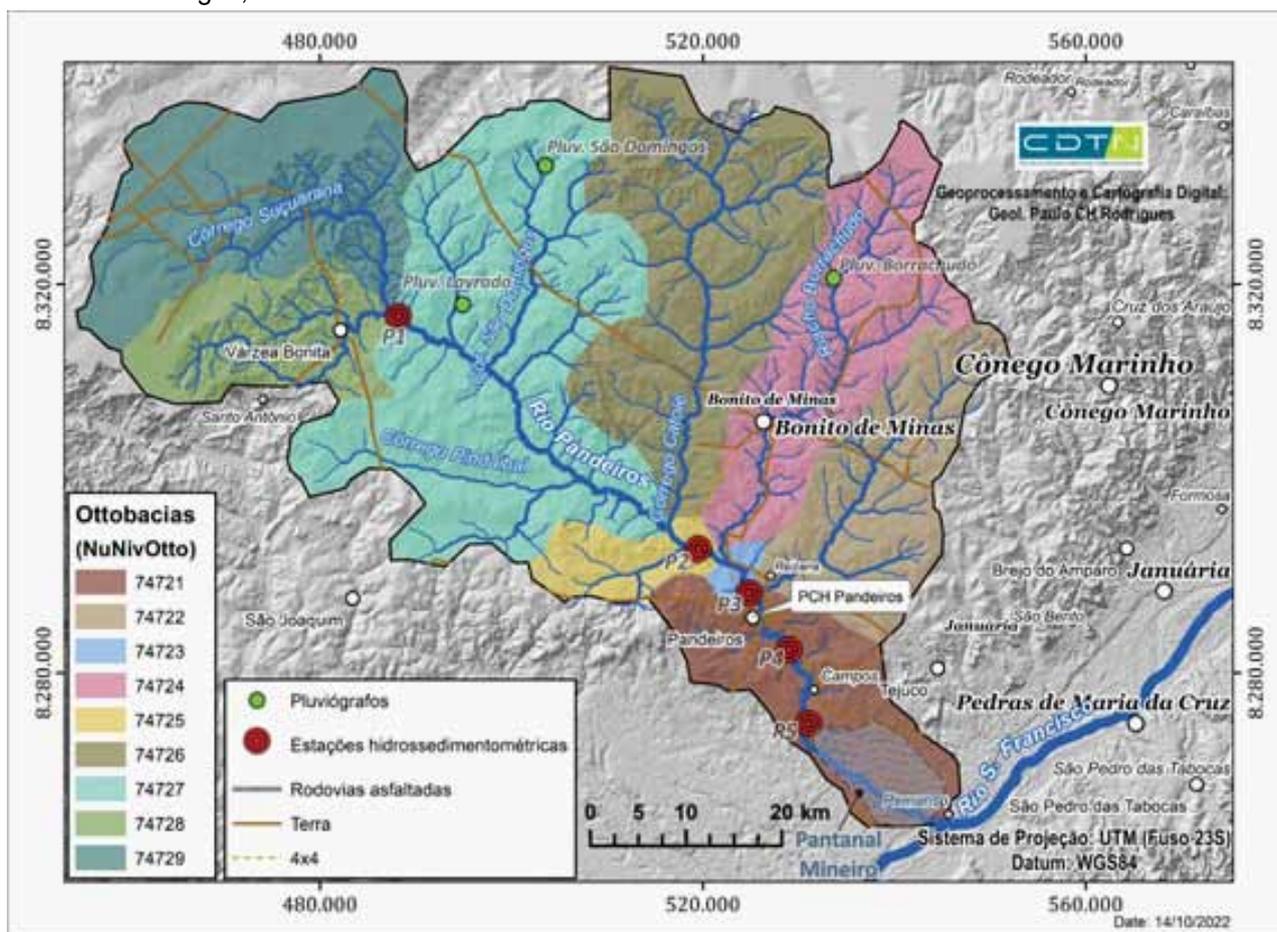
e Moura (2018), o ano hidrológico adotado para a bacia do Rio Pandeiros foi de novembro a outubro do ano seguinte.

Levantamento de dados de chuva e da carga de sedimentos

Para complementar os dados de pluviosidade disponíveis do INMET⁸ (estações Chapada Gaúcha-A548 e Januária-A559) e obter o perfil de pluviosidade mais detalhado da bacia, instalaram-se três estações pluviométricas equipadas com pluviômetros Squitter modelo S2163-A31r20, com resolução de 0,20 mm, dotados de datalogger. Essas estações foram instaladas nas sub-bacias dos córregos Lavrado, São Domingos e Borrachudo, recebendo as denominações dos córregos correspondentes (MAPA 2).

métricas equipadas com pluviômetros Squitter modelo S2163-A31r20, com resolução de 0,20 mm, dotados de datalogger. Essas estações foram instaladas nas sub-bacias dos córregos Lavrado, São Domingos e Borrachudo, recebendo as denominações dos córregos correspondentes (MAPA 2).

Mapa 2 – Ottobacias: localização das estações hidrossedimentométricas P1 a P5 e dos pluviômetros São Domingos, Lavrado e Borrachudo



Fonte: Paulo C. H. Rodrigues, Geólogo, Geoprocessamento e Cartografia Digital do CDTN, 2022.

Notas: Ottobacias são áreas de contribuição dos trechos da rede hidrográfica codificadas segundo o método de Otto Pfafstetter para classificação de bacias (Nunivotto - Nível da Ottobacia) - Codificação numérica de bacias hidrográficas estratificadas em níveis, de acordo com a Res. N.º 30 do DNRH, de 2002.

⁸Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>



De acordo com Petts (1983) e Stott (2011), diante da importância da pluviosidade para a mobilização dos sedimentos, monitoraram-se também os níveis d'água, vazão e o transporte de sedimentos ao longo do canal do Rio Pandeiros em cinco estações hidrossedimentométricas, denominadas P1, P2, P3, P4 e P5 (MAPA 2). A Estação P3 já era existente desde 1973, pertence à Agência Nacional de Águas (ANA) e é operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). Três dessas estações estão situadas à montante da barragem da PCH Pandeiros (P1, P2 e P3) e duas à jusante (P4 e P5).

Além da localização de todas as estações instaladas na bacia, o Mapa 2 traz uma divisão em sub-bacias hidrográficas utilizando a codificação apresentada por Otto Pfafstetter, que foi adotada pela ANA e denominadas Ottobacias (ANA, 2007).

Cada uma das estações hidrossedimentométricas, P1, P2, P4 e P5, foi equipada com duas referências de nível (RN) geodesicamente referenciadas, régua linimétrica e sensor de pressão que registram o nível e a temperatura d'água a cada 30 min. Na Estação P3, os registros de nível são realizados através de duas leituras diárias e disponibilizados na internet através da página Hidroweb⁹.

Foram levantadas as distâncias estimadas entre as estações, ao longo do rio; a altitude ortométrica (altitude relativa ao Nível Médio do Mar - N.M.M.) de cada estação, considerando o zero da régua linimétrica, localizado próximo ao fundo; e a declividade entre os trechos. Sendo que, para extração do perfil de maior declividade da vertente, na cabeceira do rio,

utilizou-se a ferramenta "Terrain profile", um complemento do software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019). Os parâmetros de declividade interferem nos fatores de competência e capacidade do rio, cujos conceitos foram descritos por Petts (1983) como sendo:

- **Competência do rio** – refere-se ao maior tamanho de partícula que pode ser movida por uma descarga;
- **Capacidade do rio** – refere-se ao volume máximo de sedimentos de um dado tamanho que pode ser transportado.

Características como largura e profundidade do canal, rugosidade do leito e velocidade média do fluxo interferem diretamente nesses fatores, mas a declividade do fundo do canal merece atenção especial.

Isso porque, a declividade é um fator que influencia diretamente na velocidade fluxo. Quanto maior a declividade, maior a velocidade do escoamento e maior a energia cinética (E) do mesmo, pois a energia é proporcional ao quadrado da velocidade (V):

$$E = \frac{mV^2}{2}$$

onde (m) é a massa sendo transportada (PETTS, 1983; CARVALHO, 2008).

A carga total de sedimentos se divide em transporte por arraste e em suspensão. O transporte por arraste de sedimentos do leito é determinado diretamente através da operação de amostradores Helley-Smith colocados na superfície do leito, Fotografia 2, os quais

⁹Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

recolhem, em um determinado intervalo de tempo e em medições distribuídas ao longo da seção transversal, o material que se movimenta pela ação do escoamento por arraste e ou saltação (FEDERAL INTER-AGENCY SEDIMENTATION PROJECT, 1963; CARV-

ALHO *et al.*, 2000; CARVALHO, 2008). Este material foi encaminhado para o Laboratório de Solos do Instituto Federal do Norte de Minas (IFNMG), onde foi secado, pesado e submetido à análise granulométrica.

Fotografia 2 – Amostradores de sedimento do leito – Helley-Smith



Fonte: a) catálogo Rickly de 2018; b) Acervo do autor, 2018.

Nota: a) amostrador pesado (29,5 kg) modelo Rickly 8055: para uso em cabo suspenso, imagens do catálogo Rickly, 2018.

b) amostrador leve (4,5 kg) modelo Rickly 8025: para uso com haste em medição a vau. Acervo do autor, 2018.

O transporte de sedimento em suspensão é determinado com base em duas grandezas: a vazão do curso d'água e a concentração desse sedimento. Essa concentração, por sua vez é obtida através da amostragem da mistura água-sedimento ao longo de verticais na seção transversal do rio e a determinação,

em laboratório, da massa de sedimentos contida em cada amostra (WREN *et al.*, 2000; BANDEIRA *et al.*, 2018). O processo para determinar a vazão consiste, em linhas gerais, em se medir a velocidade do escoamento em verticais distribuídas ao longo da seção transversal. A velocidade do escoamento,

multiplicada pela área desta seção, fornece a vazão (CARVALHO, 2008).

A coleta de amostras foi realizada em frascos de 500 ml por amostradores do tipo USDH-48 a vau, ou USDH-59 embarcado, Fotografia 3, e consistiu na integração da

mistura água-sedimento capturada ao longo das verticais estabelecidas na seção transversal do rio. Após a coleta os frascos foram identificados e enviados para determinação da concentração de sedimento em suspensão no Laboratório de Solos do IFNMG.

Fotografia 3 – Amostradores de sedimento em suspensão



(a)



(b)

Fonte: EDWARDS; GLYSSON, 1988.

Nota: a) USDH-48 para uso com haste em medição a vau; b) US DH-59 para uso em cabo suspenso manualmente ou com guincho.

Todos os resultados de concentração dos sedimentos em suspensão, granulometria e massa dos sedimentos de arraste, foram enviados para o Serviço de Análise e Meio Ambiente do CDTN para obtenção das curvas-chave, necessárias à interpolação dos resultados.

Para complementar os levantamentos obtidos na base de dados HIDROWEB da ANA (2016), foi necessária a realização de 148 campanhas de campo para coleta de sedimentos e monitoramento hidrológico, que foram mais frequentes nos meses de maior pluviosidade: novembro a abril. Nesse período úmido foram realizadas campanhas com duração de até três semanas em cada um destes meses. No período menos chuvoso, de maio a outubro, foi suficiente uma campanha

semanal a cada dois meses. Dessa forma, as campanhas tiveram início em novembro de 2016 e se encerraram em outubro de 2019.

Em maio de 2019 coletaram-se amostras de sedimento no leito e nas margens do remanso causado pelo reservatório da PCH Pandeiros e encaminhados para análise granulométrica no Laboratório de solos do IFNMG.

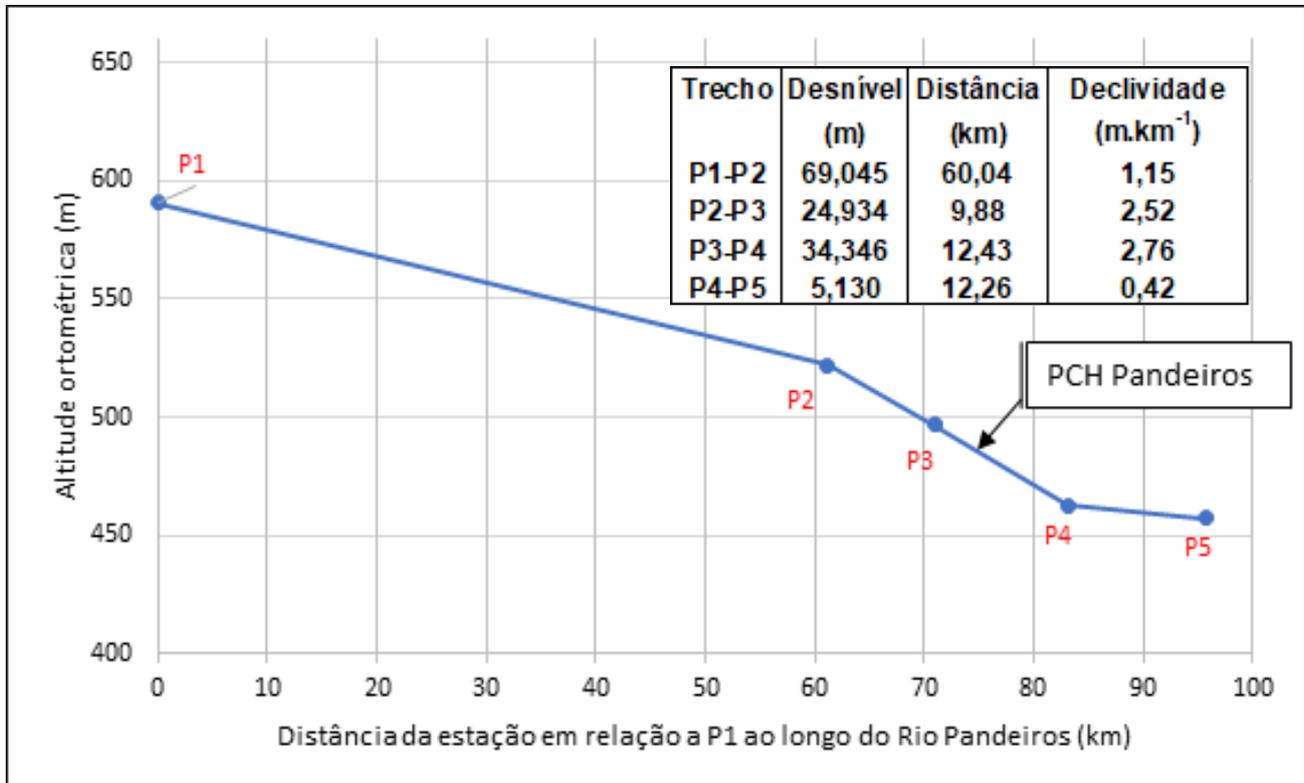
Resultados

Declividade do canal

As menores declividades estão nos trechos entre P1-P2 (1,15 m.km⁻¹) e entre P4-P5 (0,42 m.km⁻¹), apresentando características que podem diminuir a competência e a capacidade do rio nestes trechos. As maiores

declividades estão entre P2-P3 (2,52 m.km⁻¹) e P3-P4 (2,76 m.km⁻¹) onde a PCH Pandeiros está instalada, características que podem promover aumento na carga de sedimentos (GRÁFICO 2).

Gráfico 2 – Altitude ortométrica das estações hidrossedimentométricas P1 a P5 em função da distância entre elas



Fonte: Adaptado de BANDEIRA et al., 2020a.

Notas: P1, P2, P3, P4 e P5 são estações hidrossedimentométricas; a distância do trecho entre as estações foi medida pelo leito do Rio Pandeiros.

Pluviosidade

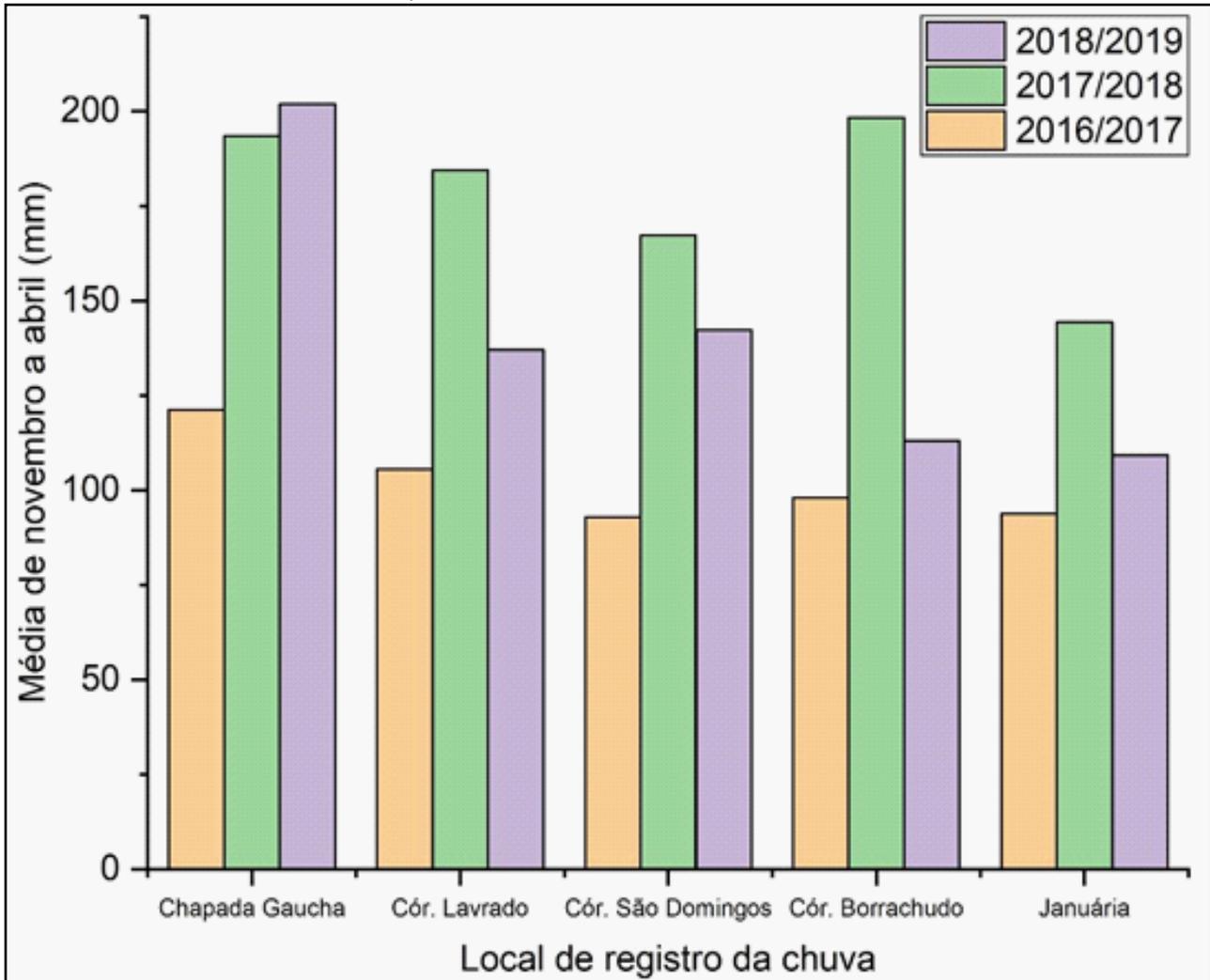
Considerando apenas os meses de maior precipitação, de novembro a abril, de 2016 a 2019, observou-se que entre os três períodos chuvosos avaliados, o período 2016/2017 registrou menor média de precipitação mensal, 102,3 mm, em comparação com a média mensal da precipitação ocorrida nos períodos chuvosos: 2017/2018, que foi de 177,5 mm e 2018/2019 que foi de 140,6 mm.

Esse aumento da pluviosidade média, foi registrado pelas estações automáticas do INMET, Chapada Gaúcha e Januária, fora

dos limites da bacia, bem como pelos três pluviógrafos instalados dentro desses limites (GRÁFICO 3). No entanto, conforme Jardim *et al.* (2019, p.6), ao analisarem as variações anuais (2008-2018) para essas estações, constataram que os maiores volumes de chuva ocorreram nos anos 2009, 2011 e 2013. Tendo como principal fator climático, a ação das massas de ar.



Gráfico 3 – Pluviosidade média nos períodos chuvosos de novembro a abril de 2016 a 2019



Fonte: INMET, 2019; BANDEIRA et al., 2020b.

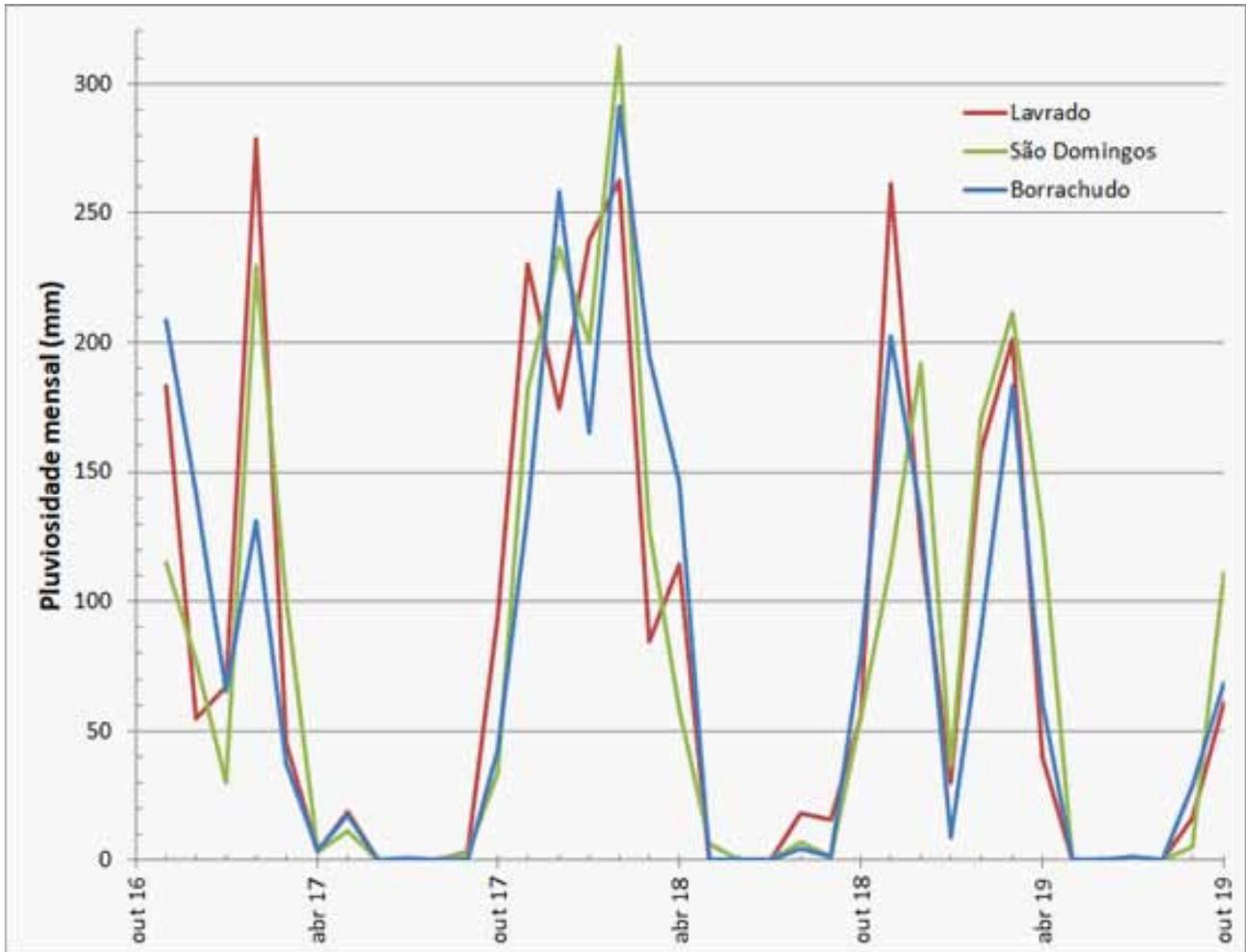
Nota: Dados pluviométricos de Chapada Gaúcha e Januária, disponíveis no site do INMET os outros dados são do relatório emitido por Bandeira *et al.*(2020b).

Jardim *et al.* (2019), observaram este efeito crescente da pluviosidade em direção à Chapada Gaúcha. Eles explicam que apesar dessas localidades estarem sob o mesmo domínio de influência das diferentes massas de ar que atuam na região, a altitude e topografia modulam localmente as variações de chuva. Ainda segundo os autores, esse é um efeito orográfico e tem origem na turbulência causada pelo relevo das áreas planálticas, que favorece a formação de nuvens e precipitação sob certas condições.

Em relação às variações anuais, o gráfico

4 apresenta a pluviosidade mensal registrada nos três pluviógrafos no interior da bacia. Observa-se, além da maior pluviosidade do período novembro de 2017 a abril de 2018, em relação aos períodos novembro de 2016 a abril de 2017 e novembro de 2018 a abril de 2019, já comentado anteriormente, o contraste com a baixíssima pluviosidade nos períodos secos apresentados. Jardim *et al.* (2019), evidencia que esse contraste, caracteriza bem a diferença da pluviosidade entre os períodos úmidos e secos.

Gráfico 4 – Pluviosidade acumulada mensal de outubro de 2016 a novembro de 2019, registrada nos pluviômetros instalados na bacia



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020b.

Jardim *et al.* (2019) explicam que as diferenças das chuvas locais detectadas são aparentemente aleatórias e sem padrão detectável. Isso pode ser atribuído às “características dinâmicas do ar como meio fluido em movimento caótico”.

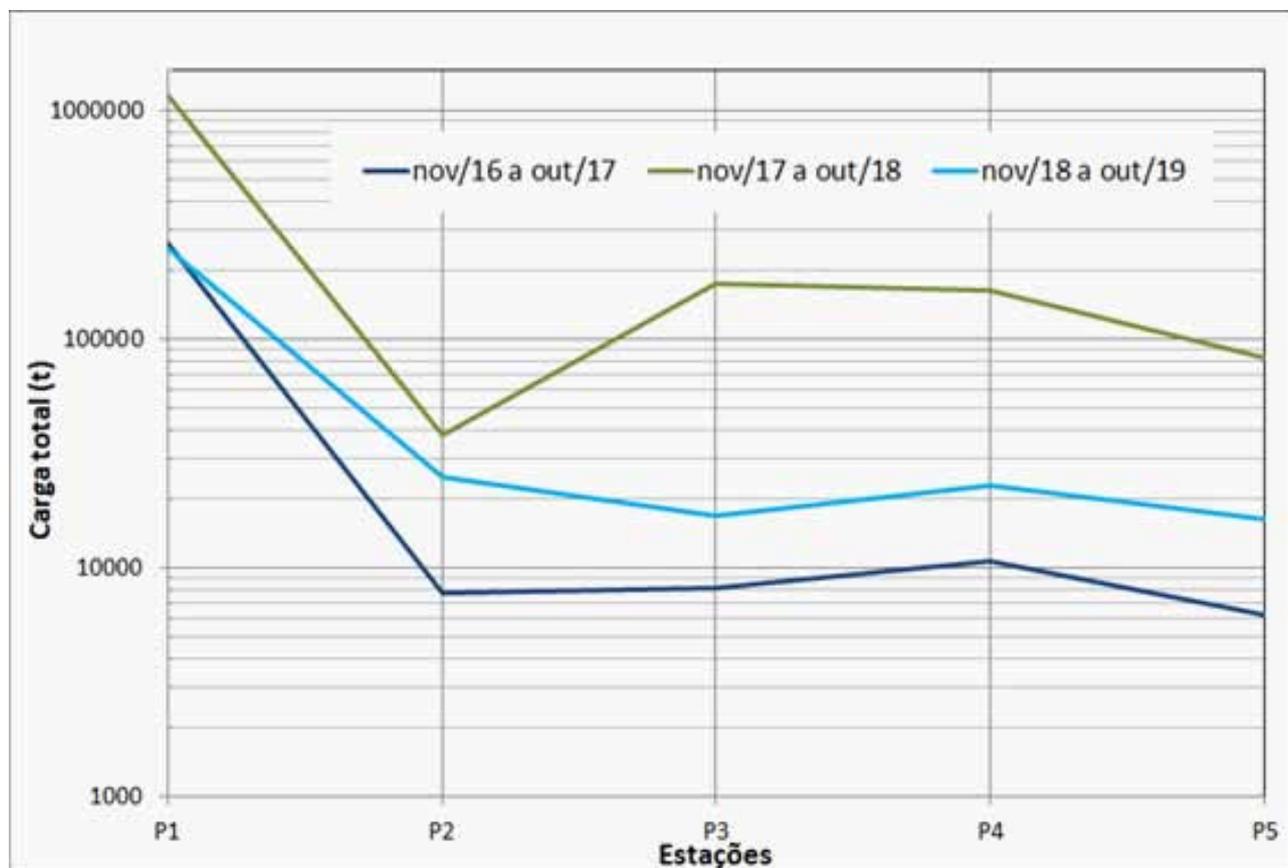
para as cinco estações hidrossedimentométricas, entre novembro de 2016 a outubro de 2019.

Sedimentometria

O Gráfico 5 apresenta o transporte total anual de sedimentos (arraste + suspensão)



Gráfico 5 – Transporte total anual em toneladas (t) nas estações P1, P2, P3, P4 e P5, de nov. 2016 a out. 2019



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

As cargas apresentadas na Tabela 1 são valores calculados conforme interpolação por curvas-chave que relacionam nível

d'água com vazão líquida, vazão com descargas sólidas por arraste e em suspensão (BANDEIRA *et al.*, 2020a).

Tabela 1 – Transporte total por ano hidrológico, de novembro de 2016 a outubro de 2019

| Estação | Transporte total anual em toneladas (t) | | |
|---------|---|-----------------|-----------------|
| | nov/16 a out/17 | nov/17 a out/18 | nov/18 a out/19 |
| P1 | 264 018 | 1 159 807 | 249 355 |
| P2 | 7 814 | 37 939 | 25 039 |
| P3 | 8 255 | 176 006 | 17 037 |
| P4 | 10 663 | 163 755 | 23 137 |
| P5 | 6 209 | 83 752 | 16 527 |

Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.* 2020a.

A Tabela 2 explicita os valores do transporte total, em toneladas no período chuvoso,

de novembro a abril, e no período seco, de maio a outubro.

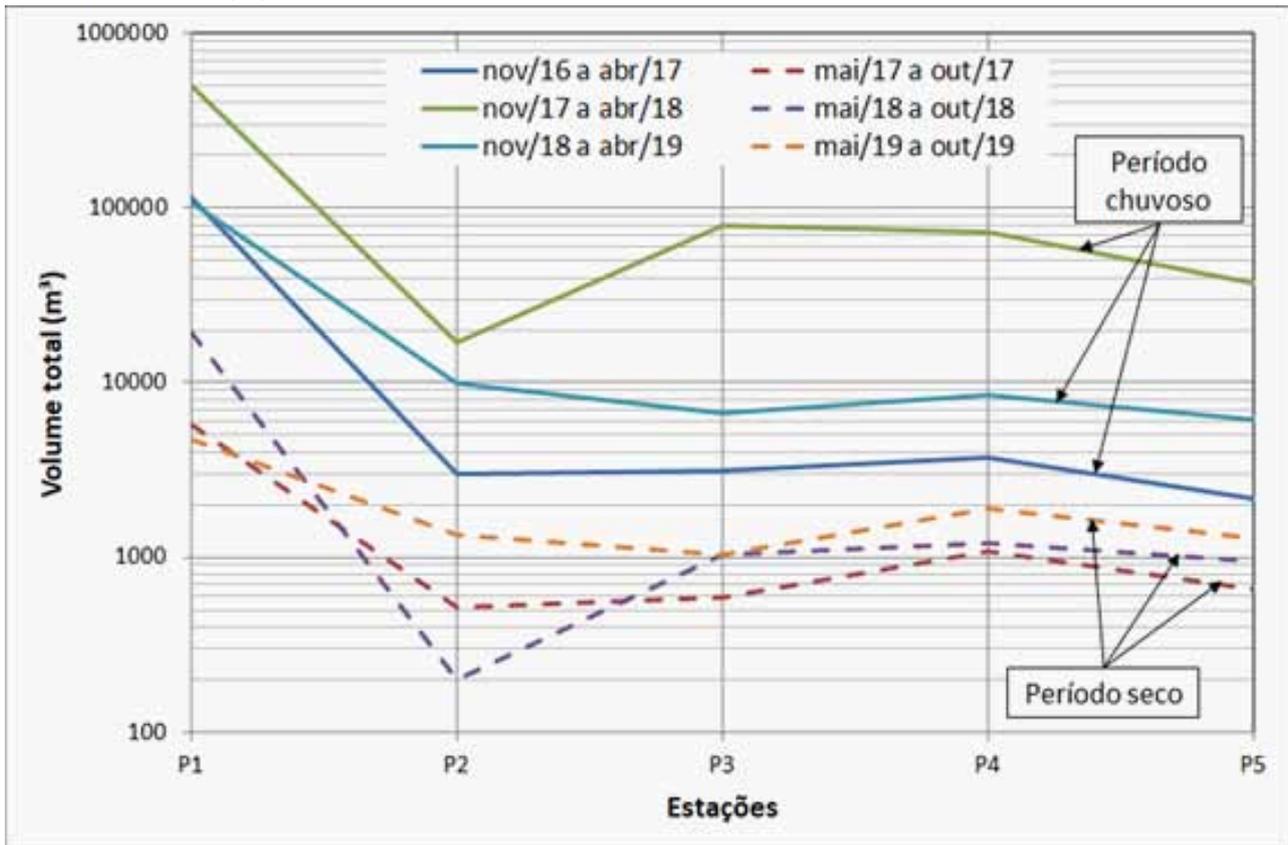
Tabela 2 – Transporte total por semestre hidrológico, de novembro de 2016 a outubro de 2019

| Estação | Transporte total semestral (t) | | | | | |
|---------|--------------------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | nov/16 a abr/17 | maio/17 a out/17 | nov/17 a abr/18 | maio/18 a out/18 | nov/18 a abr/19 | maio/19 a out/19 |
| P1 | 251 303 | 12 715 | 1 117 391 | 42 416 | 238 825 | 10 530 |
| P2 | 6 661 | 1 153 | 37 504 | 435 | 22 074 | 2 965 |
| P3 | 6 963 | 1 293 | 173 725 | 2 281 | 14 767 | 2 270 |
| P4 | 8 280 | 2 383 | 161 081 | 2 674 | 18 936 | 4 201 |
| P5 | 4 746 | 1 463 | 81 652 | 2 100 | 13 687 | 2 840 |

Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020.

O Gráfico 6 mostra os valores do transporte total semestral em m³, como forma de auxiliar na compreensão do volume de sedimentos transportado ao longo do curso do Rio Pandeiros.

Gráfico 6 – Volume do transporte total semestral em m³ nas estações P1, P2, P3, P4 e P5, de nov. 2016 a out. 2019



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

Esta transformação foi obtida dividindo-se os valores da Tabela 1 pela massa específica do sedimento (2,65 t.m⁻³), e multiplicando-se por um fator de empolamento médio igual a

1,2, para levar em conta os espaços vazios existentes entre as partículas de sedimento (ROCHA; BARROS; VIEIRA, 2012).



Tabela 3 – Volume do transporte total por semestre nas estações P1 a P5, de nov. 2016 a out. 2019

| Estação | Transporte total por semestre hidrológico (m ³) | | | | | |
|---------|---|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|
| | nov/16 a abr/17 | maio/17 a out/17 | nov/17 a abr/18 | maio/18 a out/18 | nov/18 a abr/19 | maio/19 a out/19 |
| P1 | 113 798 | 5 758 | 505 988 | 19 207 | 108 147 | 4 768 |
| P2 | 3 016 | 522 | 16 983 | 197 | 9 996 | 1 343 |
| P3 | 3 153 | 585 | 78 668 | 1 033 | 6 687 | 1 028 |
| P4 | 3 749 | 1 079 | 72 942 | 1 211 | 8 575 | 1 902 |
| P5 | 2 149 | 662 | 36 974 | 951 | 6 198 | 1 286 |

Fonte: Jefferson V. Bandeira, Engenheiro, SEAMA/CDTN, 2020.

Os dados contidos nos Gráficos 5 e 6 mostram claramente a dinâmica e os respectivos quantitativos, anuais e semestrais em carga e volume do transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros.

Observa-se ainda, que a quantidade máxima de sedimento medida na estação P3, a primeira logo a montante do reservatório da PCH Pandeiros, foi de 173.725 t e ocorreu no período chuvoso (nov. 2017 a abr. 2018).

Isso corresponde a um volume aproximado de 78.668 m³ (TABELA 3).

Em consonância, o material de fundo coletado em maio de 2019 no reservatório é, em sua grande maioria (95%), areia média de granulometria aproximada: diâmetro médio (D50) igual a 0,3 mm (MAPA 3). O material fino, cujo tamanho da partícula é menor que 0,063 mm, que transporta nutrientes e matéria orgânica por sorção, praticamente não fica retido no reservatório

Mapa 3 – Localização dos pontos de amostragem de sedimento de fundo no reservatório da PCH Pandeiros e a granulometria das amostras



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020b.

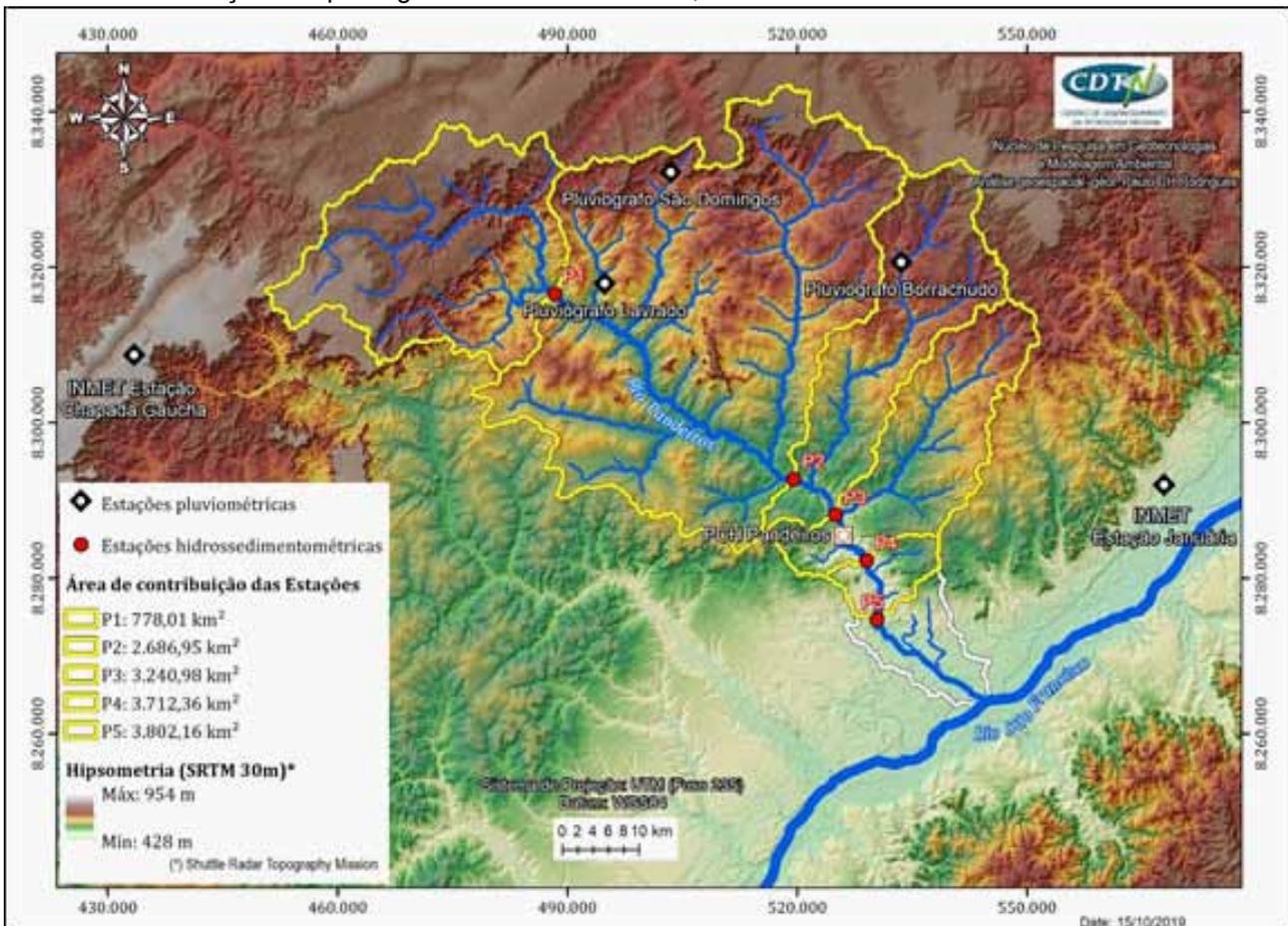
Notas: Destaque para o estreitamento do canal do rio a partir da amostra R7 até as proximidades de R1.

Produção específica

Cada uma das estações hidrossedimentométricas tem, à montante de si, uma área de influência direta, que é toda área de drenagem que fica entre uma dada estação e a próxima a montante. A exemplo disso, temos que na Estação P5 há uma área de influência direta de 89,80 km² que fica entre essa e a Estação P4. Há também outra área de contribuição para produção de sedimento e captação de água, que é toda área da bacia hidrográfica à

montante dessa estação, fazendo com que a Estação P1 seja a única cujas áreas de influência e de contribuição sejam a mesma (MAPA 4). Sendo assim, a área de contribuição para produção de sedimento da Estação P5 é a sua área de influência somada às áreas de influência de P4, P3, P2 e P1, ou seja, 3.802,16 km². Portanto, a Estação P5 tem a maior área de contribuição de todas as estações, se inicia nas encostas da cabeceira do Rio Pandeiros e termina na entrada do Pantanal do Rio Pandeiros, onde fica instalada.

Mapa 4 – Mapa hipsométrico com áreas de influência e de contribuição das estações hidrossedimentométricas e localização dos pluviômetros na APA Pandeiros, MG



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020b.

A carga ou transporte de sedimentos que passa por uma determinada seção da calha do rio durante o ano, em função da sua área

de contribuição, é conhecida como produção específica, ou descarga específica, cuja medida adotada é em massa por área, por unidade

de tempo (t.km⁻² ano⁻¹) (MEDEIROS *et al.*, 2011; PETTS, 1983; CARVALHO, 2008). A carga sedimentar total e a produção específica da Bacia do Rio Pandeiros podem ser obser-

vadas na Tabela 4, onde são apresentadas por estação e por ano hidrológico. Mais uma vez pode-se evidenciar a produção ocorrida no segundo ano hidrológico.

Tabela 4 – Carga e produção específica de sedimento integralizadas no triênio hidrológico de 11/2016 a 10/2019 para as estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros, MG

| Estação | Área de contribuição (km ²) | Carga total por ano hidrológico (t) | | | Produção específica (t.km ⁻² .ano ⁻¹) | | | |
|---------|---|-------------------------------------|--------------|-------------|--|-------------|-------------|--------|
| | | 11/16-10/17 | 11/17-10/18 | 11/18-10/19 | 11/16-10/17 | 11/17-10/18 | 11/18-10/19 | Média |
| P1 | 778,01 | 264 017,98 | 1 159 806,84 | 249 354,95 | 339,35 | 1.490,74 | 320,50 | 716,86 |
| P2 | 2 686,95 | 7 813,54 | 37 938,94 | 25 039,01 | 2,91 | 14,12 | 9,32 | 8,78 |
| P3 | 3 240,98 | 8 255,47 | 176 005,98 | 17 037,02 | 2,55 | 54,31 | 5,26 | 20,70 |
| P4 | 3 712,36 | 10 662,91 | 163 755,00 | 23 136,90 | 2,87 | 44,11 | 6,23 | 17,74 |
| P5 | 3 802,16 | 6 208,83 | 83 751,68 | 16 526,65 | 1,63 | 22,03 | 4,35 | 9,34 |

Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020b.

Notas: o ano hidrológico na região está compreendido de novembro a outubro do ano seguinte.

Discussão

O comportamento climático da bacia é semelhante ao da região sudeste do Brasil, onde a estação chuvosa ultrapassa os limites do calendário Gregoriano, passando de um ano para o outro. Conforme nota técnica 04/17 apresentada pelo INMET a estação chuvosa em toda a Região Sudeste ocorre entre os meses de outubro a março. A segunda quinzena do mês de outubro marca o início do período chuvoso no Centro-Sul e Oeste mineiro, com o aumento na frequência das chuvas se propagando gradativamente para o Centro-Norte e Leste. Dessa forma, no início de novembro, todo o Estado já se encontra com a estação chuvosa estabelecida (INMET, 2017). Essa característica difere do comportamento climático das regiões do Brasil setentrional e de vários países situados no hemisfério norte.

Sendo assim, o verão é o período do ano de maior pluviosidade, quando ocorre maior quantidade de material sendo mobilizado da vertente para os corpos hídricos, bem como a remobilização dos sedimentos na calha dos rios.

Esse maior volume de chuvas refletiu diretamente no transporte de sedimentos. Nota-se uma relação direta entre a pluviosidade, Gráficos 3 e 4, e o transporte de sedimentos (GRÁFICOS 5 e 6).

Considerando que a maior carga de sedimentos medida foi no ano hidrológico 2017-2018, se pode observar que houve um incremento considerável nessa carga quando comparada a dos outros dois: 2016-2017 e 2018-2019 (TABELA 5). Isso se deve à maior precipitação relativa ocorrida no período chuvoso de nov. 2017 a abr. 2018 (GRÁFICOS 3 e 4).

Tabela 5 – Incremento percentual da carga de sedimentos de nov. 2017 a out. 2018 em relação aos períodos nov. 2016 a out. 2017 e nov. 2018 a out. 2019

| Estação | nov. 2016 a out. 2017 (%) | nov. 2018 a out. 2019 (%) |
|---------|---------------------------|---------------------------|
| P1 | 439 | 465 |
| P2 | 486 | 152 |
| P3 | 2 132 | 1 033 |
| P4 | 1 536 | 708 |
| P5 | 1 349 | 507 |

Fonte: Jefferson V. Bandeira, Engenheiro, CDTN, 2020.

O comportamento apresentado pela carga sedimentar, corrobora a tese de incremento relativamente direto com o aumento dos volumes de chuva. Outro fator de incremento, a declividade, influencia diretamente no transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros. Note que, a carga total de sedimentos (Gráficos 5 e 6 e Tabela 1) foi sempre maior na estação P1 e decresceu na estação P2. Isto se deve à alta declividade a montante da Estação P1, região onde existem mais de duas centenas de voçorocas (LIMA, 2019). A declividade medida a montante da seção de medição da estação P1 até a chapada alta mais próxima foi de 80 m.km^{-1} . Esta declividade é 29 vezes maior que a declividade mais acentuada dos trechos do Rio Pandeiros entre as estações P3 e P4, que é de $2,76 \text{ m.km}^{-1}$ (GRÁFICO 2).

Quanto à morfologia do canal, o trecho entre as estações P1 e P2 apresenta muitos meandros. Ele se estende por 60,04 km, tem declividade média de $1,15 \text{ m.km}^{-1}$ conforme apresentado no Gráfico 2 e, é bem menor que a da região a montante de P1 (80 m.km^{-1}). O meandramento do rio, neste trecho, facilita a deposição temporária dos sedimentos, sobretudo na parte convexa dos meandros, corroborando com Leopold e Wolman (1960).

O mesmo ocorre com a carga recebida dos diversos cursos d'água que desaguam neste trecho do Rio Pandeiros, como os córregos: Lavrado, São Domingos, Panela, Catolé e que são perenes. Existem outros córregos, pela margem direita, nem sempre perenes, mas que também contribuem durante o período chuvoso para a carga de sedimentos que transita pela estação P2. Há também a contribuição difusa, ao longo das margens do rio, referente ao trecho da bacia, entre estas estações.

As estações P2 e P3 distam entre si de 9,88 km ao longo do curso do rio. Neste trecho ocorre um aumento da declividade em relação ao trecho anterior (P1 a P2), passando de 1,15 para $2,52 \text{ m.km}^{-1}$, havendo um aumento do transporte de sedimentos para os dois primeiros anos (GRÁFICO 5).

A distância entre as estações P3 e P4, ao longo do rio é de 12,43 km com declividade de $2,76 \text{ m.km}^{-1}$. A presença do reservatório da PCH proporciona uma região de remanso com cerca de 2 km de extensão a montante da barragem. É um trecho de baixíssima declividade, que promove atenuação da velocidade do escoamento, amortecimento das vazões afluentes, propiciando a deposição de sedimentos. Diminuindo assim o seu transporte



para jusante. Este processo ocorreria durante todo o ano, caso o reservatório estivesse com um bom volume de armazenamento.

Contudo, de acordo com Fonseca *et al.* (2008), observa-se que desde a suspensão da geração de energia na PCH Pandeiros, em agosto de 2008, incluindo a paralisação da operação esporádica de descarga de fundo, verificou-se um progressivo assoreamento do reservatório, diminuindo sua capacidade de armazenamento de água. Esta capacidade era praticamente inexistente no final de 2016, quando as medições do transporte de sedimentos foram iniciadas.

Assim, o processo de amortecimento das vazões afluentes se encontra presentemente minimizado, condicionando a passagem de boa parte das vazões, sobretudo em período de seca, em um estreito canal criado no reservatório (MAPA 3).

Dessa forma, o reservatório no estágio atual de assoreamento ainda pode proporcionar uma retenção relativa do sedimento somente no período de cheias maiores, quando o escoamento se espraia para as margens, Mapa 3, transportando lateralmente sedimento que se deposita nestas zonas laterais. Isto é demonstrado, quantitativamente, no Gráfico 6, onde a diminuição do transporte de sedimentos entre as estações P3 e P4 ocorreu apenas para o semestre mais chuvoso de nov. 2017 a abr. 2018.

Entre as estações P4 e P5 houve sempre decréscimo do sedimento transportado, conforme apresentado no Gráfico 5, Tabela 1 e Gráfico 6, devido à baixa declividade neste trecho ($0,42 \text{ m.km}^{-1}$), a menor de todo o trecho monitorado do Rio Pandeiros, propiciando a

sedimentação temporária de parte da carga sedimentar que passou pela estação P4 (GRÁFICO 2).

O transporte de sedimentos ocorre assim, de forma pulsada, em função da precipitação e das características, como: geometria, declividade, rugosidade dos canais, que influenciam na velocidade do escoamento e a sua capacidade de transportar sedimentos. Este pulso acontece após a deposição temporária, quando da ocorrência de nova precipitação que provoca um escoamento com capacidade de transportar o sedimento anteriormente depositado num trecho do curso d'água. Assim, este sedimento é novamente colocado em movimento em direção a jusante.

A ocorrência pulsada do transporte de sedimentos, anteriormente mencionada, pode ser avaliada, de forma quantitativa, como explicado a seguir.

Assim como os incrementos da carga sedimentar apresentados na Tabela 5 com relação ao ano hidrológico 2017-2018, a Tabela 6 apresenta a relatividade da carga entre os semestres chuvosos, nov. 2016 – abr. 2017 e nov. 2018 – abr. 2019 com o semestre mais chuvoso: nov. 2017 – abr. 2018, e com base nos valores da Tabela 2, essa variação relativa foi calculada.

Tabela 6 – Variação da carga sedimentar semestral relativa ao semestre mais chuvoso (nov. 2017 - abr. 2018)

| Estação | nov. 2016 □ abr. 2017 (%) | nov.2018 □ abr. 2019 (%) |
|---------|---------------------------|--------------------------|
| P1 | 22,49 | 21,37 |
| P2 | 17,76 | 58,86 |
| P3 | 4,01 | 8,50 |
| P4 | 5,14 | 11,76 |
| P5 | 5,81 | 16,76 |

Fonte: Jefferson V. Bandeira, Engenheiro, CDTN, 2020.

Os valores mostrados nesta tabela permitem concluir o seguinte:

- Aparte a Estação P1, que é a entrada do trecho de medições no Rio Pandeiros, os maiores percentuais relativos da carga total são das estações P2 e P5, que apresentam as menores declividades relativas às estações imediatamente a montante e, portanto, têm mais chance de ter sedimento depositado de forma pulsada junto às margens e no próprio leito, proveniente de chuvas passadas e remobilizados no período chuvoso;
- Isso mostra que os trechos de menor declividade a montante das estações P2 e P5 favorecem uma maior deposição de sedimentos em período de seca transportado no período chuvoso anterior. Assim, é proporcionada a existência de mais material, fracamente consolidado, apto a ser remobilizado facilmente no período chuvoso imediatamente posterior.

Em síntese, estas constatações quantitativas esclarecem o caráter pulsado do transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros.

Em função do tamanho de área a montan-

te de P1, da maior declividade e do grande número de voçorocas é que se registrou a maior descarga específica em relação às outras estações: 1490,74 t.km⁻².ano⁻¹ no período nov. 2017 a out. 2018 (TABELA 4).

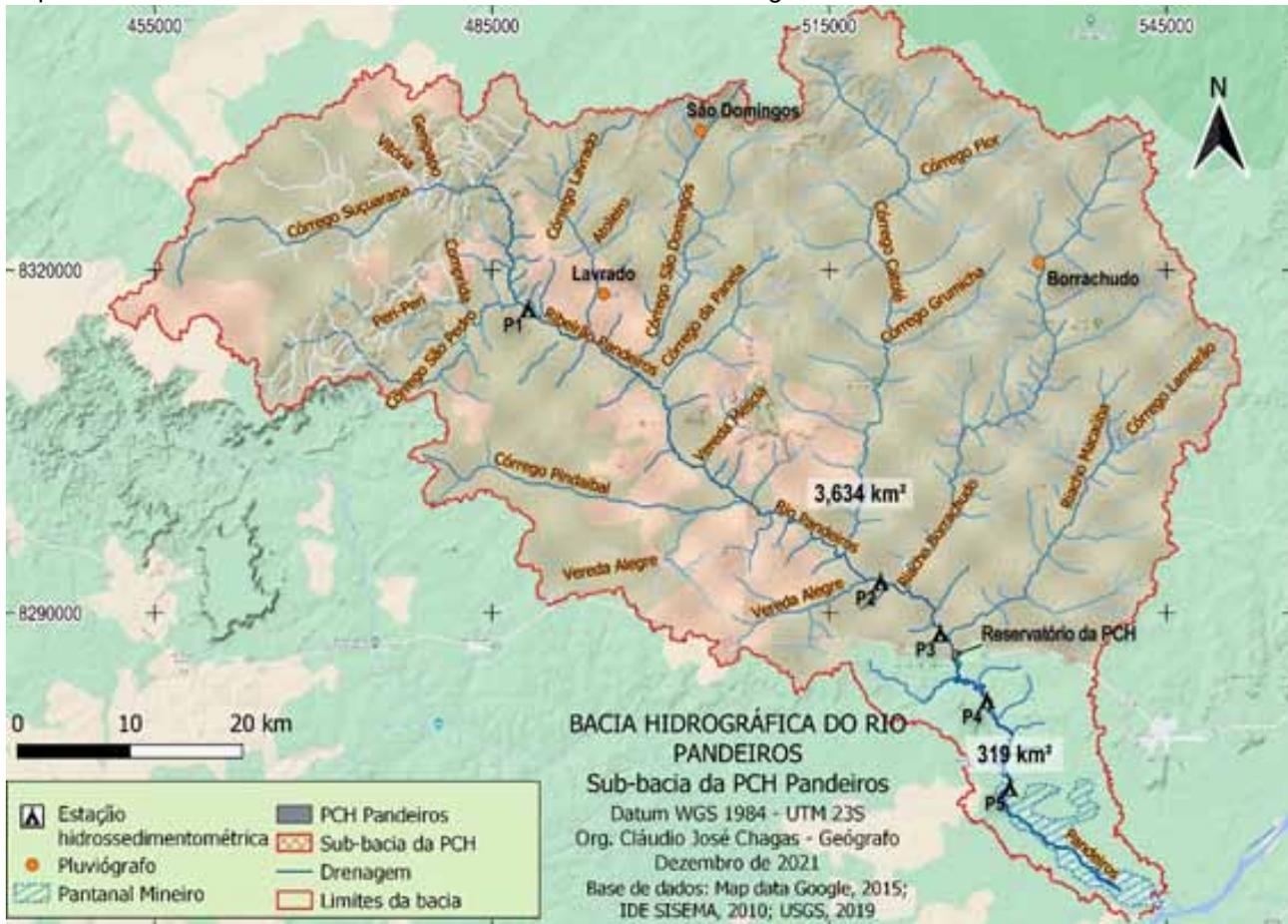
Portanto, depreende-se dos resultados apresentados que a área a montante da Estação P1 é uma fonte importante dos sedimentos transportados pelo Rio Pandeiros.

Transporte de sedimentos e a PCH Pandeiros

Situados entre as estações P3 e P4, a barragem e o reservatório da PCH Pandeiros ocupam uma posição estratégica na bacia. A área a montante da PCH (3.634 km²), é onde está localizada a maioria das 215 voçorocas identificadas e representa 91,93 % da área total da bacia (MAPA 5). A presença do barramento da PCH, represando o fluxo do rio, proporciona uma região de remanso, com cerca de 2 km de extensão a montante, de baixíssima declividade, que promove uma atenuação da velocidade do escoamento e, conseqüentemente, do transporte de sedimento.



Mapa 5 – Área a montante da PCH Pandeiros na bacia de drenagem do Rio Pandeiros



Fonte: Cláudio J. Chagas, Geógrafo, CDTN, 2021.

Destaca-se que o assoreamento do reservatório da PCH, encontra-se estável para a atual baixa declividade da linha de energia do escoamento, correspondente ao trecho do rio no interior do reservatório (entre o limite de remanso a montante e a barragem). Caso seja feita uma abertura controlada da comporta de fundo, e esta permaneça aberta por um longo tempo, o escoamento no fundo, associado à carga hidráulica na região da comporta, provocará uma ruptura da estabilidade para montante do barramento com erosão paulatina da areia depositada. Com isso, a declividade da linha de energia do escoamento aumentará, acarretando maior transporte de sedimento para jusante. Isto significa que uma grande

parte do sedimento já estabilizado no reservatório passará para jusante da barragem. Se a barragem for removida, este aumento da declividade será irreversível e o impacto da remobilização do sedimento será maior e permanente.

Um exemplo da remobilização para jusante de sedimento decorrente da abertura de comporta de fundo de PCH, pode ser visto nas Fotografias 3 e 4, para a PCH Paciência, no Rio Paraibuna, no Município de Matias Barbosa, MG (BANDEIRA *et al.*, 2012).

Fotografia 3—Vista para montante da barragem da PCH Paciência, em descarga de fundo. Rio Paraibuna, município de Matias Barbosa, MG



Fonte: BANDEIRA *et al.*, 2012.

Fotografia 4 – Vista lateral, barragem da PCH Paciência, em descarga de fundo, Rio Paraibuna, município de Matias Barbosa, MG



Fonte: BANDEIRA *et al.*, 2012.

No caso do Rio Pandeiros, pode-se valer da presença da PCH Pandeiros, para atenuar ainda mais o transporte de sedimento para jusante, abrangendo os períodos de maior pluviosidade, como o ocorrido entre nov. 2017 e abr. 2018, efetuando-se a dragagem no interior do reservatório, com um volume experimental de pelo menos cerca de 1/3 do volume de sedimento (78.668 m³) que foi calculado para a Estação P3, no período mais chuvoso: nov. 2017 a abr. 2018, conforme Tabela 3, ou seja: da ordem de 26.000 m³, que poderá ser aproveitado na construção civil ou depositado em local apropriado. O volume dragado funcionará como uma “armadilha de areia”, que poderá ser preparada antes de cada estação chuvosa.

As duzentas e quinze voçorocas identificadas por Lima (2019), necessitam de providências para serem estabilizadas, com a finalidade de minimizar a produção e o transporte de sedimentos, e a atenuar o assoreamento.

Esta constatação reforça a importância de se manter a barragem/reservatório da PCH Pandeiros como um instrumento de manejo do transporte de sedimentos para minimizar o aporte de sedimentos ao pantanal, situado na região da foz do Rio Pandeiros.

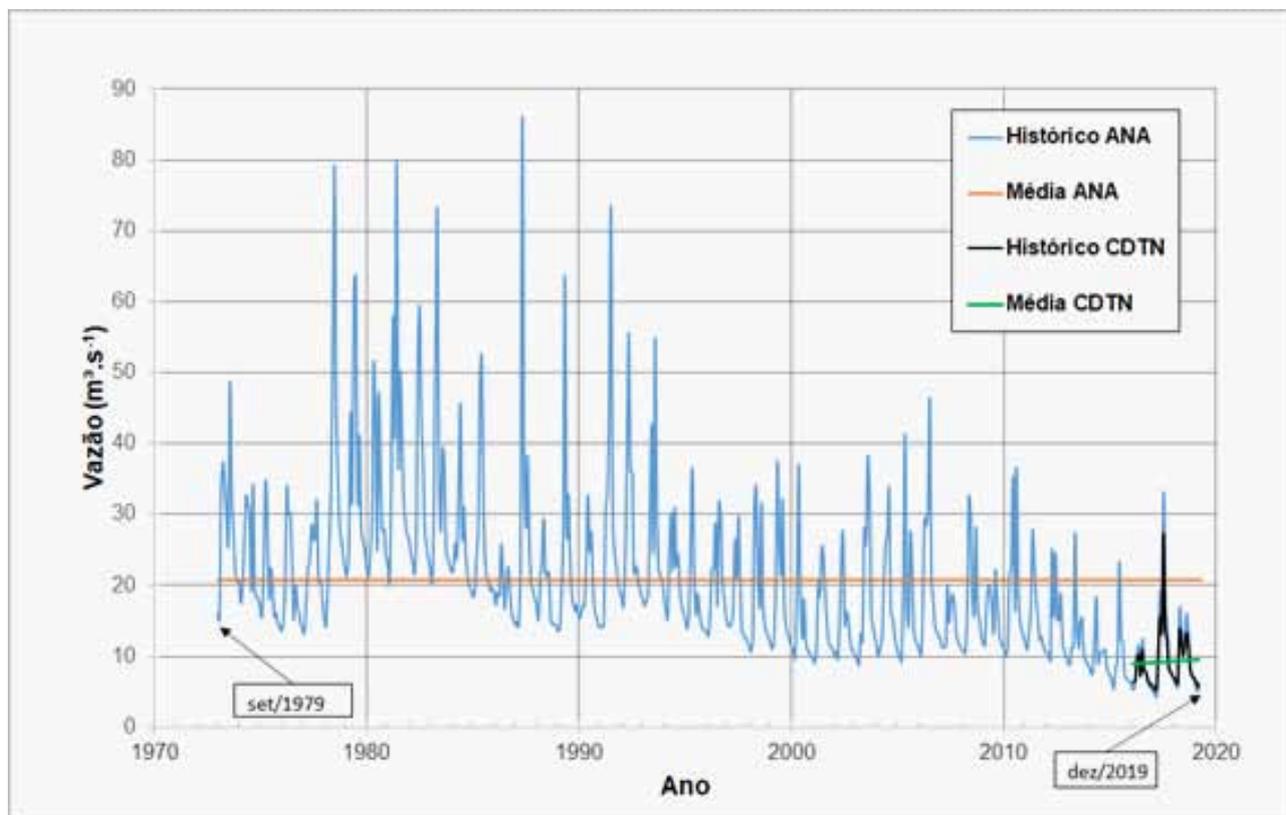
Assim, qualquer estudo visando um possível descomissionamento da PCH Pandeiros pela retirada física da barragem, ou optando por uma abertura controlada de sua comporta de fundo, mantendo a estrutura da barragem, deverá levar em conta o efeito que estas ações provocarão no aumento da declividade da linha de energia do escoamento, o que poderá causar a remobilização, para jusante,

do sedimento depositado na região do reservatório, desde a construção da usina.

Disponibilidade hídrica e a PCH Pandeiros

Como já mencionado, a Estação Usina Pandeiros Montante, pertencente à ANA e operada pela CPRM, possui dados de vazão desde a década de 70. O Gráfico 7 mostra a série histórica de vazões médias mensais entre agosto de 1973 e dezembro de 2019, denominada Histórico ANA. Sobreposta à esta série, se encontra a série histórica de vazões obtidas entre setembro de 2016 e dezembro de 2019, denominada Histórico CDTN, resultante das medições realizadas pelo CDTN. (BANDEIRA *et al.*, 2020a).

Gráfico 7 – Histórico das vazões médias mensais da Estação Usina Pandeiros Montante (ago. 1973 a dez. 2019 - ANA) e Estação P3 (set. 2016 a dez. 2019 - CDTN)



Fonte: Adaptado de BANDEIRA *et al.*, 2020a.

A média das vazões médias mensais foi de $20,60 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, no intervalo de 46 anos (1973 a 2019), de operação da estação da ANA. Observa-se, entretanto, uma tendência à diminuição das vazões médias mensais a partir do início da década de 90. Assim, no intervalo entre 2016 e 2019, no qual o CDTN realizou medições em P3, esta média foi de $9,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, ou seja: apenas 44,28 % do valor correspondente ao período completo de operação da estação.

Esta diminuição bastante expressiva das vazões, ou seja, da disponibilidade hídrica no Rio Pandeiros, é preocupante.

Como mostram os resultados da granulometria, o material de fundo contido no reservatório é, em sua grande maioria, areia média de granulometria aproximada (D_{50}) igual a 0,3

mm (MAPA 3). Esse material só deverá ser remobilizado se houver interferência antrópica adequada para reaproveitamento, tanto da areia quanto do espaço deixado pela sua retirada.

Em vista disso, a dragagem proposta do reservatório da PCH para a retenção de sedimento poderá funcionar, concomitantemente, como um reservatório de armazenamento de água para suprir as futuras demandas da comunidade de Pandeiros e adjacências.

Considerações Finais

Diante dos estudos realizados, pode-se concluir que a origem do processo de assoreamento provém dos sedimentos desagregados das voçorocas, sendo a maioria delas locali-

zada a montante da PCH de Pandeiros; e da superfície da bacia, distinta do processo de voçorocamento, sendo uma fonte difusa que permanentemente alimenta o transporte de sedimentos pelo rio. O sedimento que aporta na região do Pantanal Mineiro faz parte de um processo sedimentar cuja dinâmica ocorre há milhares de anos, sendo um processo que interage, inclusive com o regime de cheias do Rio São Francisco.

Consideramos a utilização do reservatório da PCH Pandeiros, através de dragagem da região logo à montante da barragem, como a única opção efetiva para a minimização, urgente e imediata, do aporte de sedimentos ao Pantanal Mineiro, enquanto medidas corretivas são implementadas na região de montante, a qual representa 91,93 % da área total de drenagem da bacia (MAPA 5).

Esta dragagem deverá ser realizada sempre em período seco (maio a outubro), com a finalidade de se criar uma armadilha de deposição do sedimento, sobretudo areia, que chegará no período chuvoso seguinte (novembro a abril). Enquanto isso, medidas corretivas para diminuir as erosões deverão ser implementadas na cabeceira do rio. A areia dragada poderá ser, principalmente, destinada à construção civil.

Este procedimento criará também um volume de reservação que poderá funcionar, concomitantemente, como um reservatório de armazenamento de água para suprir as futuras demandas da comunidade de Pandeiros e adjacências.

Um dos objetivos principais do Edital *Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros* é a preservação do Pantanal Mineiro, sendo este

uma particularidade especial e única no estado de Minas Gerais, o qual é responsável por uma parte considerável da reprodução da ictiofauna do médio Rio São Francisco. Assim, os estudos multidisciplinares que abrangem a totalidade da bacia, indicam que não se deve facilitar a passagem de sedimento originado a montante da barragem, quer seja por descarga de fundo ou a total remoção da barragem.

O estudo apresentado é, portanto, uma contribuição para traçar diretrizes bem fundamentadas para um manejo adequado e a preservação da região da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Hidroweb**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb>. Acesso em: 29 dez. 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Manual de construção da base hidrográfica otocodificada: fase 1 – construção da base topológica de hidrografia e otto bacias conforme a codificação de bacias hidrográficas de Otto Pfafstetter**. 2. ed. Brasília: ANA, 2007.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; FRANÇA, G. P. DE; SÁ, L. P. Aspectos hidráulicos e o transporte de sedimentos ao longo do Rio Pandeiros, MG, até o Pantanal mineiro, junto à sua foz. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS*, 14., 2020a, Campinas, SP. **Anais [...]**. Campinas: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2020. p. 1-9.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; FERREIRA, V.V.M.; JUNQUEIRA M. V. G.; BARBOSA H.S.P.C.; CARVALHO, M. D. DE; MOTA, H. R. Assoreamento de reservatórios, descargas de fundo e avaliação de impactos ambientais: caso estudo da PCH de Paciência, rio Paraibuna, MG. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS*, 10., 2012, Foz do

Iguaçu. **Anais**. [...] Foz do Iguaçu, PR: Universidade Técnica Federal do Paraná, 2012. p. 1-19.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; JARDIM, C. H.; ARANHA, P. R. A.; COSTA, A. M.; SÁ, L. P.; FRANÇA, G. P. Estudos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, MG, em um contexto multidisciplinar. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE SEDIMENTOS, 13.; PARTÍCULAS NAS AMÉRICAS, 1., 2018, **Anais** [...]. Vitória: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. p. 1-8. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=402>. Acesso em: 15 jan. 2021.

BANDEIRA, J. V. *et al.* Hydrosedimentological studies in the Paciencia dam, south eastern Brazil. **Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis**, v. 19, n.2, 2012.

BANDEIRA, J. V. *et al.* **Subprojeto 2 - caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros**. Belo Horizonte: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia, 2020b. Projeto Sustentabilidade da bacia do rio Pandeiros - MG: dinâmica de vertentes da bacia do rio Pandeiros. Disponível em: <http://www.repositorio.cdtm.br:8080/handle/123456789/1343>.

BICHO DO MATO MEIO AMBIENTE. **Plano de Manejo Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros - APAERP**. Belo Horizonte: [s.n.], 2019.

CARVALHO, N. DE O. *et al.* **Guia de práticas sedimentométricas**. Brasília, DF: ANEEL, 2000. 154 p.

CARVALHO, N. DE O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Batimetria e coleta de dados amostrais**. Relatório Técnico 3 - Ano 1. Projeto GT-198: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, 2011. Contratante: CEMIG Geração e Transmissão S/A.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR (CDTN); CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS (CETEC). **Relatório final consistindo todos os trabalhos efetuados no projeto**. Relatório Técnico - Ano 2. Projeto GT-198: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, 2013. Contratante: CEMIG Geração e Transmissão S/A.

COLLINS, A. L.; WALLING, D. E.; LEEKS, G. J. L. Use of composite fingerprints to determine the provenance of the contemporary suspended sediment load transported by rivers. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 23, n. 1, p. 31-52, jan. 1998.

DIETRICH, W. E. *et al.* Geomorphic transport laws for predicting landscape form and dynamics. *In*: Wilcock, P. R.; IVERSON, R. M. (Ed.). **Prediction in Geomorphology Geophysical Monograph**. Washington, DC: American Geophysical Union, 2003. p. 103-132. v. 135.

EDWARDS, T. K.; GLYSSON, G. D. **Field methods measurement of fluvial sediment**. Reston, 1988. 118 p. Open File Report. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/of/1986/0531/report.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2019.

FEDERAL INTERAGENCY SEDIMENTATION PROJECT. **A study of methods used in measurement and analysis of sediment loads in streams**. Minneapolis: [s.n.], 1963. 151 p. (Report 14, Determination of fluvial sediment discharge). Disponível em: https://water.usgs.gov/fisp/docs/Report_14.pdf. Acesso em: 26 mar. 2019.

FONSECA, E. M. B. *et al.* PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE PEQUENAS E MÉDIAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS, 6., 2008, Belo Horizonte. **Anais** [...]. Belo Horizonte: Comitê Brasileiro de Barragens, 2008.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (IGAM). **Estudo de descomissionamento da PCH Pandeiros, situada no refúgio estadual da vida silvestre Rio Pandeiros e eventuais interferências**. Belo Horizonte, 2017. Disponível em: http://igam.mg.gov.br/images/Item_6_registro_reuniao_PCH_pandeiros_02.06.2017.pdf. Acesso em: 20 jan. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (Brasil). **Banco de dados meteorológicos**. Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br/>. Acesso em 29 abr. 2019.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. (Brasil). **Nota técnica: 004/17 Estação Chuvosa em Minas Gerais**. 2017. p.13.

JARDIM, C. H. *et al.* Local rainfall variation in the Pandeiros River basin, Januária-MG. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 7., 2017, Petrópolis. **Anais** [...] Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2017.

JARDIM, C. H. *et al.* Variabilidade das chuvas na bacia do Rio Pandeiros, Januária-MG: o período de 2008-2018. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA



FÍSICA APLICADA, 18., 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2019.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. Variações dos totais de chuvas e temperatura do ar na bacia do Rio Pandeiros, norte do estado de Minas Gerais-Brasil: articulação com fatores de diferentes níveis escalares em área de transição climática de cerrado para semiárido. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 172-179. 2018. Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais.

LEOPOLD, L. B.; WOLMAN, M. G. River meanders. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 71, n. 6, p. 769-793, 1960.

LIMA, A.C.P. **Análise da distribuição espacial de voçorocas em domínio de rochas siliciclásticas**: bacia do Rio Pandeiros-MG. 2019. 91f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

MEDEIROS, P. R. P. *et al.* Aporte de sedimentos em suspensão no baixo Rio São Francisco (SE/AL), em diferentes condições hidrológicas. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 42, jul. 2011.

MOURA, F. P. DE; JARDIM, C. H. Tendência e variabilidade das chuvas em Januária – MG. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 12., 2016, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: Abclima, 2016.

NUNES, Y. R. F. *et al.* Pandeiros: o Pantanal Mineiro. **MG Biota**, v. 2, n. 2, jun./jul. 2009.

OLIVEIRA, D. A. DE; AUGUSTIN, C. H. R. R.; FONSECA, B. M. Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros-MG. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17.; CONGRESSO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1., 2017, Campinas, SP. **Anais [...]**. Campinas, 2017. v.1, p. 6253-6262, 2017.

PETTS, G. E. **Rivers**. Whitstable: Butterworth & Co, 1983. (Sources and Methods in Geography).

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.10. Disponível em: <https://download.qgis.org>. Acesso em: 20 jan. 2019.

ROCHA, R.; BARROS, J. M. C.; VIEIRA, R. Contribuição ao estudo do empolamento de solos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA, 2012. **Anais [...]**. Porto de Galinhas, PE, 2012.

SANTOS, R. M. DOS *et al.* Riqueza e similaridade florística de oito remanescentes florestais no norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 1, p. 135-144, fev. 2007.

SERRA, J. P.; OLIVEIRA, T. A. DE. Impactos ambientais decorrentes da construção de barragens de usinas hidrelétricas: reflexões e desdobramentos físico-naturais. *In*: **Ciências Ambientais**: diagnósticos ambientais. [S.l.]: Carmino Hayashi, 2020. p. 64-83,

STOTT, T. Fluvial geomorphology 2008-2009. **Progress in Physical Geography**, v. 35, issue 6, p. 810-830, 2011.

WREN, D. G. *et al.* Field techniques for suspended-sediment measurement. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 126, issue 2, Feb. 2000.

Agradecimento

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, pela concessão dos recursos necessários ao desenvolvimento da pesquisa.