



**Projeto FAPEMIG APQ-03773-14: “SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros”
Edital de Referência: 13/2014**

RELATÓRIO FINAL

SUBPROJETO 2

TEMA DO SUBPROJETO: Caracterização Qualitativa e Quantitativa de Parâmetros Hídricos e Sedimentológicos da Rede de Drenagem do Rio Pandeiros.

Executantes:

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CNEN/CDTN)

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG/Campus Januária)

Belo Horizonte, 2020.

EQUIPE:

Jefferson Vianna Bandeira - DSc. (CNEN/CDTN)
 Coordenador do Subprojeto 2

CNEN/CDTN

Adair Generoso do Carmo - Téc.
 Cláudio Costa Camargos - MSc.
 Cláudio José Chagas - MSc.
 Dovenir Francisco - Téc.
 Elenísio Santana Fonseca - Eng.
 Ladislau Miranda Ferreira - Eng.
 Lécio Hannas Salim - MSc.
 Lourdes Manresa Camargos - MSc.
 Namir de Souza Vieira - Téc.
 Nayron Cosme de Lemos - Téc.
 Patrícia Pós dos Reis – Graduando (*)
 Paulo Cesar Horta Rodrigues - DSc.
 Ricardo Gomes Passos - DSc.
 Robson Lage Silva - Téc.
 Rubens Martins Moreira - DSc.
 Vinicius Verna Magalhães Ferreira - DSc.

IFNMG/Campus Januária

Antônio Fábio Silva Santos - MSc.
 Cesar Vinicius Mendes Nery - DSc.
 Danilo Pereira Ribeiro - DSc.
 Ermerson Augusto Oliveira - Graduando (*)
 Feliciano Pereira dos Santos - Graduando (*)
 Fernando Araújo da Cruz - Graduando (*)
 Gabriel Pires de França - Graduando (*)
 Leonardo Passos Sá - Téc.
 Ricardo de Almeida Souza - Graduando (*)

(*) Quando da participação no projeto

Autores deste relatório

Jefferson Vianna Bandeira
 Lécio Hannas Salim
 Cláudio José Chagas
 Cláudio Costa Camargos

SUMÁRIO

Equipe.....	2
Autores deste Relatório.....	2
1. Introdução.....	4
2. Programação das campanhas de campo.....	5
3. Metodologia.....	8
4. Resultados e discussão.....	12
4.1 Pluviosidade.....	12
4.2 Hidrossedimentometria.....	15
4.2.1 Curvas-chave.....	15
4.2.2 Transporte de sedimentos.....	20
5. Aspectos hídricos da Bacia do Rio Pandeiros.....	30
5.1 Aspectos da PCH Pandeiros.....	31
5.2 Disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Pandeiros.....	34
6. A importância da PCH Pandeiros para a diminuição do assoreamento do Pantanal Mineiro e para o armazenamento de água nos períodos de seca.....	40
7. Conclusões e considerações finais.....	43
Bibliografia.....	48
Anexos e trabalhos resultantes do desenvolvimento do Subprojeto 2.....	51

Subprojeto 2 - Caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros.

1. Introdução

O projeto foi concebido para ter uma duração de dois anos de medições cobrindo, pelo menos, dois ciclos hidrológicos completos, sobretudo no que diz respeito às medições hidrossedimentométricas: medição de vazão líquida e do transporte de sedimentos, em cinco estações ao longo do Rio Pandeiros. Contudo, diversos aspectos técnicos e naturais promoveram acréscimos na duração do projeto, resultando na investigação de três ciclos hidrológicos consecutivos.

Os objetivos do projeto englobam, entre outros, a compreensão das principais causas da erosão da Bacia do Rio Pandeiros; a formação e desenvolvimento de recursos humanos com capacidade técnica e científica para lidar com problemas de impactos ambientais; a transferência de tecnologia para a obtenção de dados em campo, para análises em laboratório e para a interpretação e divulgação de resultados.

Em vista desses objetivos o Subprojeto 2 focou no diagnóstico da carga sedimentar decorrente da erosão nas vertentes da Bacia do Rio Pandeiros e do conseqüente assoreamento da área úmida, conhecida como “Pantanal Mineiro” ou “Pantanal do Rio Pandeiros”, que é uma área alagada situada junto à foz do rio, próximo à margem esquerda do médio Rio São Francisco (BETHONICO, 2009; BANDEIRA *et al.*, 2018).

Apresentam-se aqui os quantitativos das vazões líquidas e do transporte de sedimentos ao longo do Rio Pandeiros, que são interligados no que tange à compreensão do comportamento da sua bacia hidrográfica, em função das causas naturais e das ações antrópicas a elas superpostas. Os resultados desses estudos contribuirão para a gestão futura e mais adequada dessa bacia hidrográfica.

Entende-se por transporte de sedimentos toda movimentação de grãos e partículas que se encontram próximos ou dentro da calha fluvial. Essa movimentação pode ocorrer por saltação, arraste ou suspensão (BORDAS *et al.*, 2009; CARVALHO, 2008; NADEN, 2009; PETTS, 1983). A maior parte dos sedimentos transportados pelo Rio Pandeiros é constituída de areia.

O Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN e o Instituto Federal do Norte de Minas Gerais – IFNMG, Campus Januária, conduziram o estudo de caracterização

qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos na calha do Rio Pandeiros (BANDEIRA *et al.*, 2018). O período de estudo apresentado compreende do mês de novembro de 2016 até outubro de 2019. Os resultados obtidos para o transporte de sedimentos apresentaram o contraste esperado entre períodos chuvoso e seco, bem como carga total sedimentar superior no período chuvoso de novembro de 2017 a abril de 2018 em relação aos outros períodos.

Para a caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentológicos da rede de drenagem do Rio Pandeiros foram instaladas, durante a campanha realizada entre 19 e 30/09/2016, já descrita na terceira prestação de contas científica parcial do projeto, quatro estações hidrossedimentométricas (P1, P2, P4 e P5), duas estações climatológicas automáticas Davis (Agropop e Rima) e três estações pluviométricas (São Domingos, Lavrado e Borrachudo) (Figura 1).

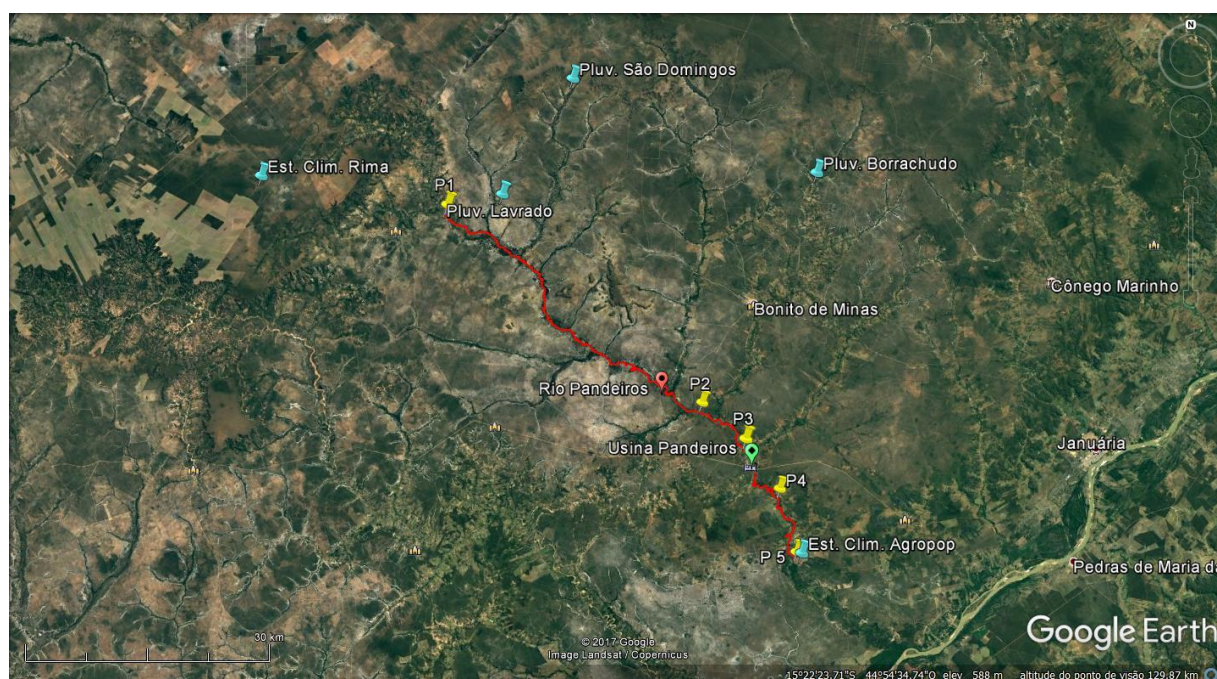


Figura 1. Localização das estações hidrossedimentométricas, climatológicas e pluviométricas.

As estações hidrossedimentométricas foram equipadas com réguas linimétricas, com sensor de pressão *In Situ* e *datalogger*, programados para medição e armazenamento dos dados de níveis d'água a cada 30 minutos. A estação denominada P3 já existia desde a década de 70 e pertence à Agência Nacional de Águas (ANA), com código: 44250000, sendo operada pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Ela se localiza na comunidade Pandeiros, à montante Pequena Central Hidrelétrica de Pandeiros – PCH Pandeiros. Nela não foram instaladas réguas

linimétricas, por esta já as possuir, e nem o sensor de pressão para registros de níveis d'água. As estações pluviométricas foram equipadas com pluviógrafos Squitter dotados de *datalogger*. Assim, dados de nível d'água e de precipitação já começaram a ser colhidos a partir de setembro de 2016.

Entretanto, dados que possibilitaram o cálculo do transporte de sedimentos só tiveram a sua coleta iniciada em dezembro de 2016, já tendo se iniciado o período chuvoso de 2016-2017, devido a atrasos no recebimento dos amostradores de sedimento em suspensão e de arraste.

A Tabela 1 apresenta as coordenadas UTM, no sistema WGS 84, dessas estações. Para as estações hidrossedimentométricas, o georreferenciamento foi realizado com GPS geodésico de alta precisão (GEOTRACK, 2016; GEOTRACK, 2018) e, para as estações climatológicas e pluviométricas, foi utilizado um GPS portátil, com precisão inferior ao anterior.

Tabela 1. Coordenadas UTM, no sistema WGS 84, das estações.

RN da Estação Hidrossedimentométrica	E	N	Altitude Ortométrica (m)
P1	488.217,760	8.316.614,849	593,56
P2	519.583,476	8.292.725,499	523,99
P3	524.869,074	8.288.230,044	500,36
P4	529.049,648	8.282.354,566	467,92
P5	531.062,456	8.274.732,966	459,54
Estação Climatológica	E	N	Altitude (m)
EC Rima	476.645	8.322.228	789
EC Agropop	531.633	8.274.459	479
Estação Pluviométrica	E	N	Altitude (m)
São Domingos	503.561	8.332.198	687
Lavrado	494.921	8.317.908	622
Borrachudo	533.668	8.320.629	694

A Tabela 2 apresenta as altitudes ortométricas (altitudes relativas ao Nível Médio do Mar - N.M.M.) (GEOTRACK, 2016; GEOTRACK, 2018) dos zeros das réguas linimétricas das estações hidrossedimentométricas, assim como as distâncias entre essas estações, medidas ao longo do rio, com base no Software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2019), tendo como ponto de partida a Estação P1. Ela apresenta também, em sua última coluna, a declividade média de cada trecho, em (m/km), entre duas estações consecutivas.

Tabela 2. Declividade entre as estações hidrossedimentométricas.

Estação	Alt. ortométrica do zero da régua (m)	Distância a partir de P1 (km)	Trecho	Desnível (m)	Distância entre estações (km)	Declividade no trecho (m/km)
P1	590,895	0,00				
P2	521,850	60,04	P1-P2	69,045	60,04	1,15
P3	496,916	69,92	P2-P3	24,934	9,88	2,52
P4	462,570	82,35	P3-P4	34,346	12,43	2,76
P5	457,440	94,61	P4-P5	5,130	12,26	0,42

Observe-se que a maior declividade (2,76 m/km) ocorre entre as estações P3 e P4, onde está situada a PCH Pandeiros. A Figura 2 é a representação gráfica dessa variação geométrica ao longo do Rio Pandeiros.

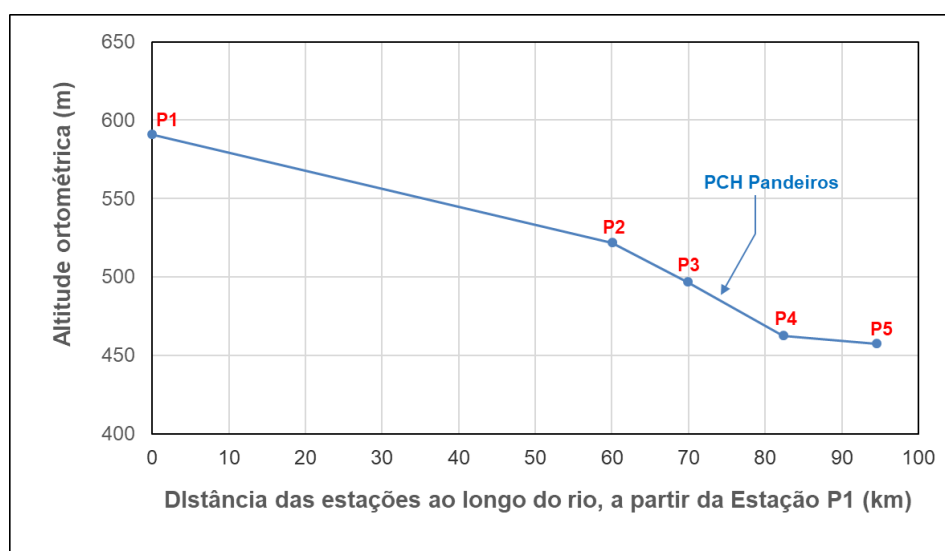


Figura 2. Distância entre estações X altitude ortométrica do zero da régua linimétrica.

2. Programação das campanhas de campo

Tendo em vista a grande variabilidade climática da região, no que diz respeito à pluviometria, avaliada em detalhes com base em uma longa série de medidas para a estação climatológica de Januária (1961 a 2014), apresentadas no segundo relatório parcial, datado de 30 de maio de 2016, as campanhas de medições hidrossedimentométricas foram programadas em função do regime de precipitação na região. Nele observou-se que, as chuvas relativamente mais intensas que provocam, naturalmente, o maior transporte de sedimentos, ocorrem no período de novembro a abril e a época de estiagem se estende de maio a outubro.

Assim, inicialmente foram programadas para o período de estiagem, campanhas bimensais (maio, julho e setembro) com uma equipe efetuando, pelo menos, uma medição completa em cada uma das cinco estações. Para o período chuvoso, foram programadas campanhas mensais com duas equipes atuando simultaneamente em duas estações, num mesmo dia.

Esta programação foi obedecida até a campanha de setembro de 2017. Com os resultados alcançados até então se resolveu, para as campanhas seguintes em período chuvoso, que as duas equipes não iriam mais atuar simultaneamente, mas sim em períodos distintos dentro de cada mês do período chuvoso. Isto possibilitaria uma melhor cobertura dos episódios de forte precipitação, quando há um aumento marcante no transporte de sedimentos.

Entre dezembro de 2016 e maio de 2019 foram efetuadas 148 medições, considerando as cinco estações sendo que, em cada campanha, pelo menos uma medição foi realizada em cada estação. Dadas as características da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros, as estradas disponíveis para o acesso aos locais de medida (sem pavimentação) e a distância a ser percorrida, a execução de uma medição demanda um dia de trabalho da equipe. A Figura 3 mostra a distribuição das medições mensais no período.

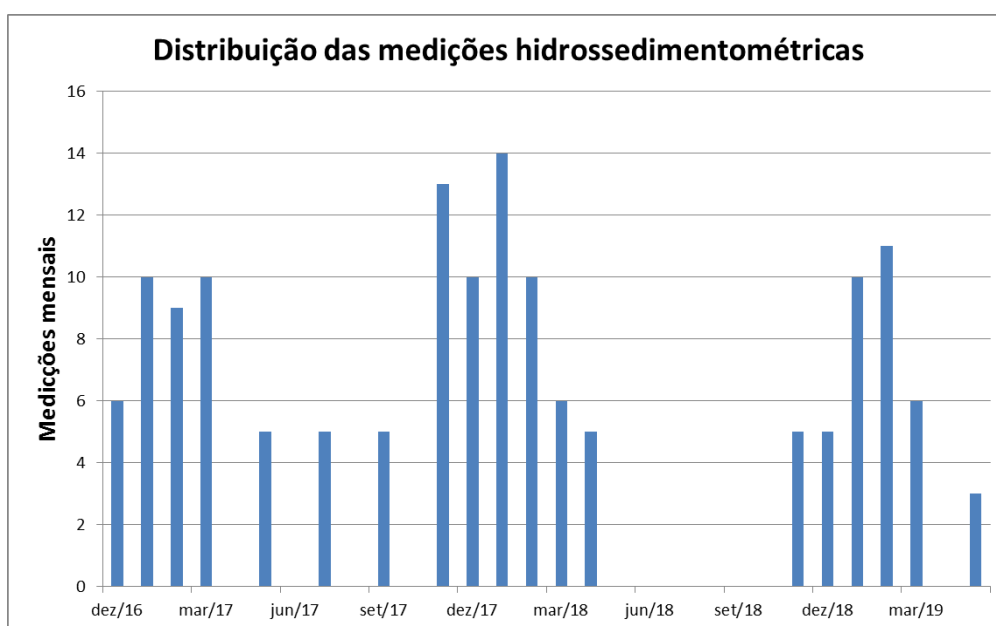


Figura 3. Distribuição das medições efetuadas entre dez./2016 e mai./2019.

3. Metodologia

Foram efetuadas, nas cinco estações, medições regulares de vazão líquida com molinete Gurley-Price, medidor de velocidade de corrente, baseado na rotação de um rotor, ou com

FLOWTRACKER, equipamento acústico baseado no efeito Doppler. A velocidade da corrente é medida em várias verticais ao longo da seção transversal. A vazão líquida é obtida multiplicando-se a velocidade pela área da seção transversal.

Realizaram-se também coletas de sedimento em suspensão, com amostradores DH-48 ou DH-59 ao longo de verticais distribuídas nas seções do Rio Pandeiros, localizadas nas estações de medidas, e arraste do sedimento de fundo, através de amostradores Helley-Smith. Os equipamentos referidos anteriormente são mostrados nas figuras 4, 5, 6, 7 e 8.

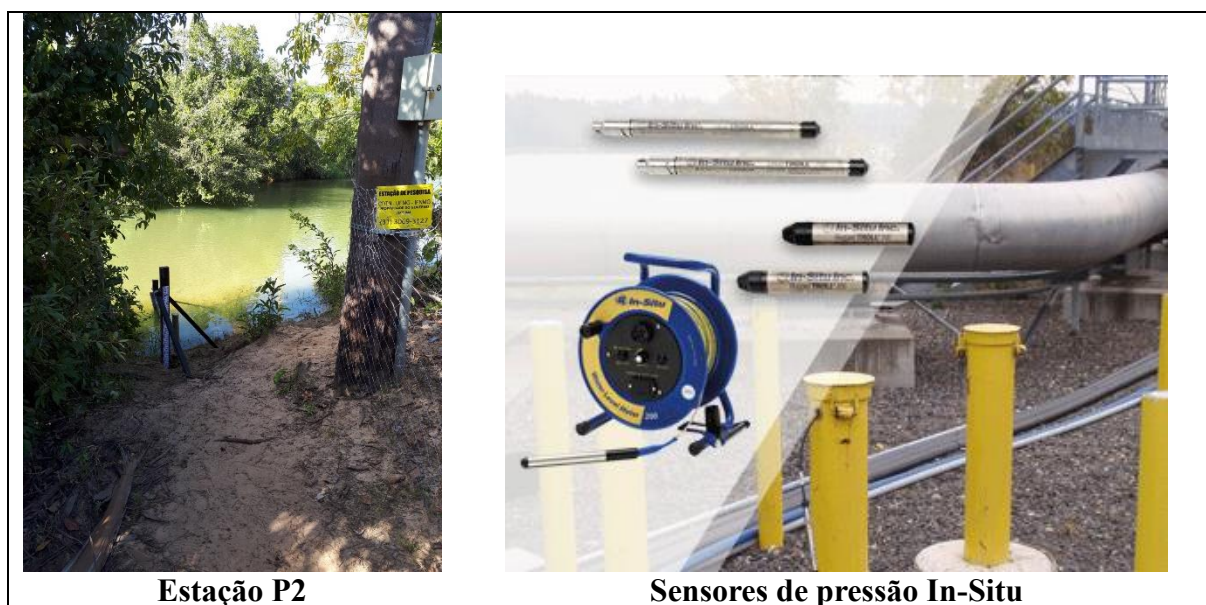


Figura 4. Medição de nível d'água (Linígrafo de pressão e réguas linimétricas).



Figura 5. Pluviógrafo na área de estudo.

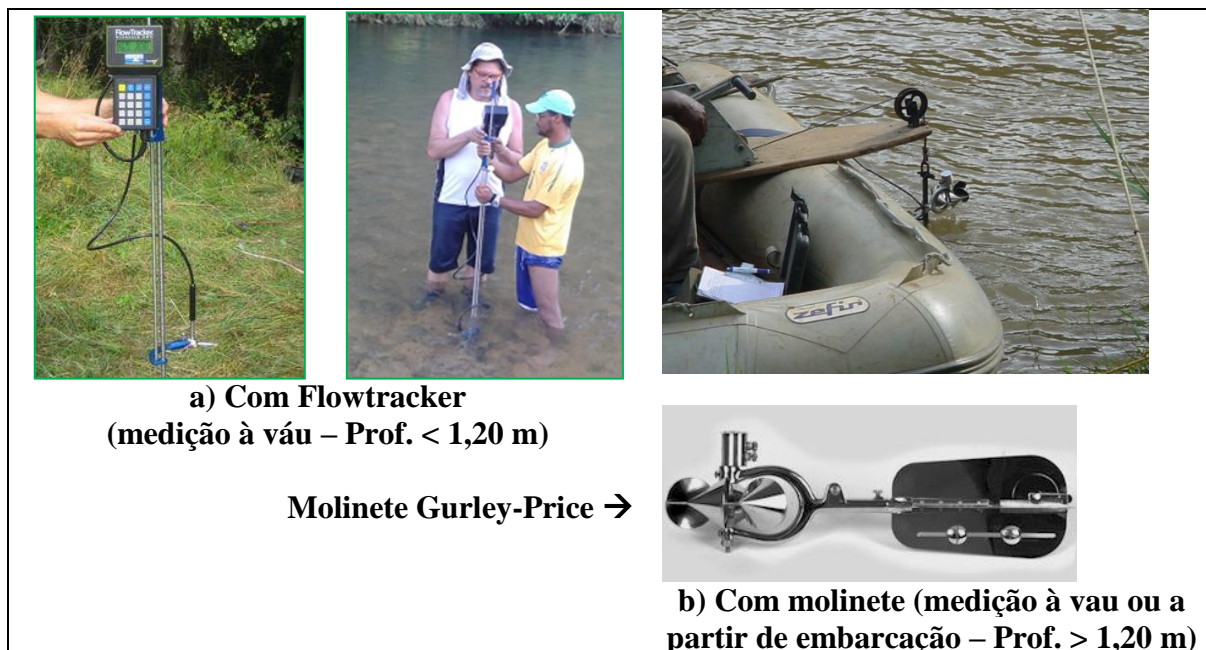


Figura 6. Medição de velocidade da corrente.

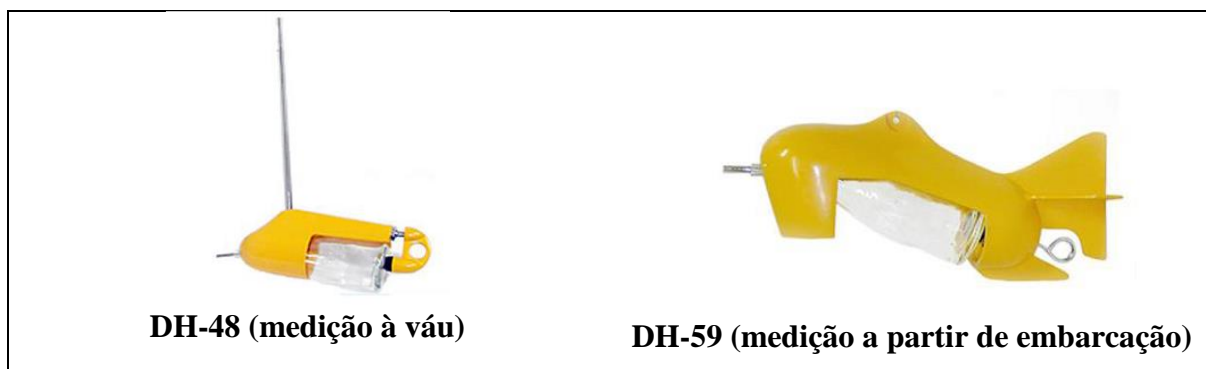


Figura 7. Amostradores de sedimento em suspensão.



Figura 8. Coleta de sedimento de arraste - Amostradores Helley Smith.

É importante frisar que durante cada campanha de medição, anotou-se o nível d'água (Cota) indicado pela leitura na régua linimétrica da estação, pelo menos no início e no fim das medições, mesmo que a estação possuísse registro de nível contínuo.

As amostras coletadas, em grande quantidade em cada campanha, foram analisadas no Laboratório de Solos do IFNMG. As amostras de sedimento em suspensão foram submetidas a procedimentos que possibilitam determinar a sua concentração (massa/volume). Multiplicando a concentração pela vazão líquida (volume/tempo), obtém-se a descarga sólida em suspensão (massa/tempo). As amostras de sedimento de arraste foram analisadas de forma a se determinar a massa do material recolhido em cada ponto e também a sua granulometria. Com base na largura da seção do rio, na largura da boca de amostragem do aparelho, no número de pontos de medida e no tempo de amostragem, determina-se a descarga sólida de arraste.

Para cada medição completa na estação, os dados foram processados e se obtiveram os quantitativos de vazão, geralmente em m^3/s , e os de transporte em suspensão e o de arraste (ou de fundo), em toneladas por dia (t/dia).

De posse de um conjunto de dados, para uma mesma estação, de vazão, transporte em suspensão e de fundo, bem como do valor do nível d'água (Cota) considerado para cada medição, calculam-se as curvas-chave, que são equações relacionando:

1. Cota x Vazão;
2. Vazão x Transporte em suspensão;
3. Vazão x Transporte de fundo.

Estas curvas-chave permitem obter, a partir da leitura do nível d'água (a mais fácil e menos trabalhosa das medições), a vazão na estação, o transporte em suspensão, o de fundo e o transporte total, que é a soma dos dois últimos dados. Se houver um registro contínuo de nível d'água, estas informações podem ser obtidas ao longo do tempo registrado.

Depreende-se daí, que as curvas chave são extremamente importantes para a determinação do transporte de sedimentos. O grau de confiabilidade das equações que relacionam cada par de parâmetros depende de quantidade significativa do par de dados medidos, da sua distribuição ao longo do regime climático e da possibilidade de obtenção de mais dados medidos no período crítico que, no caso do estudo em curso na Bacia do Rio Pandeiros, é o regime chuvoso. É nele que ocorre o maior transporte de sedimentos. Estes aspectos serão exemplificados a seguir.

4. Resultados e discussão

Nos relatórios parciais foram utilizadas relações Cota x Vazão obtidas através do aplicativo Excel, e utilizando os dados medidos de nível d'água (Cota) e vazão líquida (Q) específicos de cada período. Para este relatório final foi realizada a consistência dos dados de cota e vazão, considerando todo o período estudado. Neste caso as curvas chave foram estabelecidas segundo as orientações para consistência de dados fluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2012).

Para as curvas chave de Q x transporte de sedimentos utilizaram-se os dados já consistidos de vazão líquida, para todo o período, e os dados medidos de carga sólida. Assim, ocorreram alterações nos quantitativos calculados anteriormente e que constam nos relatórios parciais já apresentados.

Assim, os resultados e conclusões mostrados a seguir, representam as campanhas efetuadas entre dezembro de 2016 e maio de 2019, consideram os cálculos de transporte de sedimentos de fundo e suspensão, e o total, que é a soma dos dois anteriores, já levando em conta a nova consistência dos dados de cota e vazão. Alguns quantitativos do transporte de sedimentos mostrados incluindo o mês de novembro de 2016, anterior ao início da medição de sedimento, em dezembro de 2016, são o resultado da utilização das curvas-chave antes mencionadas.

4.1 Pluviosidade

O estudo climatológico da região da Bacia do Rio Pandeiros e das regiões adjacentes foi realizado no âmbito do Subprojeto 1b: Diagnóstico Climático na Bacia do Rio Pandeiros (JARDIM *et al.*, 2020), que também é parte do Projeto Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros. A pluviosidade da região foi estudada em detalhes, considerando duas fases.

Na primeira fase foi feita uma análise das características do clima regional, incluindo estudos diagnósticos sobre a dinâmica e variabilidade das chuvas e temperatura do ar a partir de dados recolhidos de regiões adjacentes à bacia do rio Pandeiros, considerando dados de séries de médio e longo prazo das estações meteorológicas da rede oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) de 1961 a 2018 (Janaúria, Carinhanha, Montes Claros, Arinos, Formoso, Espinosa, Janaúba e Salinas).

Na segunda fase foram analisadas as variações dos atributos climáticos locais no interior da Bacia do Rio Pandeiros, utilizando-se os dados coletados em campo pelas duas estações

climatológicas automáticas Davis (Agropop e Rima) sob a responsabilidade do IGC/UFMG, e pela rede de três estações pluviométricas (Borrachudo, Lavrado e São Domingos) sob a responsabilidade do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), todas instaladas no âmbito do presente projeto (Figura 1), e das estações meteorológicas da rede oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) sediadas em Januária e Chapada Gaúcha, para o período de 2008 a 2019 (JARDIM *et al*, 2017, 2019; JARDIM e MOURA, 2018).

Os dados de pluviosidade (mm) colhidos nas três estações pluviométricas (Borrachudo, Lavrado e São Domingos), entre outubro/2016 e novembro/2019, foram integrados mensalmente e os resultados estão mostrados na Figura 9.

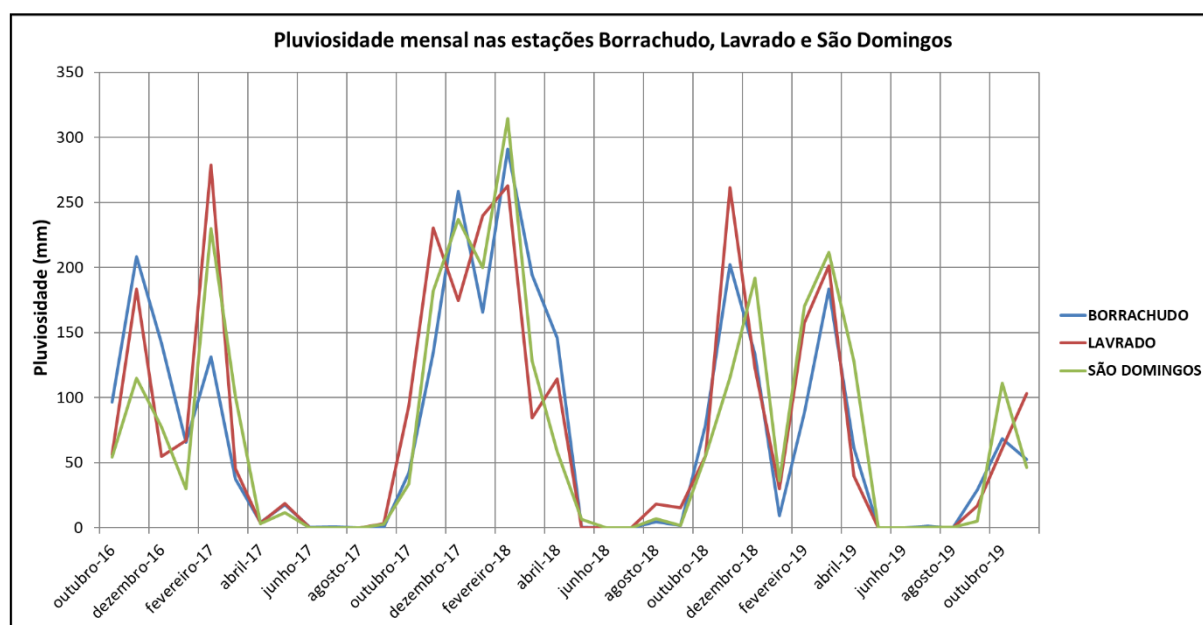


Figura 9. Pluviosidade mensal na Bacia do Rio Pandeiros.

Observe-se a enorme diferença de pluviosidade entre o período seco (maio a outubro) e o período chuvoso (novembro a abril). Note-se também que nos períodos chuvosos de nov./16 a abr./17 e nov./18 a abr./19 ocorreu uma diminuição acentuada da pluviosidade (estiagem) nos meses de janeiro, caracterizando o fenômeno meteorológico conhecido como Veranico. Este fenômeno não ocorreu no período chuvoso de nov./17 a abr./18.

O gráfico na Figura 10 mostra as pluviosidades médias para cada uma das estações pluviométricas, nos dois períodos. Os valores médios para cada período, considerando o conjunto das três estações, encontram-se assinalados na legenda do eixo das abcissas. Para os períodos secos, a pluviosidade média foi igual ou inferior a 16,3 mm.

Considerando os períodos chuvosos, o de nov./17 a abr./18 apresentou a maior pluviosidade média mensal (189,7 mm) para o período monitorado, o que se refletiu no grande aumento do transporte de sedimentos no Rio Pandeiros, em relação aos outros dois (nov./16 a abr./17 e nov./18 a abr./19). Da mesma forma, para os períodos secos, com precipitação bastante inferior, o transporte de sedimentos foi bem menor que para qualquer período chuvoso. Isto será visto, em detalhes, no item 4.2.2.

Depreende-se também, do gráfico apresentado na Figura 10, uma homogeneidade de precipitação nesses dois períodos (secos e chuvosos) para as regiões de instalação dos pluviômetros (Figura 1), pelo fato de não haver grande variação de precipitação entre elas.

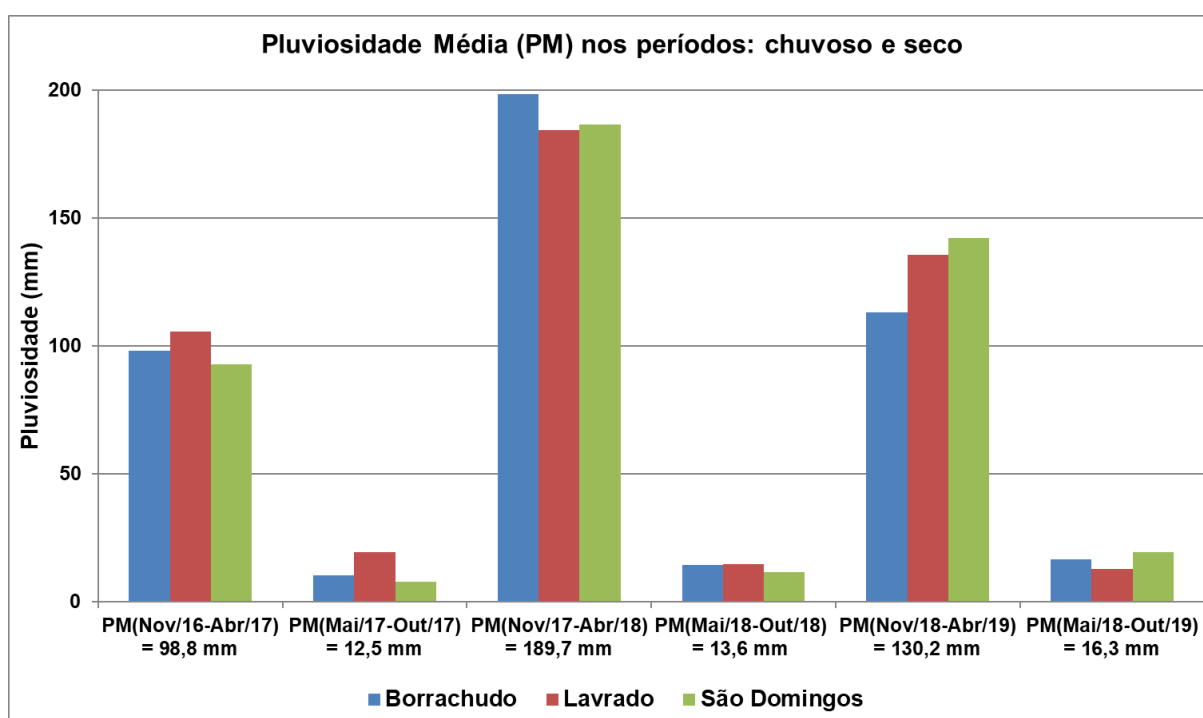


Figura 10. Pluviosidade média nos períodos: chuvoso e seco.

A Figura 11 exemplifica e mostra a relação direta entre a precipitação ao longo do tempo (Hietograma) da Estação Lavrado e a vazão ao longo do tempo (Hidrograma) da Estação P3.

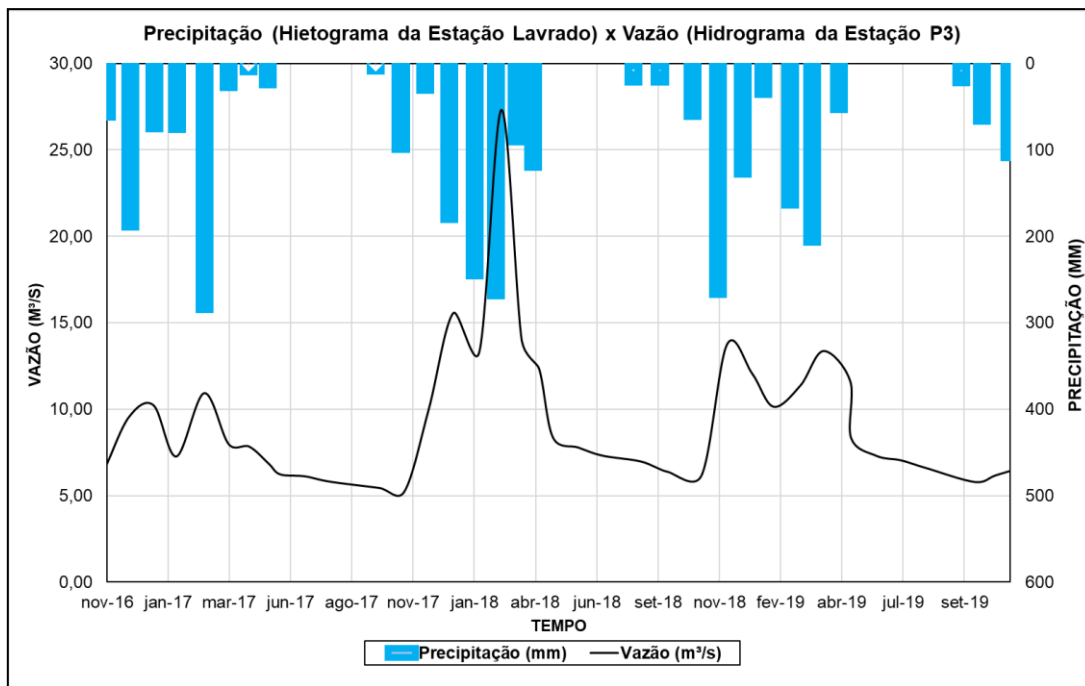


Figura 11. Precipitação na Estação Lavrado e vazão na Estação P3.

4.2 Hidrossedimentometria

4.2.1 Curvas-chave

A primeira curva-chave construída foi a de Cota x Vazão. As figuras 12a até 12e mostram as curvas chave obtidas para as cinco estações.

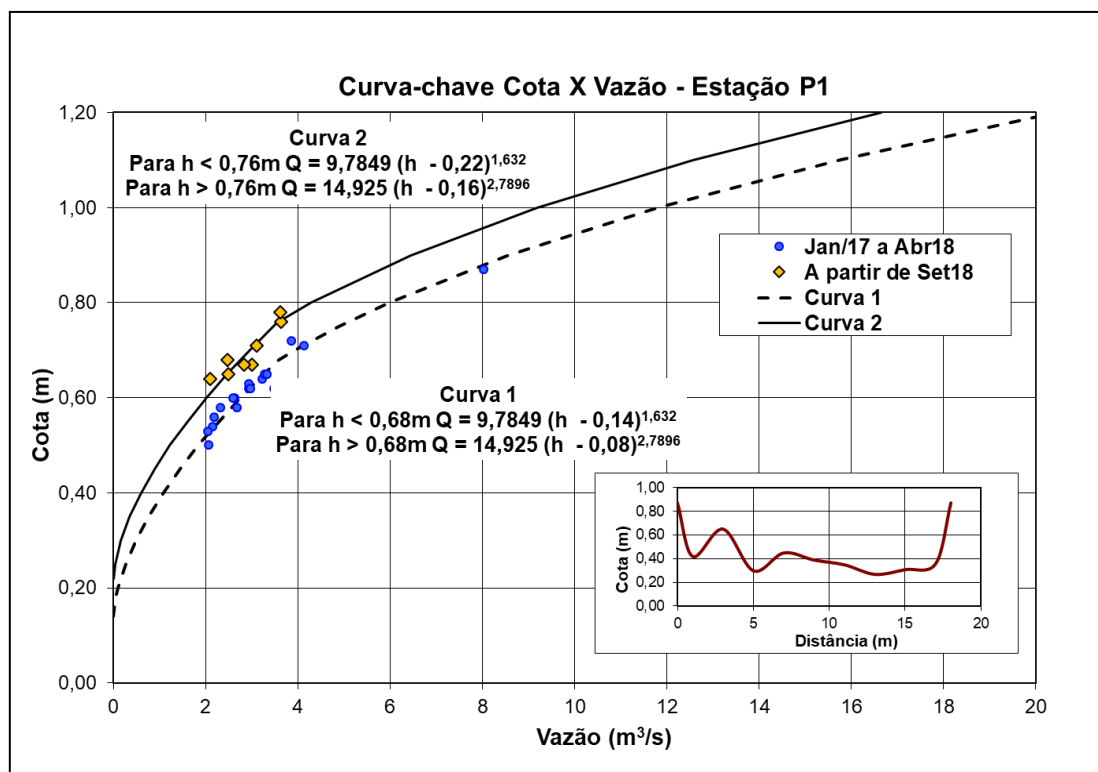


Figura 12a. Estação P1

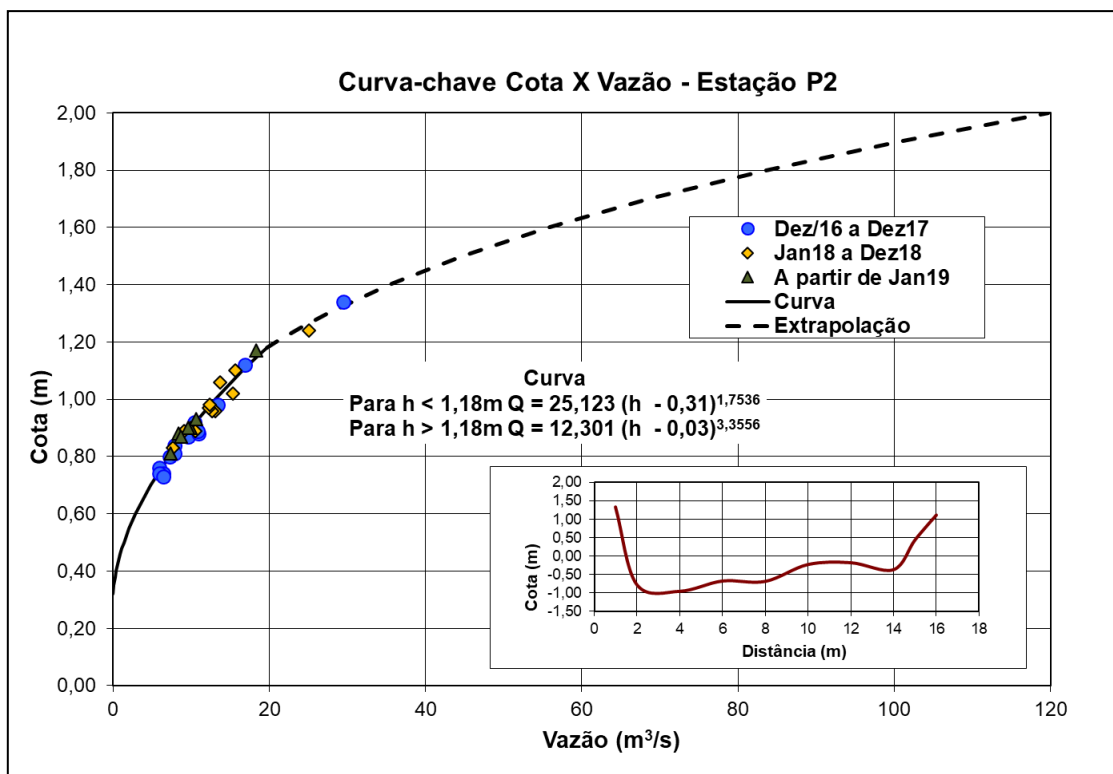


Figura 12b. Estação P2

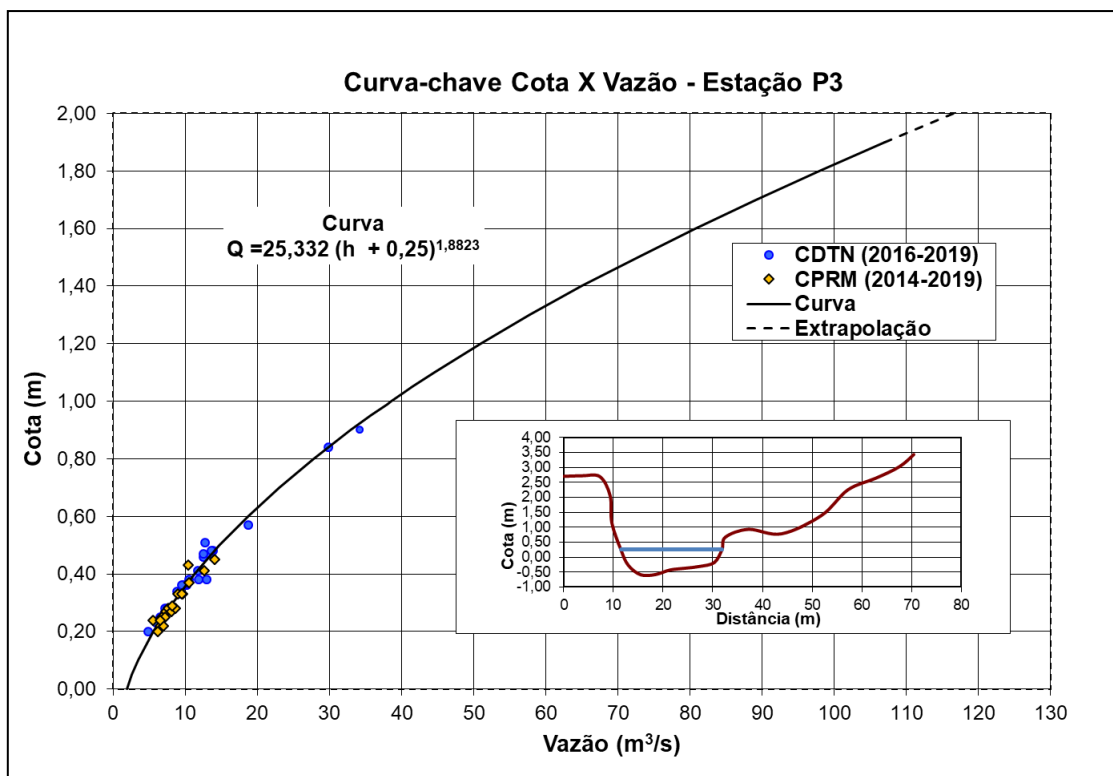


Figura 12c. Estação P3

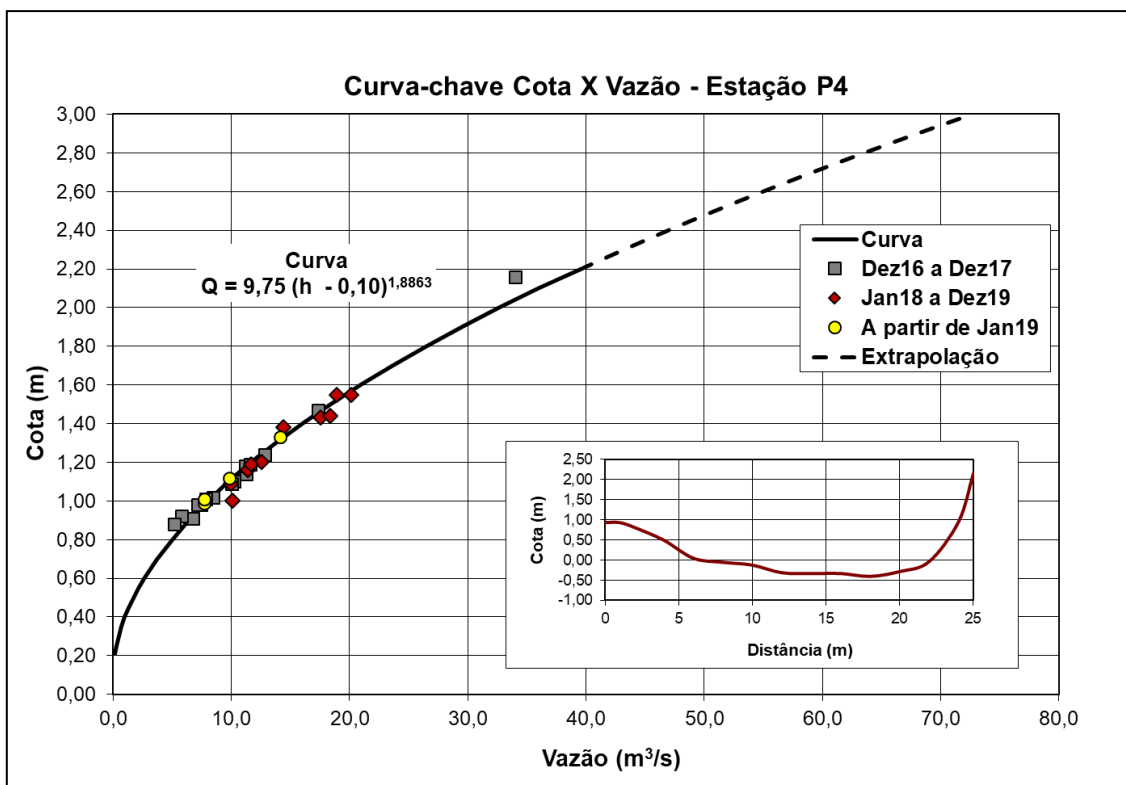


Figura 12d. Estação P4

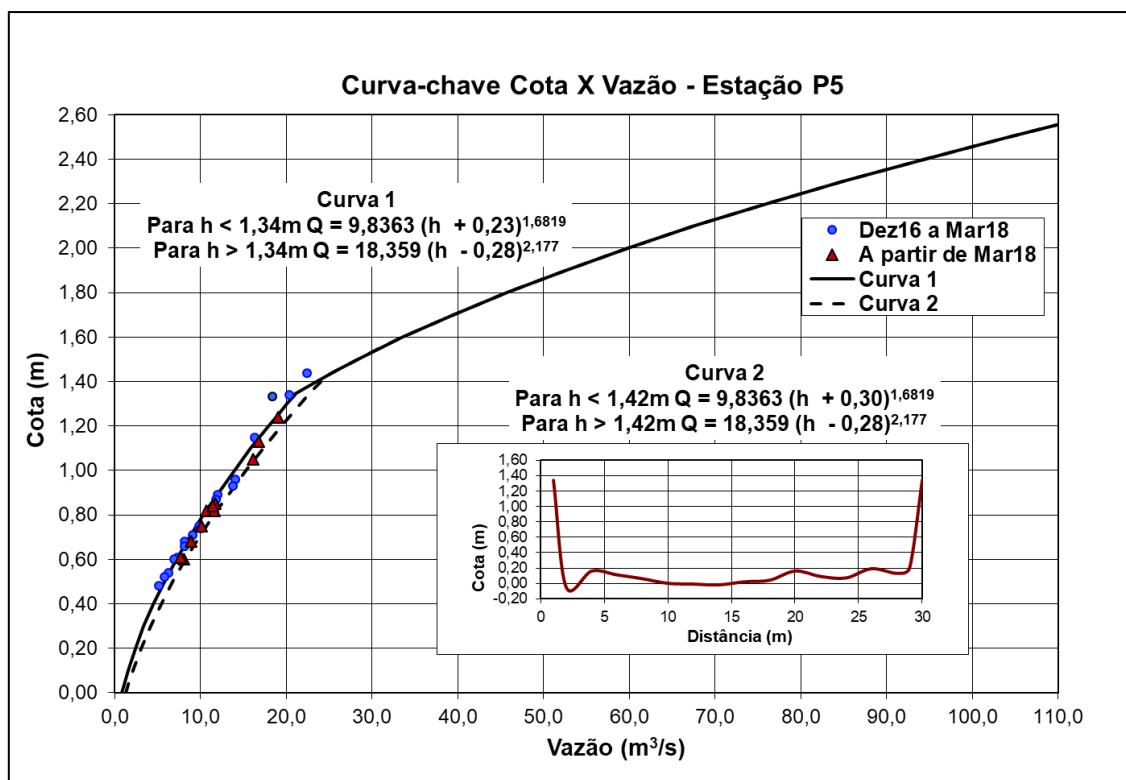


Figura 12e. Estação P5

Como mencionado anteriormente, a Estação P3, pertencente à Agência Nacional de Águas (ANA) e operada pela CPRM, possui dados de vazão desde a década de 70. A Figura 13 mostra

a série histórica de vazões médias mensais entre agosto de 1973 e dezembro de 2019. Se encontra sobreposta à linha em azul, dessa série histórica de vazões obtidas, a linha em preto, entre outubro de 2016 e outubro de 2019, resultante das medições realizadas pelo CDTN no presente projeto.

A consideração conjunta da série histórica de vazões (Figura 13) e da curva-chave da Estação P3 (Figura 12c), que apresenta os pontos resultantes das medições efetuadas pelo CDTN (2016 a 2019) e pela CPRM (2014-2019), se traduz em um certificado da qualidade das medições hidrológicas efetuadas pelo CDTN.

A média das vazões médias mensais foi de 20,60 m³/s, 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 m³/s, ou seja: apenas 44,28 % do valor correspondente ao período completo de operação da estação.

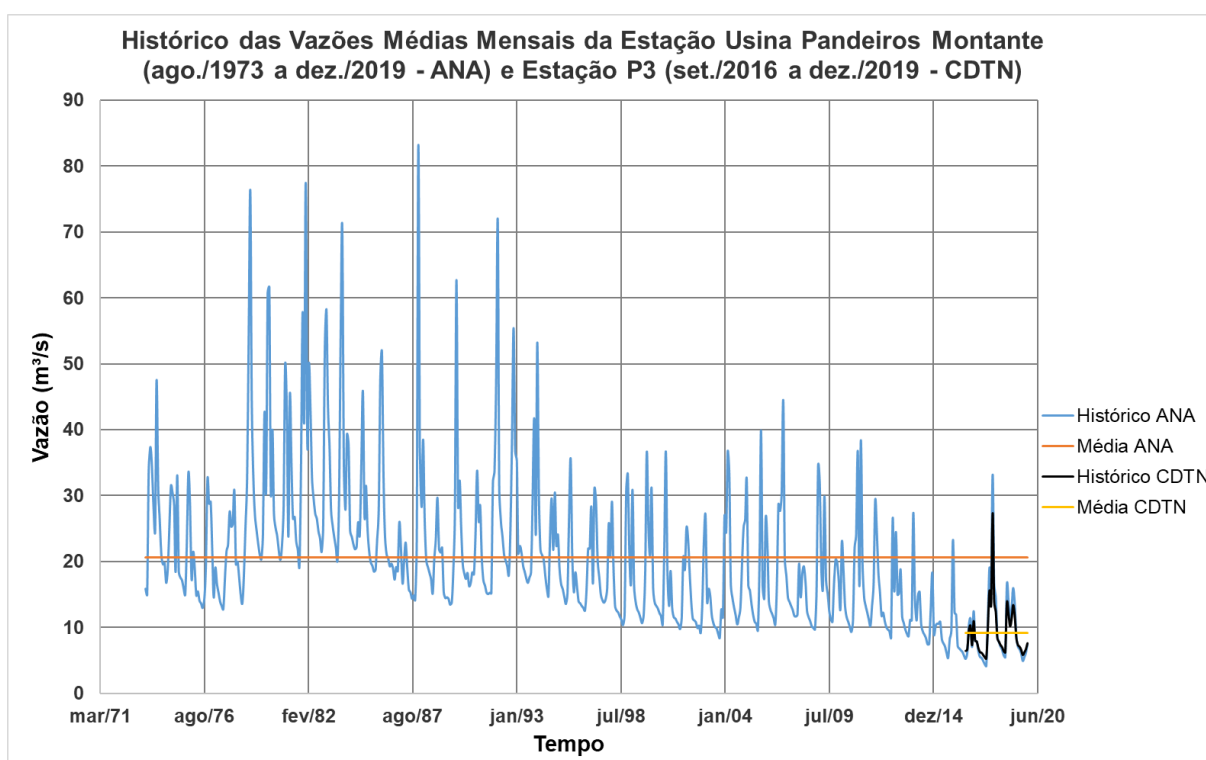


Figura 13. Histórico das vazões médias mensais da Estação Usina Pandeiros Montante (ago./1973 a dez./2019 - ANA) e Estação P3 (set./2016 a dez./2019 - CDTN)

As equações das curvas-chave de Vazão (Q) x Transporte de sedimento em suspensão (T.S.) e Vazão (Q) x Transporte de sedimento de fundo (T.F.), para as cinco estações são mostradas, respectivamente, nas tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Equações das curvas-chave de Q x T.S.

ESTAÇÃO	PERÍODO	EQUAÇÃO DA CURVA-CHAVE
P1	Out./2016 a Out./2018	$T.S. = 2,4718Q^{3,5199} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.S. = 4,0659Q^{3,2048} \text{ t/dia}$
P2	Out./2016 a Out./2018	$T.S. = 0,0017Q^{4,2532} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.S. = 0,0019Q^{4,3016} \text{ t/dia}$
P3	Out./2016 a Out./2018	$T.S. = 0,0176Q^{3,2554} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.S. = 0,0284Q^{3,0661} \text{ t/dia}$
P4	Out./2016 a Out./2018	$T.S. = 0,023Q^{3,1517} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.S. = 0,0443Q^{2,9017} \text{ t/dia}$
P5	Out./2016 a Out./2018	$T.S. = 0,0316Q^{2,8509} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.S. = 0,024Q^{3,0112} \text{ t/dia}$

Tabela 4. Equações das curvas-chave de Q x T.F.

ESTAÇÃO	PERÍODO	EQUAÇÃO DA CURVA-CHAVE
P1	Out./2016 a Out./2018	$T.F. = 0,9782Q^{1,6238} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.F. = 1,299Q^{1,557} \text{ t/dia}$
P2	Out./2016 a Out./2018	$T.F. = 0,0753Q^{2,1449} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.F. = 0,0772Q^{2,0319} \text{ t/dia}$
P3	Out./2016 a Out./2018	$T.F. = 0,0853Q^{1,3417} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.F. = 0,1094Q^{1,2568} \text{ t/dia}$
P4	Out./2016 a Out./2018	$T.F. = 0,7606Q^{0,9341} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.F. = 0,4945Q^{1,1213} \text{ t/dia}$
P5	Out./2016 a Out./2018	$T.F. = 0,332Q^{1,015} \text{ t/dia}$
	Nov./2018 a Out./2019	$T.F. = 0,332Q^{1,015} \text{ t/dia}$

O transporte total foi obtido pela soma dos transportes em suspensão e de fundo.

4.2.2 Transporte de sedimentos

Apresentam-se, nas figuras 14, 15 e 16 a seguir, os resultados do transporte mensal de sedimento (suspensão, fundo e total) para as estações P1, P2, P3, P4 e P5. Todos os gráficos dessas figuras foram construídos com escala linear para as ordenadas, com o objetivo de destacar que, em cada uma das estações, os transportes de sedimento em suspensão e de fundo são relativamente bem maiores nos períodos chuvosos. Deve-se prestar atenção aos valores assinalados nas escalas lineares verticais, ao se comparar o transporte de sedimentos entre as cinco estações hidrossedimentométricas.

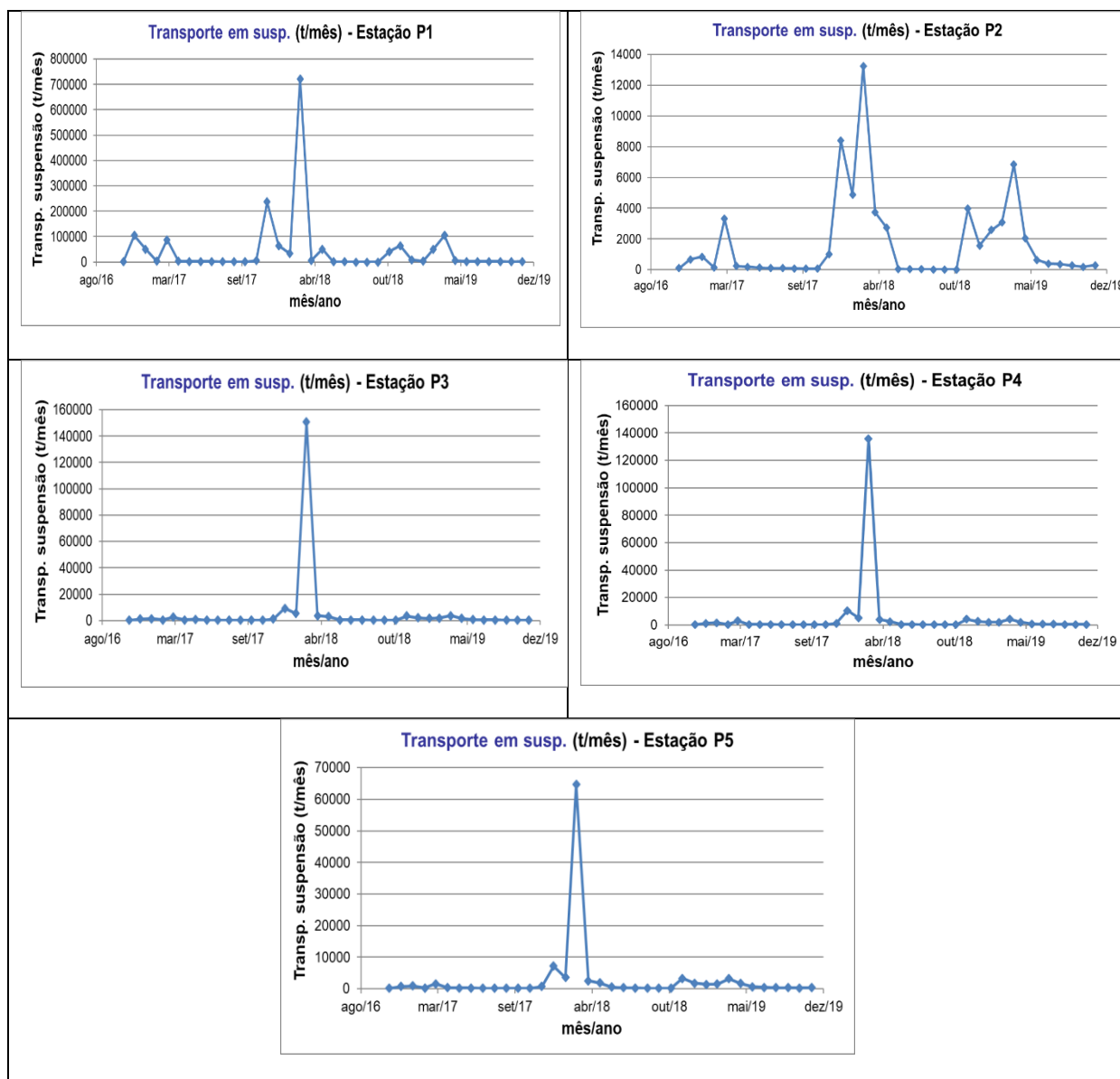


Figura 14. Transporte em suspensão mensal nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.

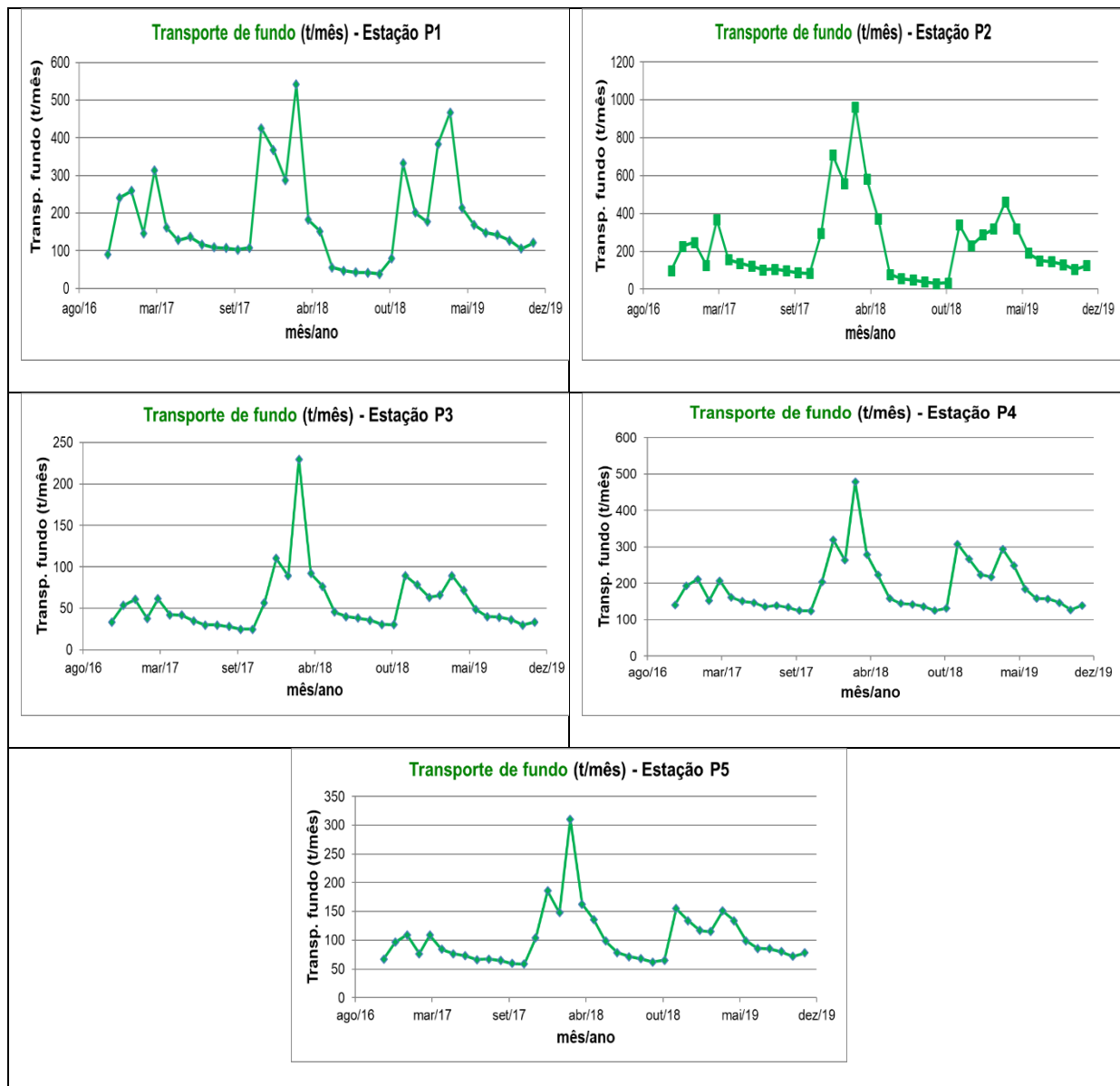


Figura 15. Transporte de fundo mensal nas estações P1, P2, P3 P4 e P5.

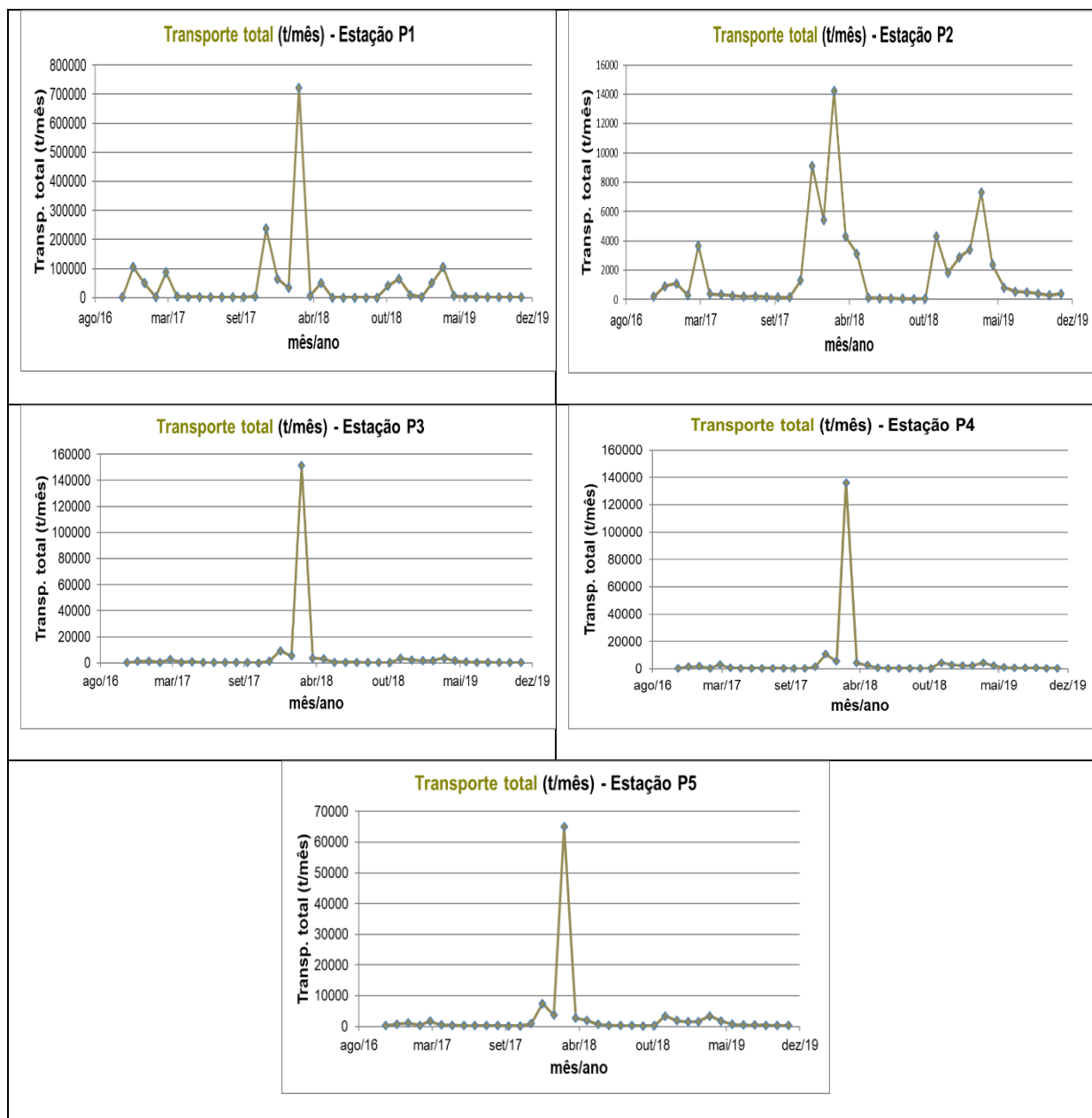


Figura 16. Transporte total mensal nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.

Os quantitativos do transporte de sedimentos mensal mostrados nas figuras de 14 a 16 são um reflexo do regime pluviométrico da região da Bacia do Rio Pandeiros (figuras 9 e 10):

- Transporte de sedimentos mais intenso nos períodos chuvosos;
- Transporte de sedimentos muito mais intenso no segundo período chuvoso (nov./17 a abr./18), com precipitação média de 189,7 mm, considerando o conjunto das três estações pluviográficas (São Domingos, Lavrado e Borrachudo) quando comparado com o período chuvoso (nov./16 a abr./17), com precipitação média de 98,8 mm, praticamente a metade do anterior. O período chuvoso seguinte (nov./18 a abr./19), com precipitação média de 130,2 mm foi intermediário entre os dois anteriores.

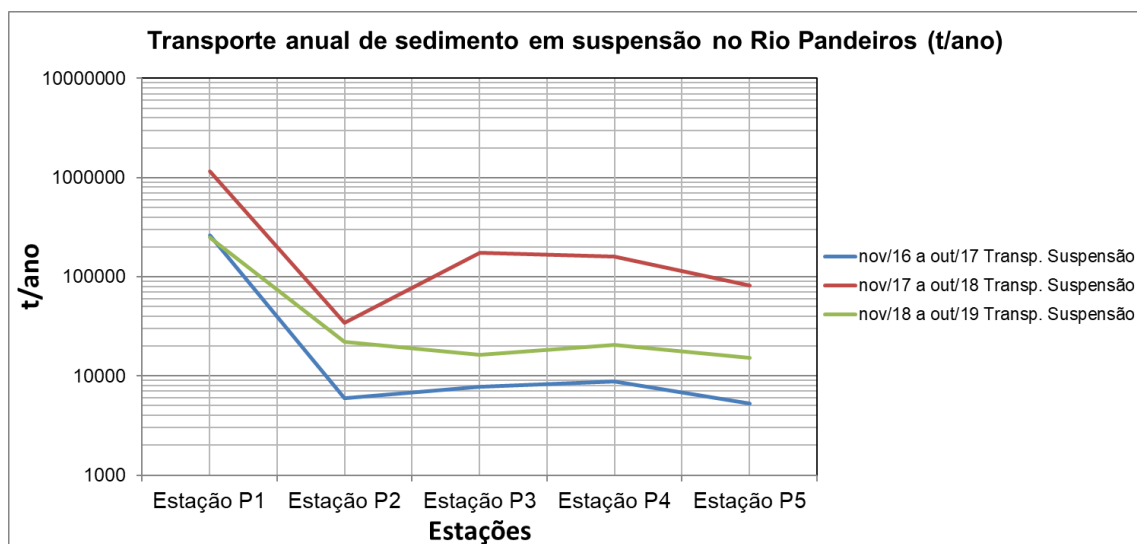
Pode-se inferir também, pelas escalas de ordenadas das figuras 14 e 15, que o transporte em suspensão é muito maior que o transporte de fundo. Geralmente, o transporte em suspensão representa cerca de 90% ou mais, do transporte total.

Outro fator que influencia o transporte de sedimentos é a declividade do curso d'água. 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):

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

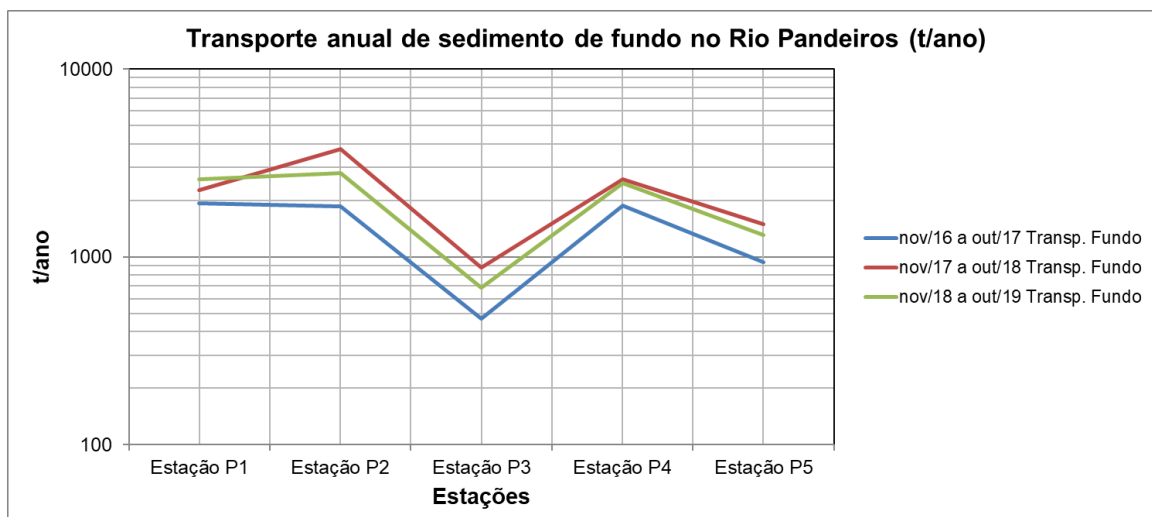
onde (m) é a massa sendo transportada.

As figuras 17, 18 e 19 apresentam, respectivamente, os resultados do transporte anual de sedimento (suspensão, fundo e total), considerando o conjunto das estações P1, P2, P3, P4 e P5. Aqui, o ano é considerado desde o início do período chuvoso (novembro), até o final do período seco seguinte (outubro). Diferentemente das escalas lineares para ordenadas dos gráficos das figuras que representam o transporte mensal (figuras 14, 15 e 16), os gráficos das figuras 17, 18 e 19 foram construídos em escala logarítmica para destacar o comportamento longitudinal do transporte de sedimentos nas estações, nos três anos considerados.



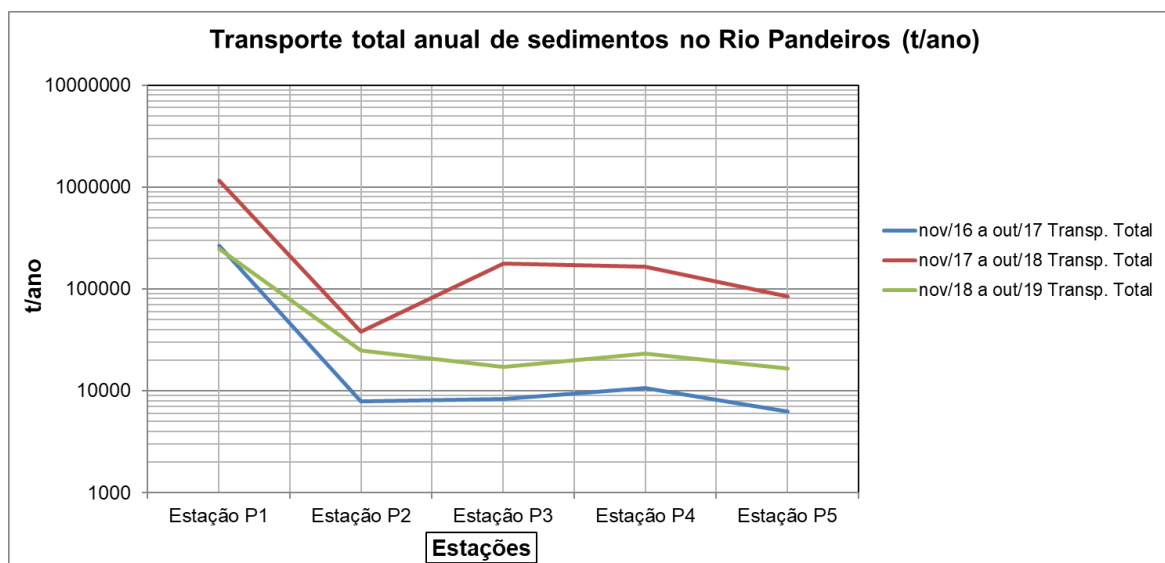
	Transporte em Suspensão (t/ano)		
	nov/16 a out/17	nov/17 a out/18	nov/18 a out/19
Estação P1	262.089	1.157.546	246.767
Estação P2	5.957	34.176	22.239
Estação P3	7.785	175.131	16.351
Estação P4	8.783	161.151	20.667
Estação P5	5.267	82.261	15.222

Figura 17. Transporte anual de sedimento em suspensão nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.



	Transporte de Fundo (t/ano)		
	nov/16 a out/17	nov/17 a out/18	nov/18 a out/19
Estação P1	1.929	2.261	2.588
Estação P2	1.857	3.763	2.800
Estação P3	470	875	686
Estação P4	1.880	2.604	2.470
Estação P5	941	1.490	1.305

Figura 18. Transporte anual de sedimento de fundo nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.



	Transporte Total (t/ano)		
	nov/16 a out/17	nov/17 a out/18	nov/18 a out/19
Estação P1	264.018	1.159.807	249.355
Estação P2	7.814	37.939	25.039
Estação P3	8.255	176.006	17.037
Estação P4	10.663	163.755	23.137
Estação P5	6.209	83.752	16.527

Figura 19. Transporte total anual de sedimento nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.

A comparação das figuras 17 e 18 também comprova os quantitativos maiores para o transporte de sedimentos em suspensão, em relação ao transporte de fundo.

Considerando a Figura 10 (pluviosidade) e a Figura 19 (transporte total anual de sedimentos) observa-se a relação direta de pluviosidade com o transporte de sedimentos.

Observa-se na Figura 19 que o transporte total anual de sedimentos na Estação P1 é muito maior do que em qualquer outra das estações operadas, tendo em vista a conformação morfológica na região à montante desta estação, caracterizada por uma grande declividade. Além disso, existem mais de 200 voçorocas, identificadas e estudadas no âmbito do presente projeto (LIMA, 2019; LIMA *et al.*, 2019).

De modo geral, uma parcela do sedimento que passa pela Estação P1 decanta entre esta e a Estação P2, situada a 60,04 Km à jusante da Estação P1, trecho cheio de meandros e com declividade média de 1,15 m/km (Tabela 2), certamente inferior à da região do rio à montante da Estação P1.

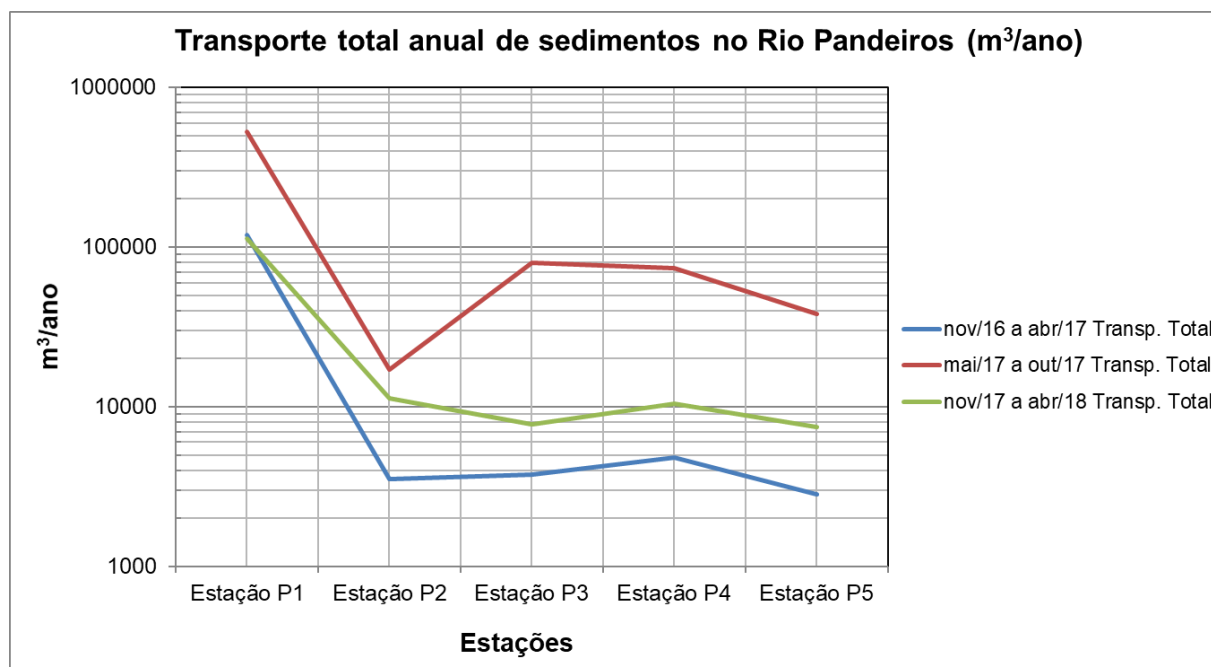
Entre as estações P3 e P4 situa-se a PCH Pandeiros, com seu reservatório já praticamente todo assoreado quando as medições hidrossedimentométricas foram iniciadas, em dezembro de 2016. Este trecho do Rio Pandeiros é o de maior declividade (2,76 m/km), como pode ser observado na Figura 2 e na Tabela 2. A presença da barragem da PCH Pandeiros diminui a declividade da linha de energia desse trecho, atenuando a capacidade do transporte de sedimentos, promovendo o assoreamento do reservatório na sua região de remanso, de cerca de 2 km.

Se não houvesse o reservatório, a declividade da linha de energia do escoamento seria certamente maior, com o conseqüente aumento do carreamento de sedimento para jusante.

Tem havido um decréscimo sistemático do transporte de sedimentos da Estação P4 para a Estação P5, como pode ser observado, sem exceção, nos quantitativos até o presente obtidos (figuras 17, 18 e 19). A declividade média neste trecho (0,42 m/km) é a menor observada entre os quatro trechos delimitados pelas cinco estações hidrossedimentométricas (Tabela 2). Este trecho fica logo a montante do Pantanal do Rio Pandeiros.

Na Figura 20, o transporte total de sedimentos, apresentado na Figura 19 em t/ano, é mostrado em m³/ano, pois os quantitativos volumétricos permitem um maior sentimento do que representa o transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros. Esta transformação

foi feita dividindo-se os valores mostrados na Figura 19 pela massa específica do sedimento ($2,65 \text{ t/m}^3$), e multiplicando-se por um fator de empolamento médio igual a 1,2 (ROCHA *et al.*, 2012), para levar em conta os espaços vazios existentes entre as partículas de sedimento.



	Transporte Total anual (m^3/ano)		
	nov/16 a out/17	nov/17 a out/18	nov/18 a out/19
Estação P1	119.555	525.196	112.915
Estação P2	3.538	17.180	11.338
Estação P3	3.738	79.701	7.715
Estação P4	4.828	74.153	10.477
Estação P5	2.812	37.925	7.484

Figura 20. Transporte total anual de sedimento (m^3/ano), nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.

A Figura 21 apresenta o transporte total por semestre, para todo o período de medições hidrossedimentométricas abrangido pelo período estudado (nov./16 a out./19), considerando o semestre chuvoso se estendendo entre novembro e abril e o semestre seco entre maio e outubro.

Os dados contidos nas figuras 20 e 21 mostram claramente a dinâmica e os quantitativos, em metros cúbicos (m^3), por ano e por semestre, chuvoso e seco, do transporte de sedimentos ao longo do curso do Rio Pandeiros. Fica clara também a influência da pluviosidade no transporte de sedimentos, quando se observa os quantitativos desse transporte, considerando o ano como um todo ou separadamente, em períodos chuvosos e secos.

Considerando o semestre mais chuvoso (nov./17 a abr./18) transitou pelas estações P1, P3 e P5, respectivamente, 505.988 m^3 , 78.668 m^3 , e 36.974 m^3 . Estes são os quantitativos maiores, até

o presente calculados, que podem balizar a gestão do transporte de sedimentos no Rio Pandeiros, visando a minimização do aporte de sedimentos ao Pantanal Mineiro.

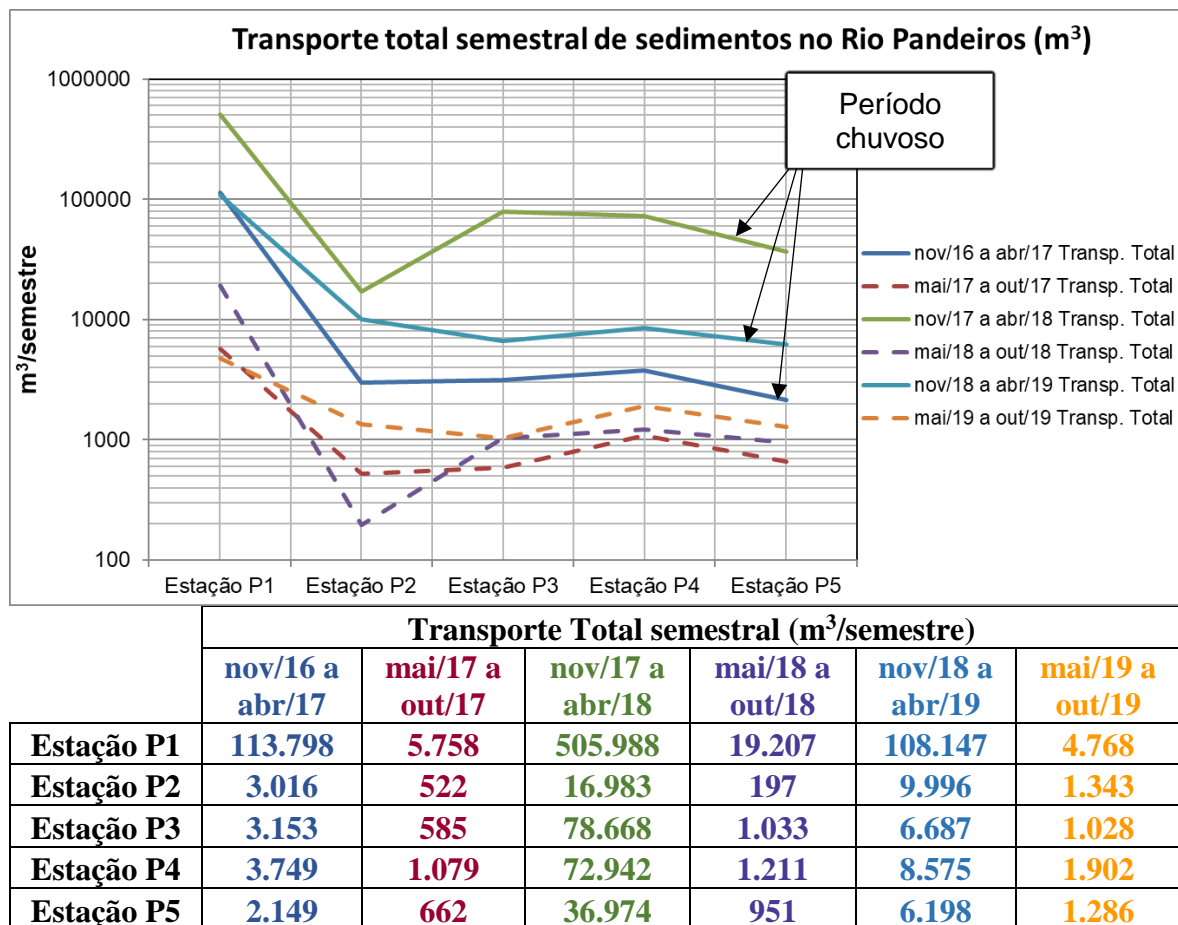


Figura 21. Transporte total semestral (m³/semestre) nas estações P1, P2, P3, P4 e P5.

A Tabela 5 foi calculada com base nos valores da tabela anexa à Figura 21.

Tabela 5. Percentuais (%) relativos ao semestre mais chuvoso (nov./17 a abr./18) do transporte total semestral dos outros dois períodos chuvosos

	nov/16 a abr/17	nov/17 a abr/18	nov/18 a abr/19
	% relativo a nov/17-abr/18	% relativo a nov/17-abr/18	% relativo a nov/17-abr/18
Estação P1	22,49	100	21,37
Estação P2	17,76	100	58,86
Estação P3	4,01	100	8,50
Estação P4	5,14	100	11,76
Estação P5	5,81	100	16,76

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 % relativos são os das estações P2 e P5, que apresentam as menores declividades

relativas às estações imediatamente à montante e, portanto, têm mais chance de ter sedimento depositado à montante, proveniente de chuvas passadas;

- Isto parece mostrar que os trechos de menor declividade a montante das estações P2 e P5 favorecem uma maior sedimentação, em período de seca, do material transportado no período chuvoso anterior, proporcionando 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.

Cada uma das estações hidrossedimentométricas tem, a montante de si, uma área de influência específica, que é toda área de drenagem que fica entre essa estação e a próxima estação à montante. Tem também outra área de contribuição para produção de sedimento e captação de água (Figura 22), que é toda área da bacia hidrográfica a montante dessa estação, fazendo com que a estação P1 seja a única estação cujas áreas de influência e de contribuição sejam a mesma. Por exemplo, a estação P5 tem uma área de influência específica de 89,8 km² que fica entre essa e a estação P4. A área de contribuição para produção de sedimento é a área de influência de P5 somada às áreas de influência de P4, P3, P2 e P1, ou seja, 3.802,16 km². Assim, 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 a estação.

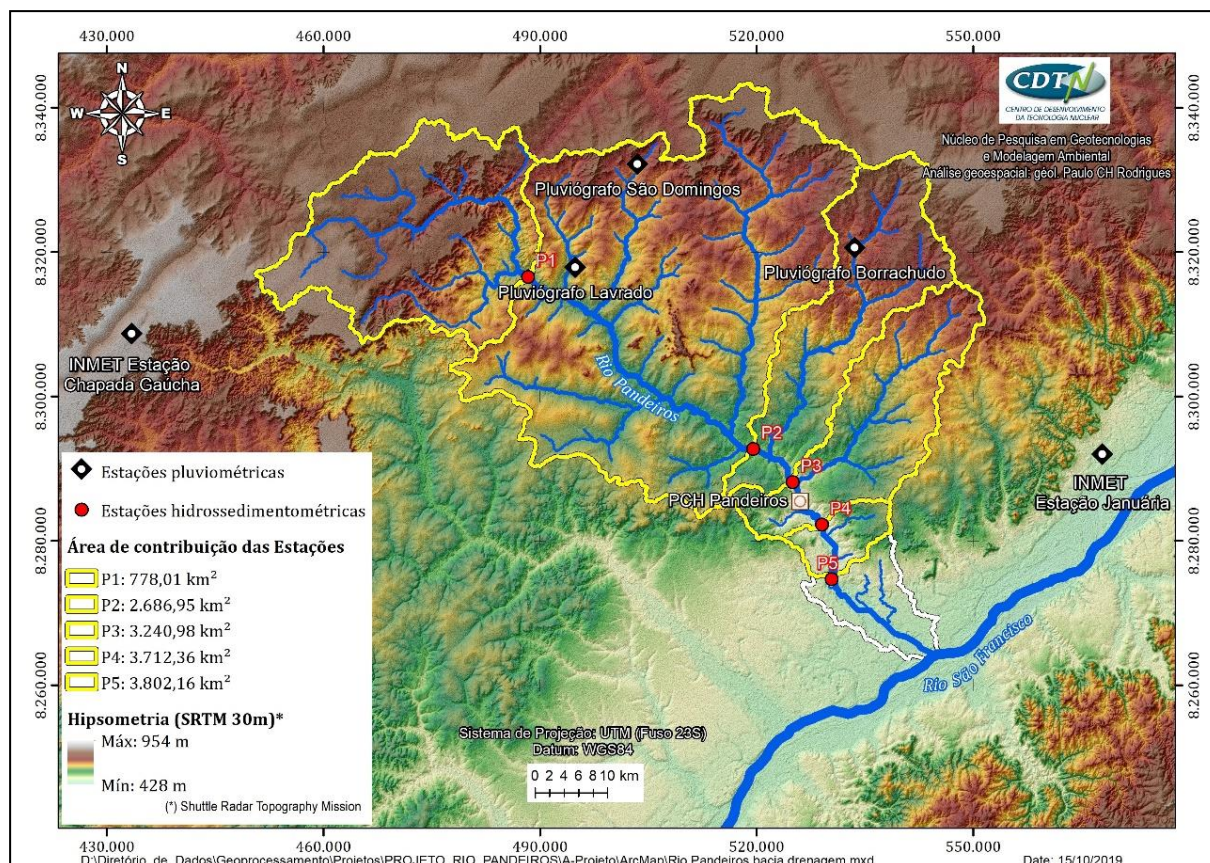


Figura 22. Mapa hipsométrico com sub-bacias de captação das estações hidrossedimentométricas e pluviômetros na Bacia do Rio Pandeiros, MG.

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 (MEDEIROS *et al.*, 2011; PETTS, 1983; CARVALHO, 2008), cuja medida adotada é em massa por área, por unidade de tempo ($t/km^2/ano$). A carga sedimentar total e a produção específica da Bacia do Rio Pandeiros podem ser observadas na Tabela 6, onde são apresentadas por estação e por ano hidrológico. Mais uma vez pode-se evidenciar a produção ocorrida no segundo ano hidrológico.

Tabela 6. 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)			
		11/16 a 10/17	11/17 a 10/18	11/18 a 10/19	11/16 a 10/17	11/17 a 10/18	11/18 a 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

A área de contribuição da estação P1 tem aproximadamente 778 km² e, devido à proximidade com a borda da bacia, é a estação que possui as vertentes mais íngremes. Aplicando a ferramenta “Terrain profile” no software QGIS 3.10 obteve-se a declividade máxima de 80 m/km da seção de medição da estação P1 até a chapada alta mais próxima (QGIS Development Team., 2019). Esta declividade é 29 vezes maior que a maior declividade nos trechos do Rio Pandeiros entre as estações hidrossedimentométricas, que é de 2,76 m/km, entre as estações P3 e P4 (Tabela 2 e Figura 2). Daí depreende-se o alto potencial nos processos erosivos de encosta e do canal fluvial na região da bacia à montante da Estação P1. Em concomitância, existem mais de duas centenas de voçorocas na sua área de contribuição (LIMA, 2019). Por causa destas características é que se registrou a maior descarga específica em relação às outras estações: 1.490,74 t/km²/ano no segundo ano hidrológico, período de novembro de 2017 a outubro de 2018 (Tabela 6).

5. Aspectos hídricos da Bacia do Rio Pandeiros

A Bacia do Rio Pandeiros é de grande importância para o Médio Rio São Francisco, tanto nos aspectos hídricos como nos que tangem à ictiofauna. As transformações ocorridas no uso e ocupação do solo, sobretudo as das últimas décadas, têm gerado sérios problemas ambientais que estão causando escassez hídrica e aumento na produção de sedimento.

Na sequência deste capítulo são descritos, sucintamente, os principais eventos que marcaram a história dos últimos 63 anos, dentre os quais, a construção de um aproveitamento hidrelétrico, questões operacionais de geração e a criação de unidades de conservação, para a manutenção e preservação ambiental da área em questão.

Uma das mais significativas interferências antrópicas na Bacia do Rio Pandeiros ocorreu nos fins da década de 50, quando houve a implantação, em 1957, de um empreendimento hidrelétrico, que passou a regularizar as vazões naturais e, conseqüentemente, propiciar alteração no regime fluvial do Rio Pandeiros.

Este aproveitamento, denominado PCH Pandeiros, drena uma área de 3.634 km² (Figura 23) e foi idealizado no programa de desenvolvimento socioeconômico da Bacia do Rio São Francisco pela Comissão de Desenvolvimento do Vale do São Francisco – CODEVASF e teve, como principal propósito, eletrificar os municípios de Januária e São Francisco.

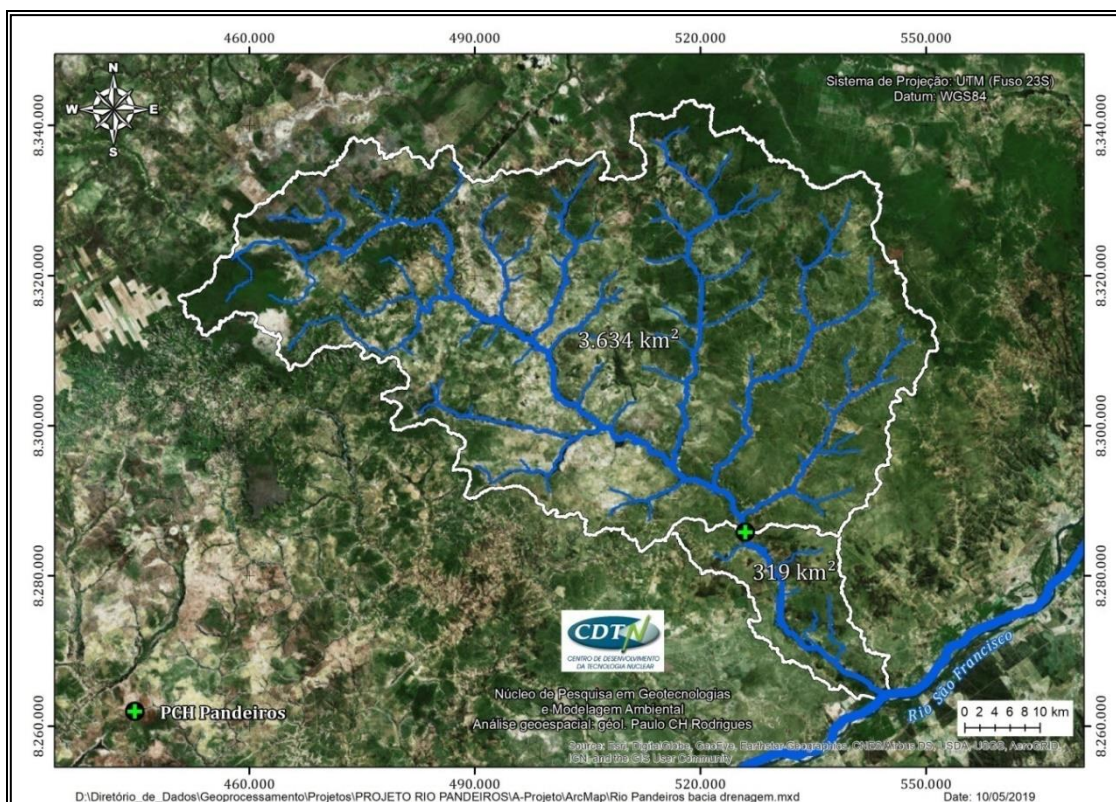


Figura 23. Posição da PCH Pandeiros e as áreas à montante e jusante na bacia de drenagem do Rio Pandeiros.

Em janeiro de 1995 a bacia hidrográfica do Rio Pandeiros (3.953 km²) tornou-se a maior unidade de conservação do Estado de Minas Gerais, abrangendo partes de três municípios: Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho, sendo declarada Área de Proteção Ambiental do Rio Pandeiros – APA Pandeiros.

5.1 Aspectos da PCH Pandeiros

O fenômeno da escassez hídrica na Bacia do Rio Pandeiros, bem evidente pelo gráfico da Figura 13, vinha dificultando a obtenção da reserva de deflúvio e, conseqüentemente, a geração da energia na ponta. Este fato, aliado a uma operação do reservatório para garantir reserva de deflúvio, provocou uma diminuição brusca da vazão defluente, causando um impacto desastroso na ictiofauna. Em consequência disto a PCH teve a sua geração suspensa em agosto de 2008 (FONSECA *et al.*, 2008).

A operação da PCH Pandeiros tornou-se inviável após a recusa do órgão ambiental em renovar o licenciamento. Sendo assim, a CEMIG apresentou o pedido de extinção em 2008 e em julho de 2015 a Agência Nacional de Energia Elétrica – Aneel recomendou a extinção da concessão ao então Ministério de Minas e Energia – MME (MONTENEGRO, 2015).

Tendo em vista a desativação da usina e a paralisação da operação esporádica de descarga de fundo, verificou-se um progressivo assoreamento do reservatório, diminuindo a sua capacidade de armazenamento a qual, na atualidade, é praticamente inexistente.

Para entender os processos envolvidos e que provocaram o impacto na ictiofauna do Pantanal Mineiro é importante conhecer detalhes do projeto e da operação da PCH Pandeiros, além do histórico do regime fluvial, que será abordado no item seguinte.

Os dados numéricos citados neste item, envolvendo o empreendimento, foram extraídos do “Relatório de Controle Ambiental – RCA, elaborado pela CEMIG em 2004 para fins de obtenção do Licenciamento Corretivo de Operação” (FONSECA *et al.*, 2008).

O projeto da pequena central hidrelétrica – PCH foi idealizado aproveitando um desnível ou corredeira entre as bacias do médio e baixo Rio Pandeiros, antes da região alagadiça, com a projeção de barramento, reservatório de regularização, tomada d’água, canal de adução, câmara de carga, tubulação forçada e casa de força.

A casa de força foi projetada para abrigar três unidades de geração, sendo que cada unidade dimensionada para uma vazão de engolimento de 12,50 m³/s, que representa pouco mais de 50% da vazão média de longo termo (23,55 m³/s).

Na sequência pode-se destacar, também, a formação do reservatório que vem possibilitando a retenção de uma parte significativa da produção de sedimento, evitando a deposição e o assoreamento excessivo na área plana e alagadiça do Pantanal Mineiro e o comprometimento do maior importante berçário da área de reprodução do Médio Rio São Francisco.

O reservatório, além de reter parte da carga de sedimento no denominado volume morto, teve também o papel de regularizar parte do deflúvio afluente diário em benefício da geração da energia de ponta.

Este tipo de energia utiliza o deflúvio armazenado durante parte do dia, no horário denominado “fora de ponta”, para utilizá-lo na maximização da geração de energia durante o período de “ponta”, entre 18:00 e 21:00 horas.

Dependendo dos procedimentos adotados neste armazenamento do deflúvio afluente diário, sobretudo nos períodos de estiagem, podem ocorrer problemas na defluência que alimentará o

alagadiço de jusante, o Pantanal do Rio Pandeiros, prejudicando sobretudo a manutenção da ictiofauna, como já mencionado.

Outra operação que regularmente é efetuada consiste no desassoreamento de trecho do reservatório, próximo à barragem. Este processo consiste na abertura de comporta de fundo permitindo a expurga de parte do sedimento depositado nas proximidades da tomada d'água.

Voltando ao procedimento de armazenamento do deflúvio afluente diário, cabe observar que durante todo ano devem ser observadas e mantidas constantes duas vazões defluentes, sobretudo durante o horário “fora de ponta”, quando se maximiza a reservação de deflúvio. A primeira de 0,50 m³/s deve ser liberada entre a barragem e a casa de força, denominada vazão ecológica, e a segunda de no mínimo 5,60 m³/s liberada à jusante da casa de força, devendo ser superior a 80% da mínima mensal natural.

A implantação da PCH Pandeiros passa a afetar o regime natural do rio homônimo de duas formas, ou seja, na regularização e no amortecimento das vazões afluentes, ambos processos acontecem na passagem pelo reservatório.

Estes processos estão atualmente minimizados, devido à paralização da geração e o estado avançado de assoreamento do reservatório, que condiciona a passagem de boa parte das vazões, em um estreito canal criado no reservatório (Figura 32).

Desta forma, o reservatório só funciona no processo de amortecimento para eventos de certa magnitude no período das cheias; no resto das afluições o escoamento se dá no canal formado entre as partes assoreadas.

Assim 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 espalha para as várzeas das margens (Figura 32), transportando lateralmente sedimento que se deposita nestas zonas laterais. Isto é demonstrado, quantitativamente, na Figura 21, onde a diminuição do transporte de sedimentos entre P3 e P4 ocorreu apenas para o semestre mais chuvoso de nov/17 a abr/18.

Na situação atual, a área do reservatório ainda retém parte do sedimento transportado durante o ano. Entretanto, cabe ressaltar que a ideia do descomissionamento do barramento poderá acarretar num deslocamento expressivo de todo o material depositado, durante os últimos 63 anos, neste platô formado pelo paramento da barragem.

Além deste deslocamento haveria a contribuição natural de toda carga sedimentar produzida anualmente na bacia, que fatalmente seria depositada no Baixo Rio Pandeiros, região propícia à deposição devido às suas condições morfológicas.

Este cenário poderia ser desastroso para a manutenção do berçário e a ictiofauna local, no Pantanal do Rio Pandeiros.

5.2 Disponibilidade hídrica na Bacia do Rio Pandeiros

As condições hídricas na APA Pandeiros já apresentavam paulatinamente sinais de exaustão, notadamente nas nascentes dos afluentes do curso principal e no histórico decaimento da produção de energia.

Embora fosse visível o avanço das condições de escassez hídrica, a tentativa de quantificar este fenômeno era inviável, tendo em vista a inexistência de estações de monitoramento de parâmetros hídricos, espacialmente distribuídas, capazes de subsidiar análises de diagnóstico e prognósticos nas áreas em questão. Além disso, não existia nenhuma estação de monitoramento sedimentométrico.

Na Bacia do Rio Pandeiros, o único ponto capaz de avaliar o comportamento temporal das ocorrências hídricas está localizado à montante da PCH Pandeiros, a estação hidrométrica Usina Pandeiros – Montante, com o código 44250000, operada entre 1973 e 2019 e, atualmente, sob responsabilidade da Agência Nacional de Águas – ANA. Esta estação apresenta um consistente histórico de vazões, possibilitando visualizar uma sequência temporal de mais de quatro décadas.

Esta contemplação temporal junto com a cobertura espacial, formam uma dupla de fatores fundamentais na análise da disponibilidade hídrica de uma região (UYMURA *et al.*, 1985). Pensando na distribuição espacial, o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN analisou, planejou e implantou uma rede de estações hidrométricas, composta de quatro estações hidrossedimentométricas e três unidades pluviográficas distribuídas ao longo da bacia hidrográfica, conforme se mostra na Figura 1, cujas coordenadas e altitudes, são mostradas na Tabela 1. O CDTN, operou também a estação Usina Pandeiros – Montante, já existente, entre 2016 e 2019, para medição de parâmetros hídricos e sedimentométricos, com a denominação de Estação P3, de forma a se ter uma denominação coerente com as das quatro estações hidrossedimentométricas implantadas no âmbito do presente projeto.

O monitoramento hidrossedimentométrico dessa rede de estações possibilitou a ampliação da análise espacial do comportamento do regime fluvial no Rio Pandeiros, entre outubro de 2016 a novembro de 2019, abrangendo um período de três ciclos hidrológicos consecutivos.

Durante este período, após a implantação das estações hidrossedimentométricas (Figura 1), foram efetuadas exaustivas campanhas de campo (Figura 3) para efetuar medições de descargas líquida e sólida, coleta das informações monitoradas no sistema automático de armazenamento, além das atividades concernentes à manutenção da estrutura instalada.

Estas informações monitoradas e medidas passaram por tratamento de consistência resultando em curvas-chave de descargas líquida e sólida, séries contínuas de vazões com intervalos de tempo distintos que vão de poucos minutos à médias diária e mensal.

Na Tabela 7 são apresentadas as séries de vazões médias mensais das 5 estações monitoradas no período entre outubro/2016 a novembro/2019. Os valores característicos das séries, tais como vazão média de longo termo (Q_{MLT}) e vazão específica de longo termo (q_{MLT}), permitem avaliar a distribuição espacial das contribuições hídricas ao longo do Rio Pandeiros e as variações temporais, demarcando o ano hidrológico regional.

Tabela 7. Séries de vazões médias mensais das estações hidrométricas.

Estação	P1	P2	P3	P4	P5
out/16	1,68	5,64	6,62	6,49	6,28
nov/16	3,05	8,13	9,55	9,89	9,40
dez/16	3,36	8,36	10,22	10,58	10,30
jan/17	2,42	6,36	7,26	7,20	7,22
fev/17	3,66	9,88	10,92	11,41	11,06
mar/17	2,64	7,00	7,97	7,77	7,95
abr/17	2,25	6,69	7,84	7,39	7,45
mai/17	2,31	6,23	6,85	6,87	6,84
jun/17	2,08	5,88	6,22	6,45	6,40
jul/17	1,90	5,84	6,12	6,37	6,30
ago/17	1,87	5,60	5,80	6,07	6,03
set/17	1,86	5,40	5,44	5,76	5,74
out/17	1,83	5,19	5,22	5,43	5,44
nov/17	3,86	9,40	10,00	10,59	10,11
dez/17	3,96	13,18	15,56	16,10	16,48
jan/18	3,57	11,92	13,32	13,29	13,41
fev/18	4,46	16,32	27,31	25,00	26,40
mar/18	2,85	12,73	13,96	14,33	13,84
abr/18	2,25	10,01	12,35	11,61	11,53
mai/18	1,46	6,08	8,36	7,60	8,17
jun/18	1,33	5,56	7,78	6,99	7,63
jul/18	1,24	5,25	7,30	6,58	6,55
ago/18	1,22	4,93	6,96	6,18	6,13
set/18	1,17	4,58	6,36	5,76	5,70
out/18	1,45	4,57	6,16	5,88	5,83
nov/18	3,38	11,10	13,73	14,97	15,16
dez/18	2,66	9,38	12,05	12,92	13,06
jan/19	2,57	9,98	10,14	10,88	10,98
fev/19	3,99	11,13	11,36	11,67	11,92
mar/19	4,02	12,65	13,36	13,89	13,89
abr/19	2,91	11,21	11,62	12,68	12,92
mai/19	2,51	8,60	8,33	9,29	9,30
jun/19	2,36	7,77	7,30	8,22	8,32
jul/19	2,24	7,50	7,04	7,92	8,02
ago/19	2,09	7,09	6,59	7,37	7,58
set/19	1,89	6,44	5,78	6,49	7,01
out/19	2,00	6,89	6,17	6,92	7,44
nov/19	2,45	8,15	6,66	7,37	7,82
Q_{MLT} (m³/s)	2,49	8,12	9,25	9,43	9,52
q_{MLT} (l/s/km²)	3,21	3,02	2,85	2,54	2,50

No gráfico da Figura 24 são apresentados os hidrogramas provenientes das séries das cinco estações. Observa-se que na análise de continuidade das vazões afluentes ao reservatório, Estação P3, ocorre uma pequena sobre-elevação na cheia de fevereiro de 2018, com relação às estações P4 e P5. Este processo pode ter sido ocasionado pelo amortecimento das vazões na passagem pelo reservatório.

A evolução do assoreamento no reservatório propiciou a formação de um canal margeado por várzeas (Figura 32) que, desta forma, atualmente, ameniza o processo de regularização das vazões durante boa parte do ano, com exceção do período das cheias, quando o escoamento se espraia para as várzeas das margens.

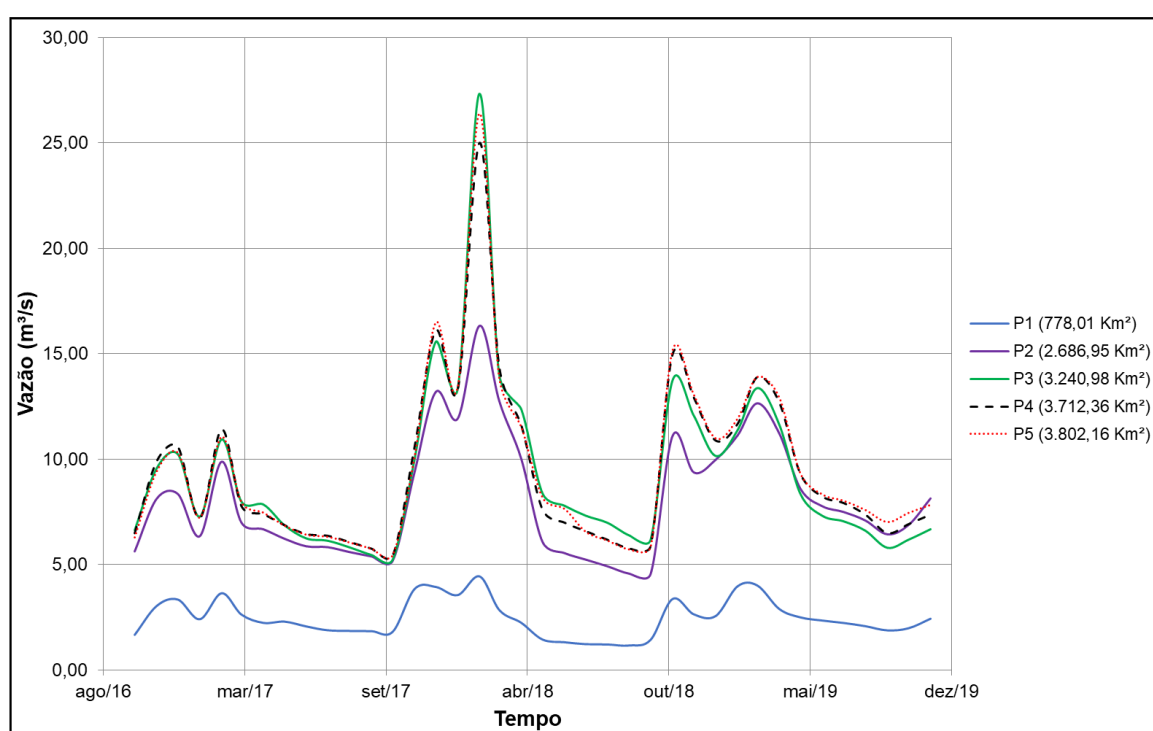


Figura 24. Hidrograma das vazões médias mensais das estações.

Aliando a esta questão cabe comentar que, com a paralização da operação da geração da energia de ponta, não ocorreu mais o processo da depleção do reservatório. O escoamento voltou a ter um regime próximo do natural fluindo no canal formado, sem influência da regularização, e o vertedor passou a atuar como uma cachoeira (Figura 25), semelhantemente a outras cachoeiras naturalmente existentes à jusante, como a cachoeira (Figura 26) que se situa próximo à casa de força da PCH (Figura 27).



Figura 25. Vista longitudinal do vertedor da PCH Pandeiros funcionando como uma cachoeira



Figura 26. Cachoeira existente à jusante, próximo à Casa de Força da PCH Pandeiros.



Figura 27. PCH Pandeiros e cachoeira existente à jusante, próximo à Casa de Força da PCH.

Demonstrando as flutuações do comportamento temporal anual, a Figura 28 apresenta os valores característicos das vazões médias mensais detectadas na estação Usina Pandeiros Montante (Estação P3) obtidos pelo CDTN, no período de outubro/2016 a novembro/2019.

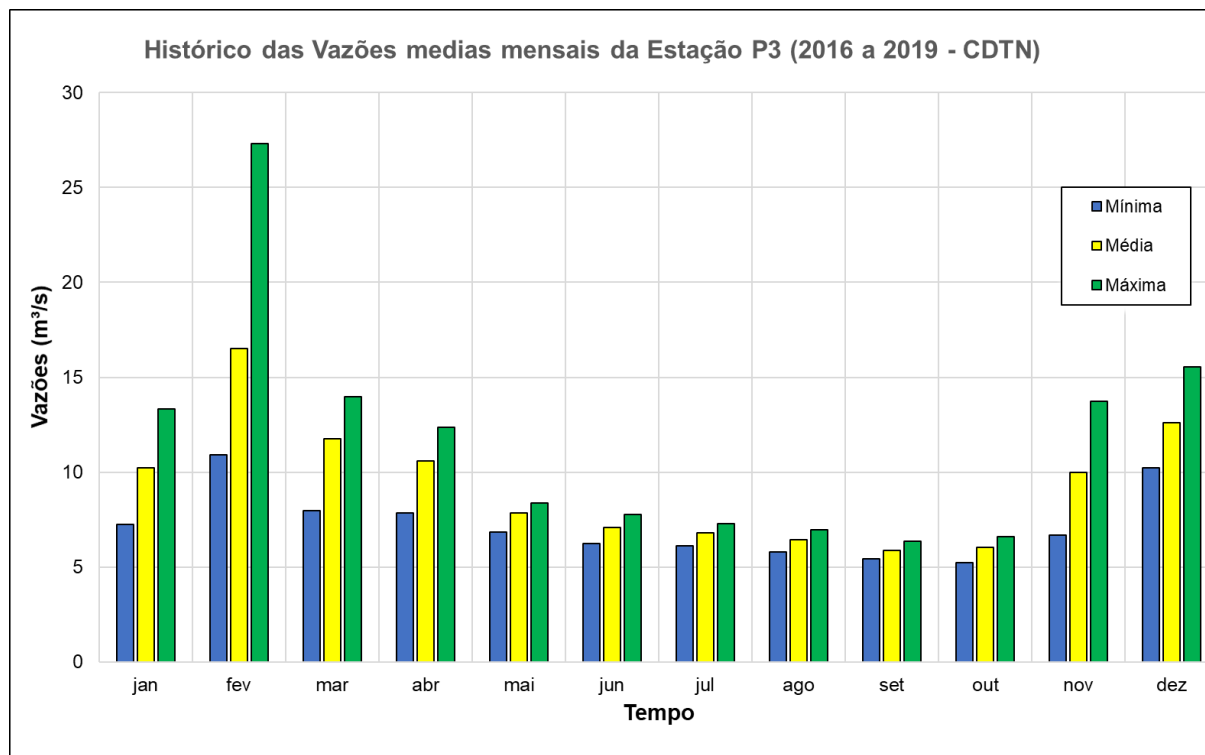


Figura 28. Histórico das vazões medias mensais da Estação P3 - CDTN (2016 a 2019).

Para a análise da distribuição espacial das disponibilidades hídricas da APA Pandeiros pode-se observar, na Figura 29, a tendência do alinhamento decrescente das vazões médias específicas referentes às estações monitoradas pelo CDTN, com exceção da Estação P1, que aparece abaixo da tendência ajustada.

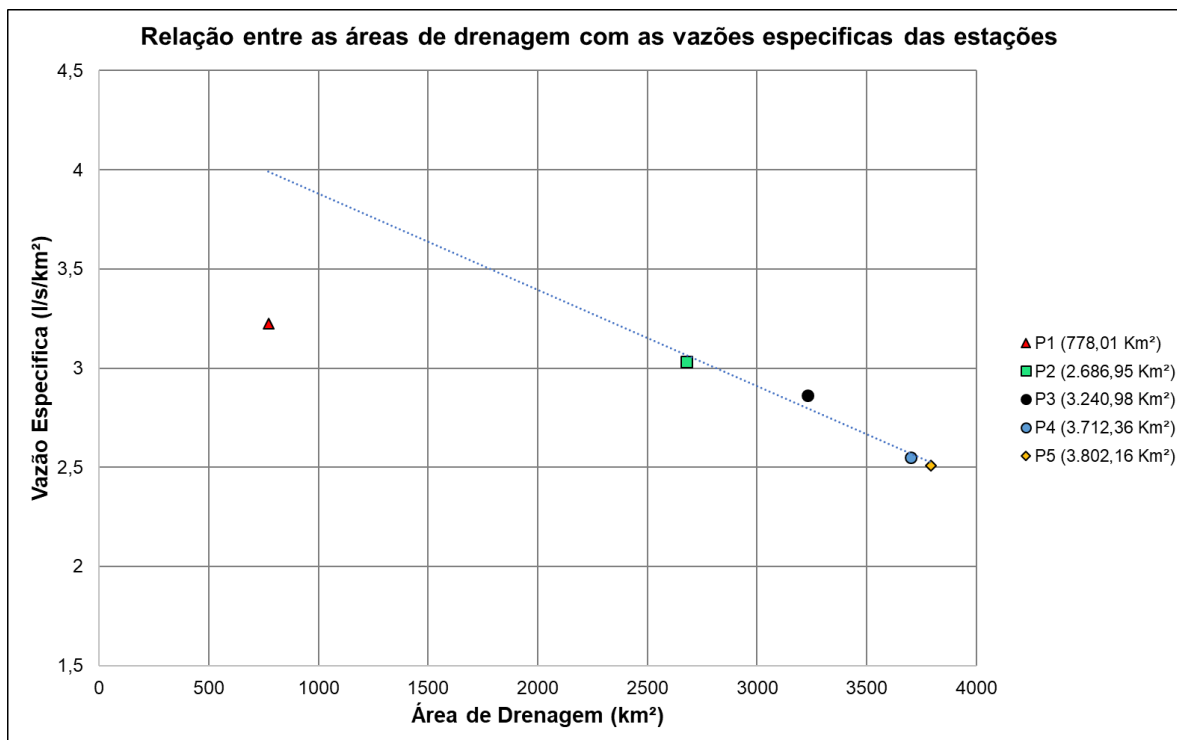


Figura 29. Relação entre as áreas de drenagem com as vazões específicas das estações.

O resultado referente ao não alinhamento da Estação P1, tendo em conta as demais, pode estar relacionado a um uso excessivo das disponibilidades hídricas no Alto Rio Pandeiros ou, também, pode indicar outra tendência de comportamento hídrico da área, tendo em conta que as demais estações estão respondendo e indicando um comportamento hídrico homogêneo.

A visualização temporal da tendência do regime fluviométrico na Bacia do Rio Pandeiros foi apresentada na Figura 13 através dos hidrogramas das vazões monitoradas nas estações hidrossedimentométricas: ANA, código 40250000, entre 1974 a 2019, e CDTN, código P3, entre 2016 a 2019.

A flutuação temporal da disponibilidade hídrica mostra claramente uma tendência decrescente a partir dos anos noventa, e quando se compara a média das vazões médias de longo termo de todo o período, observa-se uma diminuição expressiva, como já mencionado.

Estes aspectos mostram que embora se tenha levantado um acervo importante do comportamento quantitativo das vazões, tanto ao nível temporal como no espacial, todavia, faltam interações com outras disciplinas para um melhor entendimento do comportamento hídrico da área em questão. Fica o questionamento do “*porque*” esta tendência de diminuição das disponibilidades hídricas na Bacia do Rio Pandeiros, sobretudo nas últimas décadas.

6. A importância da PCH Pandeiros para a diminuição do assoreamento do Pantanal Mineiro e para o armazenamento de água nos períodos de seca

A barragem e o reservatório da PCH Pandeiros ocupam uma posição estratégica na bacia (Figura 23). A área à montante da PCH (3.634 km²), onde está localizada a maioria das 215 voçorocas identificadas, representa 91,93 % da área total da bacia (3.953 km²). Além disso, como já mencionado, a PCH está localizada entre as estações P3 e P4, cuja distância entre si, ao longo do rio, é de 12,43 km. Se não existisse a barragem e o reservatório da PCH Pandeiros, a declividade neste trecho do rio seria de 2,76 m/km (Tabela 1 e Figura 2), fator que faria o transporte de sedimentos aumentar. No entanto, a presença da PCH proporciona uma região de remanso, com cerca de 2 km de extensão ao longo do rio, de baixíssima declividade, que promove uma atenuação da velocidade do escoamento e, conseqüentemente, do transporte de sedimentos.

Como já mencionado o reservatório, no estágio atual de assoreamento, ainda pode propiciar uma regularização relativa do escoamento no período das cheias, quando este se espraia para as várzeas das margens (Figura 32), transportando lateralmente sedimento que se deposita nestas zonas laterais.

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 à montante e a barragem). Caso seja feita uma abertura controlada da comporta de fundo, e esta permaneça por um longo tempo, o escoamento no fundo, associado à carga hidráulica na região da comporta, provocará uma erosão paulatina para montante da areia depositada, e também a declividade da linha de energia do escoamento aumentará, acarretando maior transporte de sedimentos 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 figuras 30 e 31, para a PCH de Paciência, no Rio Paraibuna, no Município de Matias Barbosa, MG (BANDEIRA *et al.*, 2011a; BANDEIRA *et al.*, 2011b; BANDEIRA *et al.*, 2012a; BANDEIRA *et al.*, 2012b; BANDEIRA *et al.*, 2013).



Figura 30. Vista para montante da barragem da PCH de Paciência, em descarga de fundo.



Figura 31. Vista lateral da barragem da PCH de Paciência, em descarga de fundo.

Pode-se valer da presença da PCH, para atenuar ainda mais o transporte de sedimentos para jusante, abrangendo os períodos de maior pluviosidade, como o ocorrido entre nov./17 e abr./18, 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 m^3) que foi calculado para a Estação P3, no período mais chuvoso: nov./17 a abr./18 (Figura 21), ou seja: da ordem 26.000 m^3 . O volume dragado funcionará como uma “armadilha de areia”, que poderá ser preparada antes de cada estação chuvosa.

O material de fundo no reservatório é, em sua grande maioria, (95 %) areia média de granulometria aproximada: $D_{50} = 0,3 \text{ mm}$ (Figura 32). O material fino, com $D < 0,063 \text{ mm}$, que transporta nutrientes e matéria orgânica, por sorção, praticamente não fica retido no reservatório.



Figura 32. Reservatório da PCH Pandeiros, pontos amostragem de sedimento de fundo em 30/04 e 01/05/2019.

As 215 voçorocas identificadas no projeto: “SUSTENTABILIDADE DA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros” (LIMA, 2019), necessitam de providências para serem estabilizadas, com a finalidade de minimizar a produção

e o transporte de sedimentos, com vistas a atenuar o assoreamento do Pantanal do Rio Pandeiros.

Esta constatação, levantada com os trabalhos do Projeto Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros, 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 sedimento ao pantanal, situado na região da foz do Rio Pandeiros.

Assim, qualquer estudo visando um possível descomissionamento da PCH, 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 (figuras 30 e 31), do sedimento depositado na região do reservatório, desde a construção da usina.

Tendo em vista a diminuição das vazões na Bacia do Rio Pandeiros, a partir do início da década de 90, anteriormente abordada (Figura 13), o reservatório da PCH, com a dragagem proposta 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.

7. Conclusões e considerações finais

Os estudos multidisciplinares lançaram luz a muitos questionamentos, atendendo itens do Edital 13/2014, e enunciado como objetivo específico do Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros, em sua Linha Temática 1 – Dinâmica de vertentes da Bacia do Rio Pandeiros, no edital 13/2014:

“Desenvolver apresentar e/ou implementar na região da Bacia do Rio Pandeiros tecnologias que visem à sua preservação, conservação, recuperação e ao desenvolvimento sustentável da região”.

Iniciando-se pelos aspectos hídricos da bacia, uma análise do histórico de vazões medidas na Estação Usina Pandeiros Montante – ANA, no intervalo de 46 anos (1973 a 2019), aponta que a média das vazões médias mensais foi de 20,60 m³/s (Figura 13). 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 no local, esta média foi de

9,14 m³/s, ou seja: apenas 44,28 % do valor correspondente ao período completo de operação da estação. Fica o questionamento do “*porque*” esta tendência de diminuição das disponibilidades hídricas na Bacia do Rio Pandeiros, sobretudo nas últimas décadas. Sugere-se estudos para tentar entender a diminuição de vazões e atuar para uma possível mitigação.

Outro aspecto hídrico se refere à análise da distribuição espacial das disponibilidades hídricas da APA Pandeiros. Pode-se observar, na Figura 29, a tendência do alinhamento decrescente das vazões médias específicas referentes às estações monitoradas pelo CDTN, com exceção da Estação P1, que aparece abaixo da tendência ajustada. Isto pode estar relacionado a um uso excessivo das disponibilidades hídricas no Alto Rio Pandeiros ou, também, pode indicar outra tendência de comportamento hídrico da área. Recomenda-se, também, estudos para tentar esclarecer esta questão importante na gestão da água na Bacia do Rio Pandeiros.

Atendendo a uma das solicitações do Edital do Projeto, que é a identificação da origem do processo de assoreamento do pantanal do Rio Pandeiros, chegou-se às seguintes conclusões:

- O processo de assoreamento decorre da alta produção de sedimento das cerca de 215 voçorocas identificadas, sendo a maioria delas localizada nas encostas da Serra do Gibão, a montante da PCH de Pandeiros, bem como 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 do Rio Pandeiros faz parte de um processo sedimentar cuja dinâmica ocorre a milhares de anos, sendo um processo dinâmico com interação, inclusive, com o regime do Rio São Francisco, como estudado no Subprojeto 1a, parte do presente projeto, a cargo do IGC/UFMG (AUGUSTIN *et al.*, 2020);
- A quantidade máxima de sedimento que passa na Estação P3, a primeira logo à montante da PCH, quantificada até o presente no período chuvoso (nov./17 a abr./18), é de 173.725 t. Isto corresponde a um volume aproximado de 78.668 m³ (Figura 21), constituído sobretudo de areia média (Figura 32).

Consideramos a utilização do reservatório da PCH Pandeiros, através de dragagem da região logo a montante da barragem, como a única opção efetiva para a minimização, urgente e imediata, do aporte de sedimento ao Pantanal do Rio Pandeiros, enquanto medidas corretivas

são implementadas na região de montante, a qual representa 91,93 % da área total de drenagem da bacia (Figura 23).

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, no período mais intenso do transporte de sedimentos, o período chuvoso, enquanto as medidas corretivas são implementadas. Considera-se uma primeira dragagem experimental de cerca de 26.000 m³, como explicado anteriormente. A areia dragada poderá ser, inclusive, 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, sendo uma particularidade especial e única na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, o qual é responsável por uma parte considerável da reprodução da ictiofauna do Rio Pandeiros quanto do Médio São Francisco (NUNES *et al.*, 2009). Assim, os estudos multidisciplinares que abrangem a totalidade da bacia, conduzidos na linha temática “Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros”, 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.

Em paralelo, foram também desenvolvidos, no âmbito do presente projeto, como já mencionado, vários estudos pelo IGC/UFMG em toda a bacia (AUGUSTIN *et al.*, 2020; JARDIM *et al.*, 2020; COSTA *et al.*, 2020). Ressaltam-se aqueles na região do Pantanal e os estudos voltados para a análise dos elementos do meio biofísico da bacia associados ao desenvolvimento das voçorocas, bem como à alteração do uso e ocupação da terra. Todos os temas abordados nos estudos têm um papel importante na geração, transporte e deposição de sedimento nas vertentes, e ao longo dos canais do sistema fluvial. Ressalta-se também que a disponibilização de água para a geração do fluxo fluvial (vazão), bem como o tipo e intensidade dos processos acima mencionados, além de depender de elementos climáticos, são fortemente influenciados pelas características do relevo local e regional e dos seus atributos, incluindo as geocoberturas.

Esses estudos são, portanto, essenciais para que, junto com os resultados obtidos pelo CDTN e o IFNMG-Campus Januária, descritos no presente relatório, e os outros projetos: “Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros”, seja possível traçar diretrizes bem fundamentadas para um manejo adequado da região da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros.

Em resumo, recomenda-se o manuseio do reservatório da PCH Pandeiros como forma de contenção de parte do sedimento que atingiria o pantanal, enquanto se faz as intervenções nas voçorocas para diminuir a produção de sedimento. A eficiência das intervenções na região da maioria das voçorocas poderá ser monitorada com o resultado de medições hidrossedimentométricas concomitantes na Estação P1. Recomenda-se, então, a continuidade das medições hidrossedimentométricas, na obtenção de dados de vazão e transporte de sedimentos, parâmetros estes norteadores das futuras intervenções na bacia.

O gerenciamento da dragagem da PCH, com a finalidade de se criar uma armadilha de areia para conter parte do sedimento transportado no período chuvoso, envolverá o levantamento batimétrico antes da dragagem, que deverá ser realizada antes do período chuvoso, bem como logo após este, e a comparação entre os dois levantamentos, para avaliar os quantitativos do sedimento depositado. Paralelamente a isto deverão ser mantidas as medições hidrossedimentométricas efetuadas no presente projeto, pelo menos nas estações:

- Estação P1: para o monitoramento da carga sedimentar oriunda da região da maioria das voçorocas, durante o processo de contenção das mesmas, para avaliação da sua efetividade;
- Estação P3 para quantificar o transporte de sedimentos que chega ao reservatório e a porcentagem desse transporte retida na armadilha criada pela dragagem;
- Estação P5 para quantificar, ao longo do tempo, a carga de sedimento que chega ao pantanal, provocando o seu assoreamento.

Essa quantificação é extremamente importante como meio verificador do resultado de todas as ações que forem desenvolvidas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, avaliando a sua eficácia na minimização do transporte do sedimento que assoreia o Pantanal Mineiro.

Bibliografia

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA), 2012. **Orientações para Consistência de Dados Fluviométricos**. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica – SGH. Brasília-DF, julho, 2012.

AUGUSTIN C. H. R. R.; FONSECA, B. M.; OLIVEIRA, D. A.; LIMA, A. C. P.; ARANHA, P. R. A.; FRANCO, G. G. 2020. **Subprojeto 1a: Identificação e análise dos processos erosivos e de seus fatores causais nas zonas de cabeceira, de voçorocamento e nas zonas de assoreamento da bacia do Rio Pandeiros, MG e possíveis contenções. – Relatório Final**. Projeto FAPEMIG APQ-03773-14 Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros - MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; JUNQUEIRA, M. V. (2011a). **Batimetria e Coleta de Dados Amostrais**. Relatório Técnico 3 (CDTN e CETEC) – Ano 1. Projeto GT-198 CEMIG/CDTN/CETEC: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante do reservatório da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, Brasil, 08 de julho de 2011.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; JUNQUEIRA, M. V. (2011b). **Levantamentos batimétricos e análises biológicas bentônicas e físico-químicas da água**. Relatório Técnico 5 (CDTN e CETEC) – Ano 1. Projeto GT-198 CEMIG/CDTN/CETEC: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante do reservatório da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, Brasil, 25 de outubro de 2011.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; JUNQUEIRA, M. V. (2012a). **Relatório parcial das atividades desenvolvidas no 1º Ano pelo CDTN e CETEC, e resultados complementares**. Relatório Técnico 1 (CDTN e CETEC) – Ano 2. Projeto GT-198 CEMIG/CDTN/CETEC: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante do reservatório da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, Brasil, 12 de janeiro de 2012.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; FERREIRA, V. V. M.; JUNQUEIRA, M. V.; BARBOSA, G. H. S. P. C.; CARVALHO, M. D.; MOTA, H. R. (2012b). **Assoreamento de reservatórios, descargas de fundo e avaliação de impactos ambientais: caso estudo da PCH de Paciência, rio Paraibuna, MG**. X Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos (X ENES), 03-07 dezembro 2012. Foz do Iguaçu-PR, Brasil. CD-ROM.

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; JUNQUEIRA, M. V.; BARBOSA, G. H. S. P. C. (2013). **“Relatório Final consistindo todos os trabalhos efetuados no projeto”**. (CDTN e CETEC) – Ano 2. Projeto GT-198 CEMIG/CDTN/CETEC: Avaliação ambiental do rio Paraibuna a jusante do reservatório da PCH de Paciência, após as descargas de fundo. Belo Horizonte, Brasil, 06 de fevereiro de 2013.

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. 2018. **Estudos Hidrossedimentológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, MG, em um Contexto Multidisciplinar**. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas nas Américas. *Anais...* Vitória: ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018. (Obs: Incluído como Anexo I ao presente relatório)

BETHONICO, M. B. D. M. 2009. **RIO PANDEIROS: território e história de uma área de proteção ambiental no norte de Minas Gerais**. *Revista ACTA Geográfica*, p. 23–38, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrr.br/revista/index.php/actageo/article/view/214>>.

BORDAS, M.; SEMMELMANN, F. 2009. Elementos de engenharia de sedimentos. In: TUCCI, C. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4ª ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2009. p. 915–943.

CARVALHO, N. O. 2008. Hidrossedimentologia Prática – 2ª Edição Revista e ampliada, Editora Interciência, 2008. ISBN: 9788571931817.

COSTA, A. M.; RIBEIRO, A. H. N.; CARVALHO, D. C. F.; SALIS, H. H. C.; VIANA, J. H. M.; MOURA, M.; TENENWURCEL, M. A.; MOTA, P. K.; SILVA, V. C. 2020. **Subprojeto 1c: Uso e Ocupação dos Solos na Bacia do Rio Pandeiros – Relatório Final**. Projeto FAPEMIG APQ-03773-14 Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros - MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros.

FONSECA, E. M. B.; GROSSI, W. R.; FIORINE, R. A.; PRADO, N. J. S. 2008. **PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional**. VI Simpósio Brasileiro Sobre Pequenas e Médias Centrais Hidrelétricas. Belo Horizonte - MG.

GEOTRACK. 2016. **Relatório Técnico de Determinação de Coordenadas e Altitudes de Marcos Geodésicos nas Estações Hidrossedimentométricas P1, P2, P4 e P5, ao Longo do Rio Pandeiros, MG**. Montes Claros, janeiro de 2016.

GEOTRACK. 2018. **Relatório Técnico de Determinação de Coordenadas e Altitudes de Marcos Geodésicos na Estação Hidrossedimentométrica P3, no Rio Pandeiros, MG**. Montes Claros, MG, abril de 2018.

JARDIM, C. H.; BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J. 2017. **Local Rainfall Variation in the Pandeiros River Basin**, VII SIC - Simpósio Internacional de Climatologia. Anais...Petrópolis, RJ: 2017.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P. 2018. **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, n. 0, 2018.

JARDIM, C. H.; BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J. 2019. **Variabilidade das chuvas e influência do relevo na bacia do rio Pandeiros, Januária-MG, no segmento temporal entre 2016-2019**. In: Simpósio Internacional de Climatologia - VIII SIC, 2019, Belém-PA. Anais.... São Paulo-SP: Sociedade Brasileira de Meteorologia SBMET, 2019. v. 1. p. 1-10.

JARDIM, C. H.; MOURA, F. P.; SILVA, M. R. 2020. **Subprojeto 1b: Diagnóstico Climático na Bacia do Rio Pandeiros – Relatório Final**. Projeto FAPEMIG APQ-03773-14 Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros - MG: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros.

LIMA, A. C. P. 2019. **Análise da Distribuição Espacial de Voçorocas em Domínio de Rochas Siliciclásticas: Bacia do Rio Pandeiros-MG**. [s.l.] UFMG - Universidade Federal de Minas Gerais, 2019.

LIMA, A. C. P.; AUGUSTIN, C. H. R. R.; OLIVEIRA, D. A. 2019. **Distribuição espacial de voçorocas e sua relação com o relevo em escala de bacia para fins de amostragem: rio Pandeiros-MG**. In: PINHEIRO, L. DE S.; GORAYEB, A. (Org.). Geografia Física e as Mudanças Globais. 1ed. Fortaleza-CE: Editora da Universidade Federal do Ceará, 2019, v. U, p. 512-524.

MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B.; SOUZA, W. F. L.; OLIVEIRA, E. N. 2011. 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, 4 jul. 2011. Disponível em: <<http://siaiweb06.univali.br/seer/index.php/bjast/article/view/1909>>.

MONTENEGRO, S. 2015. *Aneel recomenda ao MME extinção da concessão de PCH da Cemig*. Disponível em: <<https://www.canalenergia.com.br/noticias/4930993/aneel-recomenda-ao-mme-extincao-da-concessao-de-pch-da-cemig>>. Acesso em: 2 jun. 2020.

NADEN, P. S. 2009. The Fine-Sediment Cascade. In: **Sediment Cascades**. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2009. p. 271–305.

PETTS, G. E. 1983. **Rivers. - (Sources and methods in geography)**. 1. ed. Whitstable, Kent: Butterworth & Co Ltd, 1983.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. 2019. **QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project**, 2019. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org/>

ROCHA, R.; BARROS, J. M. C.; VIEIRA, R. 2012. **Contribuição ao Estudo do Empolamento de Solos**. Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica - COBRAMSEG 2012. Porto de Galinhas – PE.

UYMURA, K.; TUCCI, C.E.M.; CAMARGOS, C.C.; GARCIA, E.P.; MOTTA Jr, J.C.; COELHO, M.F.; BOSON, P.H. 1985. **Regionalização de Vazão para o Alto São Francisco**. VI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo – SP.

Anexos e trabalhos resultantes do desenvolvimento do Subprojeto 2

Anexo I – Publicação intitulada: “**Estudos Hidrossedimentológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, MG, em um Contexto Multidisciplinar**”, apresentada no XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas nas Américas. Anais...Vitória: ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Vitória, ES, 24 a 28 de setembro, 2018. (Pág. 52)

Anexo II – Resumo: **Estações Hidrossedimentométricas na bacia do Rio Pandeiros-MG** Patrícia Pós dos Reis; Cláudio Jose Chagas; Jefferson Vianna Bandeira., VII Simpósio de Ciências Agrárias do Norte de Minas Gerais (VII SCIAGRO), Januária, 2018. (Pág. 62)

Anexo III – Publicação intitulada: **Providências para inserção dos dados das estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros - MG no portal Hidroweb**. Patrícia Pós dos Reis; Jefferson Vianna Bandeira; Cláudio José Chagas. XIII Seminário Anual de Iniciação Científica do CDTN – SIAC, 2018. (Pág. 64)

Anexo IV – Publicação intitulada: “**Técnica de Análise Granulométrica Utilizada em Sedimentos do Rio Pandeiros, Januária, MG**”, resultante de Orientação de Iniciação Científica ao bolsista Gabriel Pires de França, dentro do Subprojeto 2, 2018. (Pág. 68)

Anexo V – Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: “**Contribuição de Sedimentos para Área do Pântano na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros**”, realizado pelo bolsista Gabriel Pires de França, graduando do IFNMG, 2019. (Pág. 72)

Anexos VI e VII – Dois relatórios técnicos relacionados ao georreferenciamento das estações hidrossedimentométricas: referências bibliográficas (GEOTRACK, 2016) e (GEOTRACK, 2018), se encontram nos arquivos: “*Geotrack 2016.pdf*” e “*Geotrack 2018.pdf*” carregados, juntamente com o presente documento, no Sistema Everest da FAPEMIG.

CHAGAS, C. J.; BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CAMARGOS, C. C.; FRANÇA, G. P.; SÁ, L. P. “**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**”, Revista MG-Biota, Número Especial (em submissão).

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L. H.; CHAGAS, C. J.; CAMARGOS, C. C.; FRANÇA, G. P.; SÁ, L. P. **Aspectos Hidráulicos e o Transporte de Sedimentos ao Longo do Rio Pandeiros, MG, até o Pantanal Mineiro, Junto à sua Foz**. XIV Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos, ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Campinas, SP, 22 a 25 de novembro, 2020 (aceito para apresentação).

Anexo I

Publicação intitulada: **“Estudos Hidrossedimentológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, MG, em um Contexto Multidisciplinar”**, apresentada no XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas nas Américas. Anais...Vitória: ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018.



ESTUDOS HIDROSEDIMENTOLÓGICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS, MG, EM UM CONTEXTO MULTIDISCIPLINAR.

Jefferson Vianna Bandeira¹; Lécio Hannas Salim²; Cláudio José Chagas³; Cláudio Costa Camargos⁴; Cristina Helena Ribeiro Rocha Augustin⁵; Carlos Henrique Jardim⁶; Paulo Roberto Antunes Aranha⁷; Adriana Monteiro da Costa⁸; Leonardo Passos Sá⁹; Gabriel Pires de França¹⁰

ABSTRACT – The paper deals with hydrosedimentological studies in a multidisciplinary context, in the Pandeiros river basin. It is located in the northwest of Minas Gerais State, Brazil, on the left bank of the São Francisco River, of which it is a direct tributary. The following topics are being studied: 1) Analysis of the dynamics of slopes and the existing wetland near the mouth of the river, where the main causes of erosion/sedimentation of the Pandeiros River Basin are sought, by means of: a) Survey of the main characteristics and dynamics of the slopes and associated factors, as potential sources of erosion; b) Identification, characterization, quantification and mapping of gullies erosion; c) Evolutionary and dynamic analysis of the sedimentation process of the Pandeiros wetlands: natural and anthropic influences; d) Factors associated with this deposition, and the role of retention of these areas in terms of the basin dynamics. 2) Study of the types of land use and occupations along the basin, highlighting the waterhead areas, aiming to map and evaluate how these uses can contribute to impact surface cover and intensify sediment generation. 3) Climatic diagnosis of the Pandeiros River basin, using data from the official INMET network, and weather stations and rain gauges installed with project resources, in order to compose a summary of the climatic organization of the region at different spatial and temporal scales, covering the genesis and characteristics of the main atmospheric elements in the region. 4) Qualitative and quantitative characterization of water and sedimentological parameters of the Pandeiros River drainage network through measurements in five hydrosedimentological stations along the river, four of which were installed by the project and one already existent, where the project activities included the measurement of sediment transport. These studies aim to: a) evaluate the contribution to this transport of distinct parcels of the river basin, taking into account also its characteristics, determined from the multidisciplinary studies in execution in the project; b) establish a hydrosedimentological balance for the Pandeiros River basin.

Palavras-Chave – Rio Pandeiros, MG; Estudos multidisciplinares; Transporte de sedimentos.

¹) Pesquisador da CNEN/CDTN. Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, jvb@cdtn.br

²) Tecnologista da CNEN/CDTN. Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, salimlh@cdtn.br

³) Técnico da CNEN/CDTN. Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, cjc@cdtn.br

⁴) Tecnologista da CNEN/CDTN. Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, ccc@cdtn.br

⁵) Profa. do IGC/UFMG, Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, chaugustin@hotmail.com

⁶) Prof. do IGC/UFMG, Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, cjardim@yahoo.com

⁷) Prof. do IGC/UFMG, Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, aranha1941@gmail.com

⁸) Profa. do IGC/UFMG, Campus da UFMG, Belo Horizonte, MG, CEP 30123-970, drimonteiroc@yahoo.com.br

⁹) Técnico em Química/Laboratório de Solos do IFNMG (Campus de Januária), Januária, MG, CEP 39480-000, quimico.passos@gmail.com

¹⁰) Graduando do IFNMG (Campus de Januária), Januária, MG, CEP 39480-000, gabrielcajoneiro@gmail.com



1 - INTRODUÇÃO

Os estudos multidisciplinares abordados no presente trabalho se inserem no projeto: Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros, MG – Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros, resultante da Chamada Universal da Fundação de Amparo à Pesquisa – FAPEMIG 13/2014. Eles são desenvolvidos pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN/CNEN) e Instituto de Geociências (IGC/UFMG), de Belo Horizonte, MG, e pelo Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG – Campus Januária).

1.1 - A bacia hidrográfica do Rio Pandeiros

A bacia hidrográfica do Rio Pandeiros constitui a APA Pandeiros, criada pela Lei Estadual nº 11.901 de 01 setembro de 1995, destinada principalmente à proteção do rio. Ela está localizada na região noroeste do Estado de Minas Gerais, à margem esquerda do Rio São Francisco, do qual é afluente direto (Figura 1). Limita-se com a Serra do Gibão (NW), com a Serra das Araras (SW), com o divisor de águas da Bacia do Rio Peruaçu (NE) e com o divisor de águas da bacia hidrográfica do Rio Pardo ao sul (S-SW).

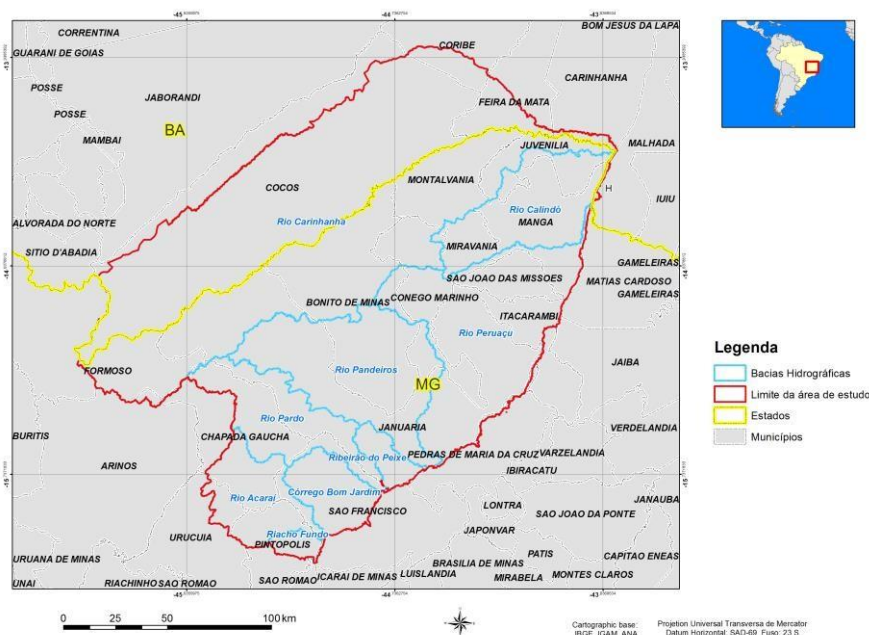


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Pandeiros. Fonte: Maia-Rodrigues (2012).

A bacia tem aproximadamente 394.000 ha, dos quais cerca de 2.000 a 5.000 ha, dependendo do histórico de cheias, é formado por uma espécie de pântano localizado na porção mais à jusante da bacia, conhecido como “Pantanal Mineiro”. Ele apresenta um ecossistema próprio recebendo, inclusive, várias espécies de peixes durante a reprodução, fazendo parte da paisagem atual da bacia do Rio Pandeiros e tendo, também, fins turísticos. O assoreamento progressivo desta região, pelo transporte de areia oriunda da Bacia do Rio



Pandeiros, é atualmente motivo de grande preocupação do Instituto Estadual de Florestas/IEF-MG, que administra esta bacia.

2 - CARACTERÍSTICAS DA BACIA DO RIO PANDEIROS

2.1 - Os solos e a cobertura vegetal

A 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 (Figura 2).

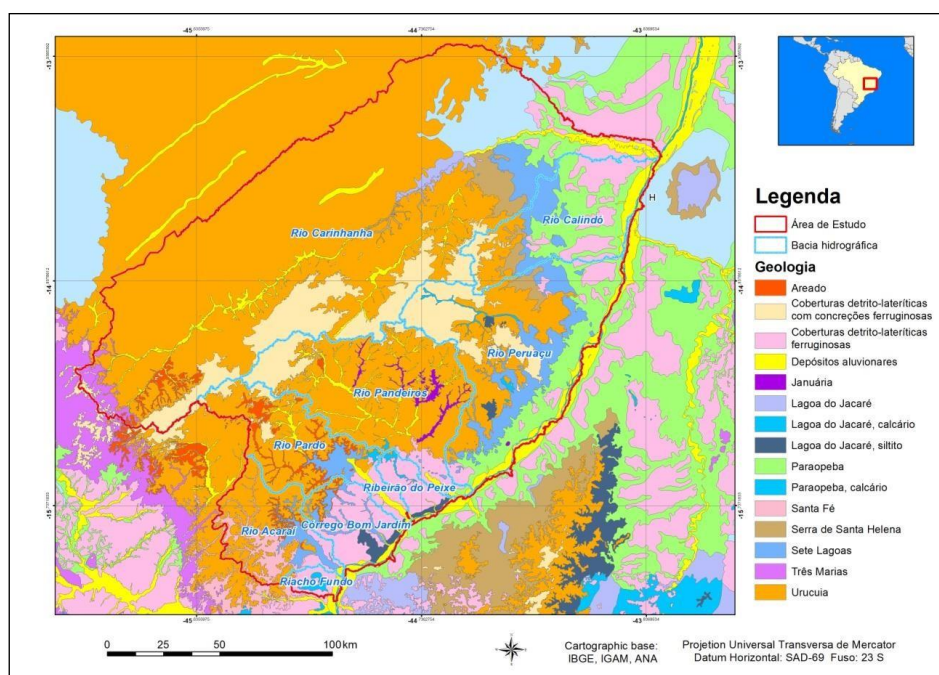


Figura 2 – Geologia da bacia do rio Pandeiros e das bacias vizinhas. Fonte: Maia-Rodrigues (2012).

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 (Figura 2).

Mapeamentos e levantamentos de campo, conduzidos em 2015 e 2016 e 2017, identificaram a presença de seis unidades geomorfológicas distintas compondo a aparente “homogeneidade geológica” da bacia do Rio Pandeiros (OLIVEIRA et al., 2017).

A cobertura vegetal predominante é o cerrado, cujo porte de árvores, na área, varia de 5 a 7m, e em cujo bioma ocorre o ecossistema das veredas. Nas áreas de afloramento do



calcário, ocorre a presença de mata seca, típica do domínio das Formações Calcárias do Grupo Bambuí.

2.2 - Erosão

Um dos problemas ambientais mais perceptíveis na bacia do Rio Pandeiros é a ocorrência de intensa erosão resultante tanto de um aumento natural da declividade na bacia pelo sistema de drenagem, quanto da retirada relativamente rápida da cobertura de cerrado e das veredas, com efeitos na bacia como sistema hídrico e ecológico. Uma análise preliminar da bacia indica a possibilidade de que tenha ocorrido remobilização expressiva de sedimentos para o fundo do vale após interferências antrópicas generalizadas. A associação entre esses dois fatores parece ter acelerado as perdas de material regolítico por escoamento superficial disperso (erosão em lençol), e processos concentrados (voçorocamento).

O estudo do processo de erosão acelerada (voçorocamento) indicou que este ocorre de maneira generalizada em toda a área, com cerca de 430 voçorocas mapeadas, das quais cinco foram escolhidas para análise de detalhe, tendo em vista seu tamanho, localização em unidades específicas do relevo e possíveis causas que tem que ser consideradas. Embora espacialmente distribuído, o processo não está presente em todas as unidades de relevo, sendo mais frequente na parte superior da bacia (Figura 3).

Com a aquisição recente de um drone/vant Phantom 4 Pro e de um GPS geodésico Stonex S5, será possível extrapolar as análises de campo e laboratório para outras voçorocas, incluindo o cálculo do volume médio perdido pelo voçorocamento. Esses dados são fundamentais para orientar o controle desse processo erosivo, com chance real de sucesso, uma vez que podem subsidiar a relação processo/causa e efeito sobre os cursos de água.



Figura 3 – Voçorocas na parte superior da bacia do rio Pandeiros. Fonte: Autoria própria (2014).

Outra abordagem em andamento é o estudo da cobertura vegetal e a fragmentação da paisagem, utilizando modelos de análise espacial e a metodologia de Geodesign que permitem criar cenários futuros projetados a partir de premissas de variação do



desmatamento/alteração do uso e ocupação da terra. A utilização do drone e do GPS geodésico é fundamental para a implementação desses modelos e a realização das análises.

As estruturas internas da superfície até aproximadamente 50 metros, acessadas por imagens de Ground Penetrating Radar (GPR), dependendo das condições de propagação das ondas, auxiliam no entendimento da evolução do ambiente de deposição dos materiais, ou mesmo da história de processos pretéritos presentes na área, que ficariam escondidos em função da profundidade de deposição destes materiais. Para auxiliar no entendimento dessa história evolutiva, foram realizados sete transectos com o auxílio do GPR. Para subsidiar as interpretações das imagens, perfis de tradagem a grande profundidade estão sendo também realizados.

Estudos dos tipos de uso e ocupações do terreno ao longo da bacia são também efetuados, com destaque para as áreas de cabeceira, objetivando mapear e avaliar como esses usos podem contribuir para impactar as coberturas superficiais e intensificar a geração de sedimentos. Para gerar tais mapas de uso e ocupação da terra utilizam-se técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento em ambientes SIG (Sistema de Informação Geográfica).

2.3 - Aspectos climatológicos

Aspectos climatológicos são de extrema importância para o entendimento geral do comportamento hidrossedimentológico e hidrogeomorfológico da bacia. Assim, estações meteorológicas com registradores automáticos (datalogger), adquiridos com recurso do projeto, foram instaladas em áreas naturais e alteradas pela ação antrópica (área de pastagem, cerrado e mata ciliar). Isto permitiu efetuar comparações em termos de resposta da superfície no tocante à variação da temperatura e umidade relativa do ar, cujos resultados preliminares já foram explorados em mais de um artigo científico (JARDIM et al., 2017a; 2017b).

Esse tipo de resultado, juntamente com os dados das estações da rede oficial do INMET e dos três pluviômetros instalados em campo pela equipe do CDTN, também já produziu trabalhos inéditos (JARDIM, 2017c; SILVA et al., 2017) e, com os dados que ainda estão sendo coletados pretende-se compor um quadro síntese da organização climática da região, em diferentes escalas espaciais e temporais (inédito até o momento), abrangendo a gênese e características dos principais elementos atmosféricos na região.

3 - ESTUDO DA DINÂMICA DE SEDIMENTOS NA BACIA DO RIO PANDEIROS

O Rio Pandeiros, com cerca de 120 km de comprimento de curso, nasce a uma altitude de cerca de 800 m e a sua foz está situada a 460 m acima do N.M.M. (desnível médio = 2,8 m/km).

Para o estudo da dinâmica dos sedimentos ao longo da Bacia do Rio Pandeiros, com vistas a avaliar a contribuição ao transporte de sedimentos de trechos distintos da bacia hidrográfica, e objetivando se estabelecer um balanço hidrossedimentológico, foram instaladas e são operadas pelo CDTN e pelo Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), cinco estações hidrossedimentométricas, P1 a P5, ao longo do curso do rio (Figura 4). As estações P1, P2, P4 e P5 possuem sensores de pressão e dataloggers para registro de nível d'água, réguas limimétricas e referências de nível (RN), que foram geodesicamente referenciadas. A estação P3 situa-se logo a montante da PCH Pandeiros e já existia antes do presente projeto. Ela é de responsabilidade da ANA (Código 44250000) sendo operada pela CPRM, com medições de nível, vazão e chuva.

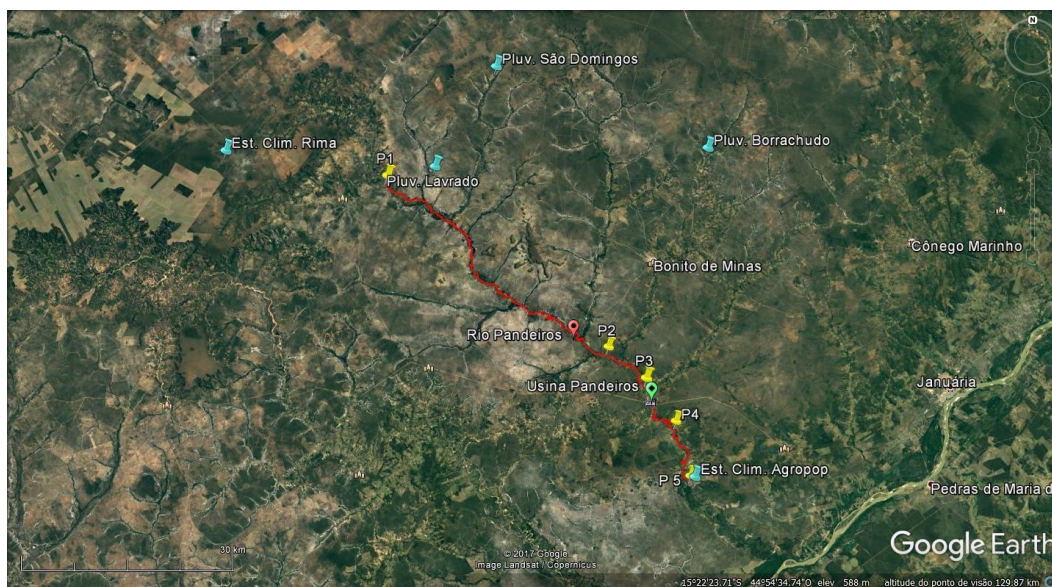


Figura 4 – Localização das estações hidrossedimentométricas (P1 a P5), climatológicas e pluviográficas

Nas cinco estações são realizadas campanhas sistemáticas de medições: de vazão líquida (Q), empregando-se molinete Gurley-Price ou o equipamento acústico Flowtracker; de descarga de sedimento de fundo (Qsf), com o emprego de amostradores Helley-Smith e de descarga de sedimento em suspensão, por amostragem ao longo de verticais (amostradores US DH-48 e US DH-59), cobrindo as variações hidrológicas da bacia. As determinações da granulometria do sedimento de fundo e da concentração dos sedimentos em suspensão são realizadas no Laboratório de Solos do IFNMG.



O estudo da contribuição de trechos distintos da bacia hidrográfica ao transporte de sedimentos visa avaliar a influência das características de parcelas da bacia, determinadas a partir dos estudos multidisciplinares do presente Projeto, a este transporte.

3.1 - Alguns resultados

É grande a variação no ciclo hidrológico na região da Bacia do Rio Pandeiros, especialmente na precipitação pluviométrica que é o agente mandatário na produção e no transporte de sedimentos, o que ocorreu entre os dois ciclos até agora estudados, com pouca precipitação em 2016/2017 e maior precipitação em 2017/2018. Até o presente foram realizadas duas campanhas englobando os períodos de seca (maio a outubro) e de chuva (novembro a abril), perfazendo 16 missões a campo, com duração mínima de uma semana cada, intensificadas no período de chuvas. A título de exemplo, as figuras 5a a 5d mostram para a Estação P1, a primeira logo a jusante da região de voçorocas da parte alta da bacia (Figura 4), as curvas-chave relacionando: Nível ortométrico x Vazão líquida (5a); Vazão líquida x: descarga sólida em suspensão (5b); descarga sólida de fundo (5c) e descarga sólida total (5d).

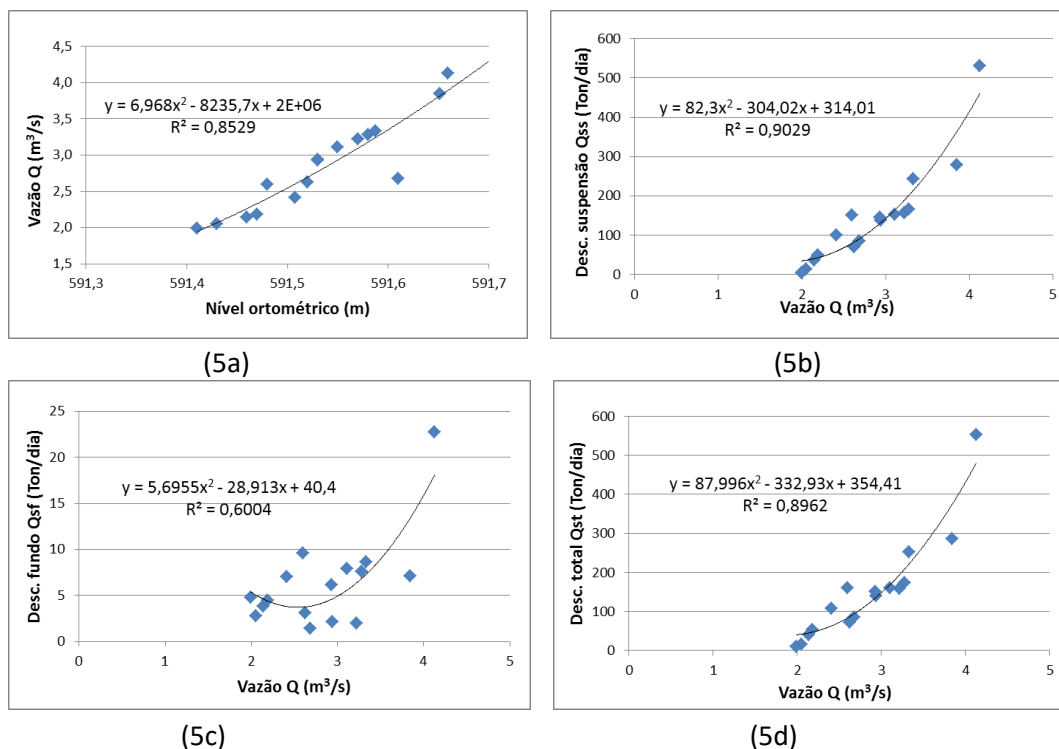


Figura 5 – Resultados consolidados da Estação P1 para dezesseis medições

As curvas-chave foram todas ajustadas, para comparação entre elas, com função polinomial do segundo grau. Observa-se um ajuste bom para as curva-chave 5a, 5b e 5d, com coeficientes de determinação $R^2 > 0,85$. O gráfico da Figura 5c (vazão x descarga de fundo) apresenta pontos muito dispersos, resultando uma curva-chave com $R^2 = 0,6004$. Como a



descarga de fundo representa, em média, apenas 8% da descarga total ($Q_{ss} + Q_{sf}$) para este conjunto de medições, a dispersão de seus valores pouco influenciou no ajuste alcançado para a descarga sólida total ($R^2 = 0,8962$ – Figura 5d). Para este conjunto de medições as análises granulométricas do sedimento de fundo, amostrado com os equipamentos Helley-Smith, mostraram a seguinte faixa de diâmetros:

D_{35} mín. = 0,09 mm; $0,10$ mm < D_{50} < 0,66 mm; $0,12$ mm < D_{65} < 0,74 mm e D_{90} máx. = 0,90 mm.

4 - CONCLUSÕES

A abordagem contemplada neste projeto: o estudo da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros como um todo e numa perspectiva multidisciplinar, reveste-se de grande importância. São vários os fatores a influenciar a geração e o transporte de sedimentos que tanto tem impactado o “Pantanal Mineiro”, com o assoreamento progressivo desta região, pelo transporte de areia oriunda da Bacia do Rio Pandeiros, cujo solo é predominantemente arenoso. Este enfoque e a continuação dos estudos ora desenvolvidos, é fundamental na avaliação da contribuição de trechos distintos da bacia à geração e transporte de sedimentos. Assim, será possível a adoção de boas práticas de recuperação, uso e ocupação da terra, visando minimizar o aporte de sedimentos à sensível região em que se constitui o “Pantanal Mineiro”.

A bacia do Rio Pandeiros, de porte médio, com suas características peculiares descritas no presente trabalho, e os estudos multidisciplinares coordenados, ora desenvolvidos, incluindo a operação de cinco estações hidrossedimentométricas num rio de 120 km de curso, mostra vocação para ser transformada em uma bacia experimental permanente. Ali poderiam atuar diversas instituições, em projetos multidisciplinares e complementares.

Isto, além de facilitar a resolução de problemas experimentados na bacia, traria ganhos técnicos e científicos de forma sinérgica, incluindo a transferência de tecnologia a instituições da região, como já ocorre com o presente projeto, e também para as de outras regiões do país.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG pela concessão dos recursos necessários ao desenvolvimento do projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros-MG – Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros, bem como



Vitória/ ES – Brasil

HIDROSEDIMENTOLOGIA NO CONTEXTO NEXO PARA UMA SOCIEDADE SUSTENTÁVEL

XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos
I Partículas das Américas

24 a 28 de setembro de 2018



à Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa - FUNDEP/UFMG, pelo apoio administrativo na execução do mesmo.

BIBLIOGRAFIA

JARDIM, C.H; MOURA, F.P.; COSTA, A.M. (2017a). “*A temperatura do ar como indicador de alteração ambiental: bacia do rio Pandeiros, Januária-MG*” in Anais do VI Workshop Internacional sobre planejamento e desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas. Universidade Federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia/MG, Jul. 2017, pp.149 - 152.

JARDIM, C.H; COSTA, A.M.; SAMPAIO, J.L.D.; MOURA, F.P.; VIANA, J.H. (2017b). “*Influência da vegetação nas variações de temperatura do ar na bacia do rio Pandeiros, Januária-MG*” in Anais do VII Simpósio Brasileiro de Climatologia: clima variabilidade e perspectivas futuras. SBMET. Petrópolis/RJ, Set. 2017.

JARDIM, C.H.; BANDEIRA, J.V.; SALIM, L.H.; CHAGAS, C.J. (2017c). “*Varição local das chuvas na bacia hidrográfica do rio Pandeiros, Januária-MG*” in Anais do VII Simpósio Brasileiro de Climatologia: clima variabilidade e perspectivas futuras. SBMET. Petrópolis/RJ, Set. 2017.

MAIA-RODRIGUES, B. (2012). *Análise da dinâmica de evolução do relevo e das condições geomorfológicas de bacias hidrográficas da margem esquerda do Rio São Francisco - norte de Minas Gerais*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Instituto de Geociências – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG.

OLIVEIRA, D.A.; AUGUSTIN, C.H.R.R.; FONSECA, B.M. (2017). “*Proposta de mapeamento e delimitação dos domínios geomorfológicos da bacia hidrográfica do rio Pandeiros-MG*”, in Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. Instituto de Geociências – UNICAMP. Campinas/SP, 2017, pp. 6253 - 6262.

Anexo II

Resumo: **Estações Hidrossedimentométricas na bacia do Rio Pandeiros-MG** Patrícia Pós dos Reis; Cláudio Jose Chagas; Jefferson Vianna Bandeira., VII Simpósio de Ciências Agrárias do Norte de Minas Gerais (VII SCIAGRO), Januária, 2018.

ESTAÇÕES HIDROSSEDIMENTOMÉTRICAS NA BACIA DO RIO PANDEIROS-MG

Patrícia Pós dos Reis, Cláudio Jose Chagas, Jefferson Vianna Bandeira

**Patrícia Pós dos Reis – Graduanda, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) –
Campus Pampulha, patriciaposr@hotmail.com**

RESUMO

O conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia é fundamental para a gestão de seus recursos hídricos, bem como para o suporte às decisões relativas ao desenvolvimento de atividades antrópicas e acompanhamento de impactos na área de drenagem no tempo. Localizado no norte de MG o Rio Pandeiros é afluente da margem esquerda do rio S. Francisco, e um dos problemas ambientais mais perceptíveis na bacia é a ocorrência de intensa erosão. Visando avaliar o problema foram instaladas cinco estações hidrossedimentométricas ao longo do rio para coleta de dados. Nosso objetivo é tornar público os dados obtidos durante as medições hidrossedimentométricas. Para isso fez-se um levantamento bibliográfico sobre normas e procedimentos pertinentes à instalação dessas estações no que tange ao posicionamento de equipamentos e tratamento dos dados coletados. Emitiu-se a monografia conforme o Manual de Instalações de Estações Hidrométricas da ANA (2011), para depois organizar e preparar os resultados das medições para inserção no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. A pesquisa bibliográfica foi feita para a emissão das monografias das estações instaladas, mas os processos de envio de dados ainda não foram concluídos. A medição sistemática da carga sedimentar produzida na Bacia do Rio Pandeiros constituirá uma importante ferramenta no monitoramento e controle das diferentes intervenções humanas ou processos naturais que ocorrem na bacia.

PALAVRAS – CHAVE: Hidrossedimentologia, Estações hidrossedimentométricas, Normas.

APOIO FINANCEIRO: CDTN, FAPEMIG.

Anexo III

Publicação intitulada: **Providências para inserção dos dados das estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros - MG no portal Hidroweb.** Patrícia Pós dos Reis; Jefferson Vianna Bandeira; Cláudio José Chagas. XIII Seminário Anual de Iniciação Científica do CDTN – SIAC.

Providências para inserção dos dados das estações hidrossedimentométricas do Rio Pandeiros - MG no portal Hidroweb

Patrícia Pós dos Reis; Jefferson Vianna Bandeira; Cláudio José Chagas

SEMAM – Serviço do Meio Ambiente

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear – CDTN

INTRODUÇÃO

O conhecimento do comportamento hidrossedimentológico de uma bacia contribui para a gestão de seus recursos hídricos, bem como, para o suporte às decisões relativas ao desenvolvimento de atividades antrópicas e acompanhamento de eventuais impactos em sua área de drenagem ao longo do tempo. Localizado no norte de Minas Gerais, o Rio Pandeiros é um importante afluente da margem esquerda do Rio São Francisco, e um dos problemas ambientais mais perceptíveis nessa bacia é a ocorrência de intensa erosão. Com o intuito de controlar e avaliar tal problema instalaram-se cinco estações hidrossedimentométricas ao longo do Rio Pandeiros (Figura 1), próximas à algumas comunidades locais (Tabela 1). Este trabalho tem como objetivo propor a divulgação dos dados obtidos durante as medições feitas nessas estações, através do portal Hidroweb, que é administrado pela ANA – Agência Nacional de Águas.

Figura 1 – Representação da Bacia do Rio Pandeiros - MG.



Fonte: Google Earth

Tabela 1 – Localização das estações hidrossedimentométricas.

ESTAÇÕES	LOCALIZAÇÃO
P1	Comunidade da Grotinha
P2	Ponte Santos Monte Alto
P3	Comunidade de Pandeiros
P4	Comunidade do Traçadal
P5	Fazenda AGROPOP

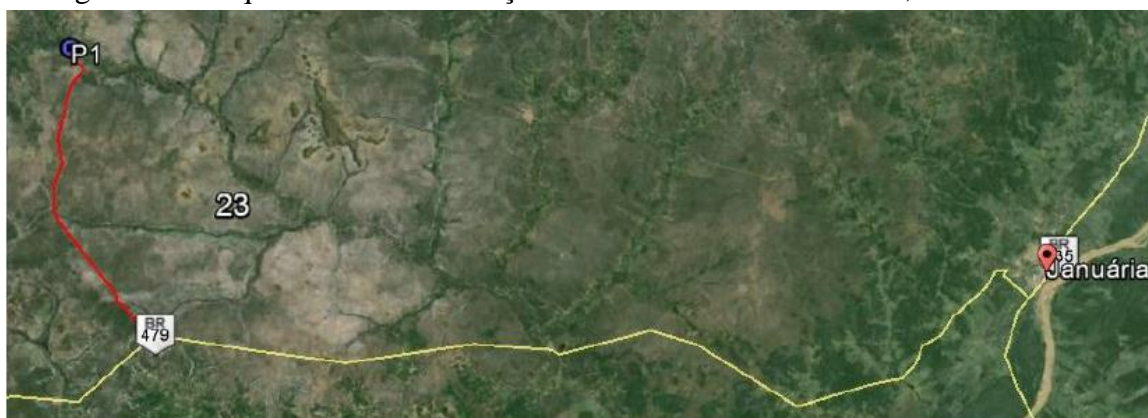
METODOLOGIA

Fez-se um levantamento bibliográfico sobre as normas e procedimentos para a instalação de estações hidrossedimentométricas no que tange ao posicionamento dos equipamentos, tratamento dos dados coletados e registro das estações. Para complementar as informações sobre as estações, descreveram-se os processos de coleta, organização e prepararam-se os resultados das medições para inserção no banco de dados do SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Como parte da documentação exigida, emitiram-se as monografias das estações hidrossedimentométricas conforme padronização do Manual de Instalações de Estações Hidrométricas da Agência Nacional de Águas, ANA (ANA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado parcial da pesquisa bibliográfica foi feita a emissão das monografias referentes a cada estação instalada, de acordo com o padrão pré-estabelecido. Para a emissão dessas monografias é necessário, dentre outros documentos, anexar o mapa de localização e acesso das estações (Figura 2), imagem das réguas linimétricas (Figura 3).

Figura 2 – Croqui de acesso da estação hidrossedimentométrica P1, Januária – MG.



Fonte: Google Earth

Reitera-se que os esforços para registro das estações continuam, bem como, a complementação da documentação exigida.

Figura 3: Réguas linimétricas instaladas na margem direita do Rio Pandeiros – estação P2.



Fonte: acervo do autor

CONCLUSÕES

A partir desse estudo conclui-se que o reconhecimento das estações pela ANA e alcançando o objetivo proposto, os pesquisadores terão acesso a uma base de dados hidrossedimentométricos e informações aprofundadas sobre a bacia do Rio Pandeiros. Esses dados contribuirão para ampliar a rede de monitoramento nacional auxiliando a comunidade científica em suas pesquisas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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. 2018. “Estudos Hidrossedimentológicos na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, MG, em um Contexto Multidisciplinar”. XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas nas Américas. *Anais...* Vitória: ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018.

ANA, 2011. “Orientações para elaboração do relatório de instalação de estações hidrométricas” / Agência Nacional de Águas; Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. - - Brasília: ANA, SGH, 2011.

APOIO FINANCEIRO

FAPEMIG, CDTN

Anexo IV

Publicação intitulada: “**Técnica de Análise Granulométrica Utilizada em Sedimentos do Rio Pandeiros, Januária, MG**”, resultante de Orientação de Iniciação Científica ao bolsista Gabriel Pires de França, dentro do Subprojeto 2, 2018.



TÉCNICA DE ANÁLISE GRANULOMÉTRICA UTILIZADA EM SEDIMENTOS DO RIO PANDEIROS, JANUÁRIA, MG.

Gabriel Pires França¹; Leonardo Passos de Sá²; Cláudio José Chagas³; Rubens Martins Moreira³; Lécio Hannas Salim³; Jefferson Vianna Bandeira³

□

¹ Discente. Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais – Campus Januária; ²Docente. Técnico do Laboratório de Análises de Solo. Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais – Campus Januária; ³Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN.

INTRODUÇÃO

O Rio Pandeiros tem sua bacia de drenagem localizada na região noroeste do Estado de Minas Gerais e é afluente direto do Rio São Francisco em sua margem esquerda.

Um dos problemas ambientais mais perceptíveis na bacia do Rio Pandeiros é a ocorrência de intensa erosão resultante de vários fatores como; alta declividade na região do alto Rio Pandeiros, ocupação humanada, desmatamento e processos naturais (BETHONICO,2009). A associação entre esses fatores acelerou as perdas de material regolítico por escoamento superficial disperso, como a erosão em lençol, e processos concentrados como o voçorocamento. Com isso esse trabalho tem como objetivo apresentar a técnica usada no laboratório de solos, para análise granulométrica da carga sedimentar coletada na calha do Rio Pandeiros, cujos resultados permitirão a quantificação da carga de sedimentos escoados da bacia.

Metodologia

O presente trabalho foi conduzido na área do Rio Pandeiros, e georreferenciado com localização da área assoreada, com a participação do Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG) Campus Januária e do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) - Laboratório de Geoprocessamento. Para a coleta de amostras a serem analisadas (Fig. 1), foram utilizadas técnicas para medição do escoamento líquido e do transporte de sedimentos com o medidor da velocidade da corrente (molinete) e os amostradores de sedimento em suspensão e de arraste no fundo. A carga de material sólido em suspensão que passa por uma seção do rio na unidade do tempo é definida pela vazão líquida e pela concentração de sedimento em suspensão. A carga de material sólido de arrasto é calculada pela massa de sedimento de fundo coletada ao longo da transversal durante um determinado tempo. Para a determinação da vazão realizou-se a medição da velocidade do fluxo hídrico em diversas verticais da seção utilizando molinete ou FlowTracker. A concentração média do sedimento foi determinada pela amostragem integrada ao longo de cada uma destas verticais, utilizando amostradores específicos para sedimentos em suspensão e de arraste.



Após a fase de coleta, as amostras foram direcionadas ao laboratório de solos do IFNMG-Campus Januária onde foi feito o registro e a medição imediata do volume amostral (Fig.2).

As amostras de sedimentos de fundo são transferidas para béqueres de 1 litro e colocadas em estufa a 105° C para eliminação de toda a umidade. Em seguida os béqueres são resfriados no dessecador para atingirem a temperatura ambiente e assim serem pesados. Como procedimento adicional, após a pesagem da massa total, é feito o quarteamento da amostra, para redução do volume amostral e repesada. A amostra seca, quarteada e pesada é submetida à análise granulométrica em agitador automático de peneiras por 20 minutos. Após a agitação, cada fração retida por peneira é pesada e essa massa registrada em planilha específica (Fig. 3).

Para as análises de sedimentos de suspensão utilizamos os filtros de celulose de 0,45 micrômetros que foram enumerados e pesados em balança semi-microanalítica. Cada amostra é submetida à filtração a vácuo, onde todo o particulado suspenso é retido com seu respectivo filtro (Fig. 4). Em seguida, o filtro de celulose é submetido à secagem em estufa de esterilização a 105 °C por uma hora, a fim de retirar a toda umidade, colocada no dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesado novamente. Para amostras, que contenham uma concentração de particulado elevada, realiza-se uma pré-filtragem a vácuo utilizando filtro qualitativo de 28 micrômetros, afim de se evitar a saturação do filtro de 0,45 micrômetros. Nessa pré-filtragem, todos os procedimentos de registro, pesagem e repesagem são idênticos àqueles executados com o filtro de 0,45 micrômetros.

Resultados e discussão

Após a realização das primeiras análises hidrossedimentométricas, os dados obtidos são registrados em planilhas impressas e transferidas para planilhas de cálculo em plataforma Excel para obtenção dos valores de concentração sedimentométrica e quantificação granulométrica, dados estes que são informados à equipe central para tratamento estatístico mais refinado.

Considerações finais

As análises sedimentométricas exigem planejamento, atenção e perícia. Desde o processo de coleta em campo até o tratamento em laboratório. Em campo, a definição dos pontos de coleta e reprodutibilidade da mesma define a qualidade de amostragem por minimizarem os erros, uma vez que se trata de um sistema heterogêneo (Rio Pandeiros). Em laboratório, os procedimentos precisam ser seguidos à risca, respeitando fidedignamente a identificação das amostras para que não haja equívoco durante a quantificação. Na fase de tratamento matemático, os dados precisam estar bem organizados e o conceito de concentração massa/volume e granulometria, bem definidos, uma vez que são esses resultados que darão suporte quantitativo para a equipe central possa chegar a conclusões mais próximas do real possível.

Agradecimentos

Ao CDTN, à Fundação de Amparo a Pesquisa (FAPEMIG) pelo auxílio concedido e ao laboratório de solos do IFNMG – Campus Januária.



Referências

BETHONICO, M. B. M., RIO PANDEIROS: Território e História de Uma Área de Proteção Ambiental no Norte de Minas Gerais, Revista Acta Geográfica, a.III, n.5, jan./jun., p.23-38, 2009.

CARVALHO, N.O. Hidrossedimentologia prática. 2ª ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.599p.

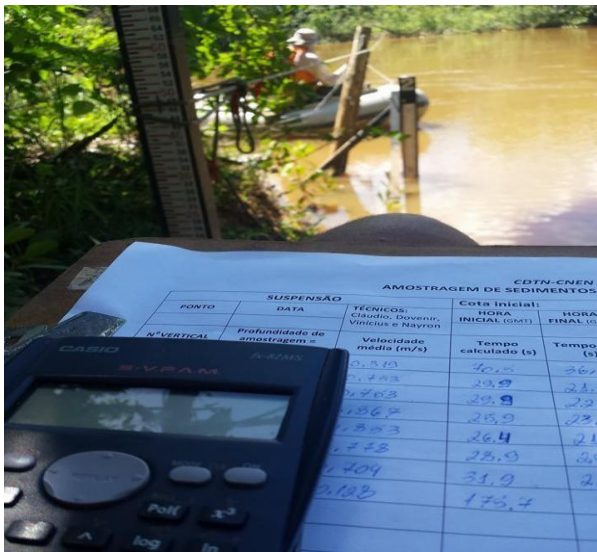


Figura 1: Medição de vazão e coleta das amostras a serem encaminhadas ao laboratório.



Figura 2: Amostras de sedimento de fundo e suspensão coletada em campo para análise.



Figura 3: Análise granulométrica

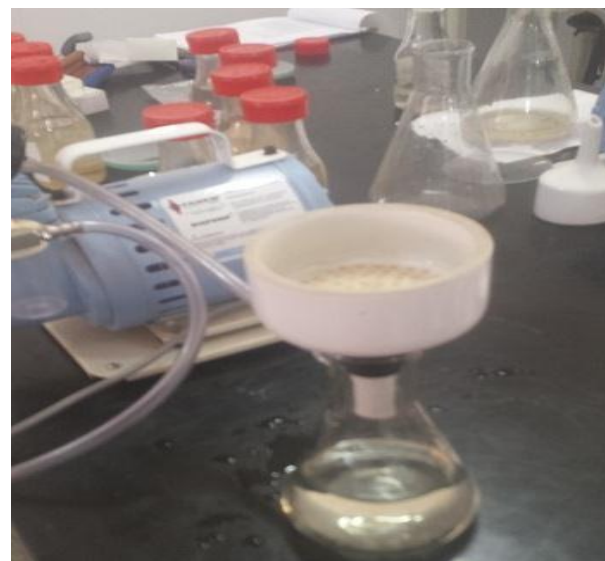


Figura 4: Filtração à vácuo de sedimentos em suspensão.

Anexo V

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado: “**Contribuição de Sedimentos para Área do Pântano na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros**”, realizado pelo bolsista Gabriel Pires de França, graduando do IFNMG, 2019.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DO NORTE DE MINAS GERAIS - CAMPUS JANUÁRIA
BACHARELADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

ATA DA DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO INTITULADO

Contribuição de sedimentos para área do pantano na
bacia hidrográfica do rio Pandeiros

ACADEMICO: Gabriel Pires de Franca.

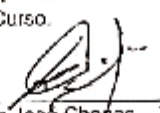
Aos 16 dias do mês de dezembro de 2019, às 09 horas, reuniu-se, no Auditório da Biblioteca Saul Martins, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais - Campus Januária, a Banca Avaliadora de Trabalho de Conclusão de Curso para avaliar em exame final, o trabalho intitulado

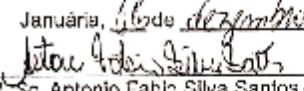
Contribuição de sedimentos para área do pantano na
bacia hidrográfica do rio Pandeiros

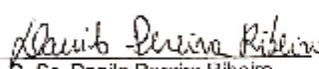
_____, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola e Ambiental. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Avaliadora, Professor Danilo Pereira Ribeiro, orientador do trabalho, após dar conhecimento aos presentes do teor das normas regulamentares do Trabalho de Conclusão de Curso, passou-se a palavra ao acadêmico para que o mesmo fizesse a apresentação geral da monografia. Em seguida iniciou-se a arguição pelos componentes da banca avaliadora ao acadêmico(a) e este defendeu sua produção e aceitou as contribuições sugeridas pelos professores. Logo após a arguição a banca se reuniu, sem a presença do acadêmico e do público, para a avaliação final do trabalho e expedição do resultado. Após análise da banca, foi deliberado o seguinte resultado:


Aprovado(a) (A) Aprovado(a) Condicional (AC) _____ Reprovado(a) (R) _____

O resultado final foi comunicado publicamente ao acadêmico pelo presidente da banca, sendo ainda solicitado ao acadêmico a assinatura de uma declaração de autoria material e intelectual do trabalho apresentado. Nada mais havendo a tratar, o presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ata, que será lida e aprovada pelos membros da Banca Avaliadora de Trabalho de Conclusão de Curso.


M. Sc. Cláudio José Chagas – Técnico do
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia
Nuclear (CDTN)

Januária, 16 de dezembro de 2019

M. Sc. Antonio Fabio Silva Santos – Prof.
IFNMG, campus Januária


Prof. D. Sc. Danilo Pereira Ribeiro
(Orientador)

IFNMG - Campus Januária
Conferido e achado conforme o original
que me foi exibido.
Januária 16 de 12 de 2019


INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
NORTE DE MINAS GERAIS CAMPUS JANUÁRIA

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA ÁREA DO PÂNTANO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS.**

GABRIEL PIRES DE FRANÇA

JANUÁRIA, MG

2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO NORTE DE
MINAS GERAIS CAMPUS JANUÁRIA

CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

**CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA ÁREA DO PÂNTANO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS.**

GABRIEL PIRES DE FRANÇA

Sob a orientação do professor:

D. Sc. Danilo Ribeiro Pereira

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
IFNMG – *Campus* Januária como parte das
exigências do Programa de Graduação em
Engenharia Agrícola Ambiental, para a obtenção
do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Januária, MG

Dezembro de 2019

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO NORTE DE
MINAS GERAIS CAMPUS JANUÁRIA

**CONTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS PARA ÁREA DO PÂNTANO NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PANDEIROS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
IFNMG – *Campus* Januária como parte das
exigências do Programa de Graduação em
Engenharia Agrícola Ambiental, para a obtenção
do título de Engenheiro Agrícola e Ambiental.

Banca Examinadora:

D.Sc Danilo Ribeiro Pereira

Professor do IFNMG-*Campus* Januária

M. Sc. Cláudio José Chagas

Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

M.Sc. Antonio Fabio Silva Santos

Professor do IFNMG-*Campus* Januária

Januária, 16 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família pelo apoio sempre prestado nas minhas decisões e escolhas.

Agradeço ao Instituto Federal do Norte de Minas Gerais Campus Januária pelo ensino público e gratuito que forneceu a base de conhecimento para realização desse trabalho de conclusão de curso.

Agradeço ao orientador Danilo Pereira Ribeiro, que com sabedoria soube dirigir-me os passos e os pensamentos para o alcance de meus objetivos.

Agradeço aos amigos do Laboratório de Análises de Solos, Água e Tecido Vegetal do IFNMG – Campus Januária, O técnico Leonardo Passos Sá, me deu total apoio ao laboratório, onde absorvi muito conhecimento profissional, sempre com a sua motivação alto astral, Ermerson Augusto de Oliveira, Feliciano Pereira Santos, com quem convivi em todo o período da faculdade e principalmente quando ingressei como estagiário e posteriormente bolsista, pelos momentos de amizade, conquistas e ensinamentos.

Agradeço aos Professores do CDTN, em especial o Jefferson Vianna Bandeira que me apresentou o projeto contribuindo muito para o meu aprendizado e experiências de pesquisa, e ao técnico Cláudio Chagas que sempre esteve disposto a colaborar para o meu desenvolvimento pessoal em vários momentos nas realizações dos trabalhos de campo.

Agradeço a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão deste trabalho se tornasse possível: Ailton, Maria Augusta, Melissa, Cleyton, José Nunes e outros.

RESUMO

FRANÇA, Gabriel Pires de. **Contribuição de sedimentos para área do pântano na bacia hidrográfica do rio Pandeiros**. XX p. Monografia (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental)-Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Norte de Minas Gerais – Campus Januária, Dezembro, 2019.

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros tem importância ecológica para o rio São Francisco e para a região Norte de Minas Gerais, servindo para manutenção do ecossistema. Apesar de ter sido transformada em área de proteção ambiental constata-se consideráveis alterações no uso da terra o que representa riscos para a qualidade e disponibilidade de água, bem como para o pântano que existe próximo a sua foz. Por esses fatores, este trabalho foi desenvolvido para avaliar o comportamento hidrossedimentométrico na calha do rio Pandeiros imediatamente à montante da área pantanosa por período de 18 meses, que engloba dois ciclos de chuvas e um período seco. Em estação hidrossedimentométrica instalada imediatamente à montante do pântano foi monitorado a vazão do rio e o transporte de sedimentos de fundo e em suspensão no período de novembro de 2016 a abril de 2018. Com os dados foram geradas curvas chave de vazão em função do nível da água no leito do rio e de transporte de sedimentos em função da vazão. E a partir desses dados quantificou-se a produção mensal e total de sedimentos. Durante o período de desenvolvimento do trabalho, as vazões determinadas no rio Pandeiros variaram de 5 a 20 m³ s⁻¹ e estão associadas ao aumento de 1 m no nível da água. O transporte de sedimentos em suspensão variou de 1,6 a 162 t d⁻¹ enquanto que o transporte de sedimento de fundo variou de 1,4 a 8,2 t d⁻¹. Em condições de baixa vazão, especialmente no período seco do ano, os sedimentos em suspensão e de fundo apresentam valores semelhantes. No período chuvoso a produção de sedimentos em suspensão é muito superior à de sedimentos de fundo. A descarga específica de sedimentos do rio Pandeiros para o período de estudo foi de 4,83 t km⁻² ano⁻¹ e pode ser classificada como baixa. É necessário dar continuidade aos trabalhos hidrossedimentométricos para se ter dados em períodos mais críticos de vazão, especialmente nas cheias, que poderão estar associados a aumentos na produção de sedimentos. E assim obter séries de dados mais representativas.

Palavras-chave: Erosão hídrica, curva chave, descarga específica.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
OBJETIVOS	3
Objetivo Geral	3
Objetivos Específicos	3
REFERENCIAL TEÓRICO	4
A bacia hidrográfica como unidade de planejamento	4
Importância do controle de produção de sedimento	4
Bacia hidrográfica do rio Pandeiros	6
Importância da bacia hidrográfica do rio Pandeiros	6
Flora	8
Fauna	8
Usos da Terra	9
MATERIAIS E MÉTODOS	11
Medidas de Vazão	12
Medidas de sedimento em suspensão	13
Medidas de sedimentos de fundo	14
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

INTRODUÇÃO

A erosão dos solos é um processo natural e contínuo ocasionado pelo escoamento das chuvas ou a ação do vento (erosão laminar). Quando intensificadas pela ação antrópica causa grandes prejuízos financeiros e ambientais. Atividades que deixam solos expostos e desestruturados intensificam os processos erosivos. No processo de erosão hídrica as partículas de solo são carregadas de partes mais elevadas para partes mais baixas, tornando-se problema ambiental quando as partículas assoreadas atingem os corpos hídricos podendo causar poluição e assoreamento nos córregos e rios.

O estudo de sedimentos em uma bacia hidrográfica é necessário para analisar o estado de sua conservação, que engloba os danos ambientais, materiais e econômico. Os principais danos são assoreamento de lagos, rios e reservatórios, perdas de solo, redução da vida aquática, dificuldade de penetração da luz pelo aumento da turbidez da água devido ao sedimento em suspensão com intervenção na fotossíntese, aumento de custos com o tratamento da água, transporte de contaminantes em sedimentos e impactos ecológicos e recreativos (LOURES, 2014).

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros tem importância ecológica para o rio São Francisco e para a região Norte de Minas Gerais, servindo para manutenção do ecossistema. Por esse motivo houve a necessidade de ser transformada em área de proteção ambiental sendo classificada como a maior Unidade de Conservação de uso sustentável de Minas Gerais (BETHONICO, 2009).

Por técnicas de sensoriamento remoto, identificou-se que na bacia hidrográfica do Pandeiros, da sua área total, mais de 78% da ocupação consiste em locais de descaracterização natural. As áreas preservadas representam menos de 22% do local que deveria ser destinado ao uso sustentável. A presença de áreas descobertas com potencial de erosão é grande (aproximadamente 20.882 ha) o que favorece a intensificação dos processos erosivos, impulsionando o soterramento progressivo da bacia (FONSECA et al., 2011; BANDEIRA et al., 2018).

Assim, é necessário conhecer o comportamento do Rio Pandeiros, sua vazão e o transporte de sedimentos que tem por destino o pântano, bem como o regime pluviométrico da bacia. Para

Ibiapina *et al* (2003), isso requer monitoramento contínuo da bacia para a obtenção de dados em períodos de cheias e secas, dando maior confiabilidade e representatividade dos resultados.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o comportamento hidrossedimentométrico na calha do rio Pandeiros imediatamente à montante da área pantanosa por período de 18 meses, que engloba dois ciclos de chuvas e um período seco.

Objetivos Específicos

- Quantificar a precipitação ocorrida no período experimental;
- Determinar a curva chave de vazão em função do nível da água em um trecho do leito do rio pandeiros;
- Determinar as curvas chave de transporte de sedimentos de fundo e em suspensão em função da vazão do rio Pandeiros;
- Estimar o transporte mensal e a carga específica de sedimentos do rio Pandeiros.

REFERENCIAL TEÓRICO

A bacia hidrográfica como unidade de planejamento

A água é um dos mais importantes recursos ambientais, necessária para a manutenção, propagação e existência da vida na terra. A gestão dos recursos hídricos é indispensável para otimizar a disponibilidade e uso da água numa bacia hidrográfica, local que abrange um conjunto de superfícies vertentes e rede de drenagem gerada por cursos de água que confluem até resultar em único leito no seu exutório (TUCCI, 1997).

A bacia hidrográfica é definida como unidade territorial para planejamentos dos recursos hídricos, estabelecido pela Lei 9.433 de 8 de janeiro de 1997 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos dando diretrizes gerais para a gestão da água no Brasil (BRASIL, 1997). Isso ressalta a importância das bacias hidrográficas e de se conhecer seus limites, que constitui o perímetro da área a ser planejada. Qualquer tipo de uso do solo numa bacia hidrográfica interfere no ciclo hidrológico, não importando se o manuseio dependa direta ou indiretamente da água (ROCHA *et al.*, 2000).

A união entre gestão de recursos hídricos e ambiental é apontada por meio da influência que o uso do solo desempenha sobre a disponibilidade e qualidade da água em algum corpo hídrico. O uso do solo e alterações na camada superficial, modifica a configuração espacial e qualidade dos elementos do meio físico, biótico e antrópico podendo afetar na hidrologia das bacias hidrográficas (MOTA, 2008). Como exemplo temos a agricultura sem irrigação, que não retira água de nem um manancial diretamente, mas dependendo do manejo do solo na área, pode influenciar a infiltração da água da chuva e os processos de erosões, com o aumento do escoamento superficial em períodos de chuva.

Importância do controle de produção de sedimento

A produção de sedimentos nas bacias hidrográficas ocorre devido aos processos de erosão que acontecem em decorrência da degradação do solo por ação da precipitação e do escoamento laminar e concentrado, através da transferência dos sedimentos da bacia vertente para a calha fluvial e também, pela erosão e deposição que ocorre na calha fluvial (MINELLA, 2011). A precipitação na área de drenagem da bacia é um dos principais fatores que influenciam na produção de sedimentos, além do tipo de solo e sua formação geológica, presença ou

ausência de vegetação, uso e manejo do solo, declividade, características dos sedimentos, dentre outros fatores (CARVALHO et al., 2000).

A alta concentração de sedimentos presentes num curso d'água compromete ou restringe seu uso. Com isso, os projetos de barragem, estações de tratamento e captação de água, por exemplo sofrem influência direta da presença de sedimentos na bacia, assim como a biota do leito e de todos que realizam o consumo da água diretamente do rio (GRIZIO-ORITA et al., 2002)

Particulados de grãos e fragmentos de rochas são transportados pelos cursos de água todos os anos, o que representa grandes quantidades dessas partículas nos rios. A taxa de descarga dos sedimentos é estimada em massa por área, por unidade de tempo ($t \text{ ano}^{-1}$) (PETTS, 1983). Na escala global, a descarga específica de sedimentos por ano varia amplamente (TABELA 1).

Tabela 1 – Produção de sedimentos em diferentes bacias hidrograficas.

Rio e país	Produção de sedimentos ($t \text{ km}^{-2} \text{ ano}^{-1}$)
R. Ching, China	8.040
R. Colorado, USA	424
R. Danude, USSR	27
R. Kosi, India	3.130
R. Amazonia, Brasil	67
R. Rhine, Holanda	3,5

Fonte: Holeman (1968).

Os sedimentos que chegam ao rio têm granulometria variada e terão transporte alterado conforme as condições locais de escoamento. Esta variação ocorre em função do tamanho, peso e forma da partícula, podendo permanecer em suspensão ou no fundo do rio, saltando do leito para o escoamento, deslizando ou rolando ao longo do leito (CARVALHO, 2008).

Partículas finas, como argilas e siltes, bem como pequena quantidade de partículas mais grossas ficam em suspensão no meio líquido. Quando expostas a regimes turbulentos e velocidades elevadas, a quantidade de partículas grossas em suspensão, como areia, tende a aumentar, pois o movimento em suspensão é considerado igual à velocidade da corrente (CARVALHO, et al., 2000).

Em regime de baixas velocidades as partículas mais grossas, como pedregulho, deixam de se mover, aumentando a proporção de material de areias em movimento. As partículas de fundo do leito acrescidas das partículas em suspensão são caracterizadas como a carga de material do leito (CARVALHO, *et al.*, 2000).

Bacia hidrográfica do rio Pandeiros

A bacia do rio Pandeiros possui área total de 3.930,6 km² com sua localização na região Norte do Estado de Minas Gerais (Figura 1), incluindo os municípios de Januária, Bonito de Minas e Cônego Marinho, na margem esquerda do Rio São Francisco, sendo considerado um importante afluente (NUNES *et al.* 2009).

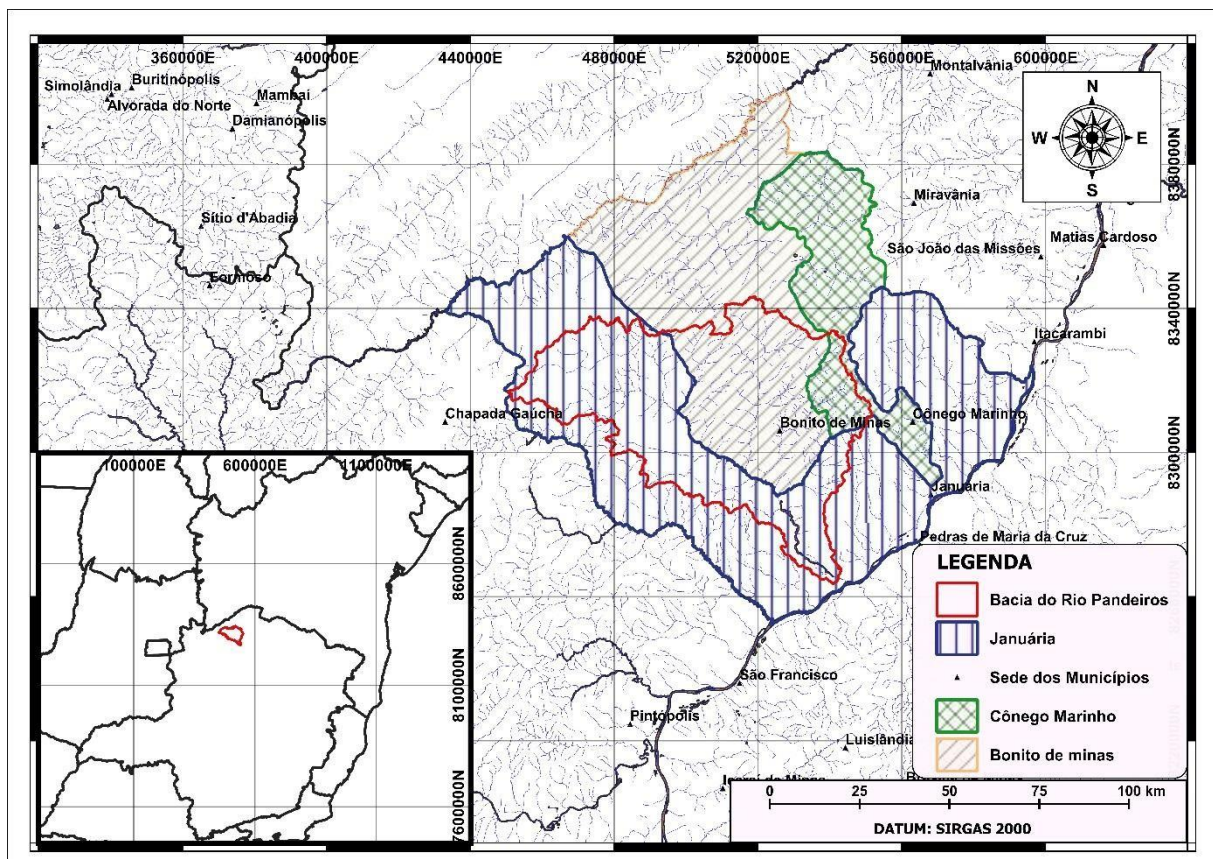


Figura 1- Localização da bacia hidrográfica do rio Pandeiros. Fonte: Autor do trabalho

Importância da bacia hidrográfica do rio Pandeiros

O único pântano do Estado de Minas Gerais é destaque na bacia por ser um ambiente importante para a conservação do patrimônio natural (BETHONICO, 2009), uma área que abriga diversificada fauna/flora e funciona como zona de amortecimento para os sedimentos que chegam ao baixo curso do rio (GOMES *et al.*, 2017). O nível de base da bacia do rio Pandeiros na sua foz é o rio São Francisco, que se mostra crucial para a existência do pântano, quando a cota do rio São Francisco está elevada influencia diretamente para a inundação do pântano (OLIVEIRA, 2019). Em volta do pântano existe um conjunto de lagoas marginais que se interligam no período de chuvas, sendo utilizadas como berçários de peixes na piracema do rio São Francisco (NUNES *et al.* 2009).

O rio Pandeiros, devido à sua importância ecológica, principalmente relacionada à ictiofauna, tem sido citado em legislações do Estado de Minas Gerais relacionadas à preservação ambiental, como a Lei 10.629 de 1992 que define os rios de preservação permanente (MINAS GERAIS, 1992) e a Lei 11.901 de 1995 que declara de proteção ambiental as áreas de interesse ecológico situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros (MINAS GERAIS, 1995).

Apesar do ano de 1992 parecer recente para se ter preocupação com o meio ambiente, isso foi pouco depois da promulgação da Constituição Federal de 1988 que apresentou pela primeira vez o termo meio ambiente e com capítulo próprio (BRASIL, 1988). Posteriormente, a Lei 10.629 de 1992 foi revogada pela Lei 15.802 de 2004, que dispõe sobre os rios de preservação permanente e manteve o rio Pandeiros como tal (MINAS GERAIS, 2004c).

Em 2004 foram sancionados muitos documentos legais relacionados ao rio Pandeiros, dentre eles o que proíbe a pesca em toda a sua extensão dado pelo decreto 43.854 de 2004 (MINAS GERAIS, 2004a), que alterou o artigo 14 do decreto de número 43.713 do mesmo ano (MINAS GERAIS, 2004b), que regulamenta a Lei 14.181 de 2002, que dispõe sobre a política de proteção à fauna e à flora aquáticas e de desenvolvimento da pesca e da aquicultura no Estado. O Refúgio Estadual de Vida Silvestre do Rio Pandeiros também foi criado em 2004 pelo decreto nº. 43.910 (MINAS GERAIS, 2004b). E em 2008 foi sancionado o Decreto, sem número, de 13/08/2008 que declara de utilidade pública e de interesse social alguns parques estaduais e o Refúgio Estadual de Vida Silvestre do Rio Pandeiros, que assim passa a integrar o Sistema Estadual de Unidades de Conservação (MINAS GERAIS, 2008).

Flora

A região da bacia encontra-se em área de mudança de biomas do cerrado com a caatinga, em um gradiente que se desenvolve no sentido sudoeste/nordeste, passando de áreas típicas do cerrado a áreas sob influência de contingentes vegetacionais oriundos da caatinga (IGAM, 2014).

A maior parte da vegetação encontrada na bacia é do bioma Cerrado, com variadas fitofisionomias sendo as principais: Cerrado ralo (43%), Cerrado típico "Cerradão" (23%), Campo limpo (5%) e Floresta Decídua "mata seca" (5%). E entre estes incidem algumas espécies de plantas típicas da Caatinga (FONSECA et al., 2008). Segundo o IGAM (2014) a ocorrência dessas fitofisionomias está relacionada diretamente as propriedades do solo, incluindo profundidade, fertilidade e capacidade de drenagem, além do grau de interferência humana.

De acordo a classificação de Köppen, o clima dominante na região da bacia hidrográfica do rio Pandeiros é o tropical de savana (Aw), típico de determinadas estações, chuvosa no verão e bem seca no inverno (DIAS; MOSCHINI; TREVISAN, 2017).

Fauna

Uma das grandes importâncias dentro de uma área de proteção ambiental é o conhecimento do potencial ecológico da flora e fauna da região. E se tratando da bacia do rio Pandeiros, uma APA de grande porte, se enquadra como uma área prioritária para a conservação de toda a biodiversidade, com importância especial para mamíferos, invertebrados, aves, reptéis e anfíbios (DRUMOND et al., 2005).

Quanto à ornitofauna, a APA apresenta alta diversidade, devido a natureza transicional da área, com a presença de 315 espécies de aves, com 8 espécies endêmicas do cerrado e 5 da caatinga (LOPES et al., 2010). A mamofauna na APA Pandeiros possui uma riqueza de 10 espécies de pequenos mamíferos (CARVALHO, 2016). Nas margens do rio Pandeiros, próximo à sua foz, há presença de lagoas e nelas a ictiofauna se mostra diversificada com a presença de 14 espécies de peixes (SOUZA, 2016).

Usos da Terra e características físicas

A bacia se desenvolveu sobre rochas sedimentares siliciclásticas dos Grupos Urucua e Areado, datados do Cretáceo, sendo o primeiro estratigraficamente mais elevado e predominante em termos de área ocupada do que o segundo. Em boa parte da área encontra-se rochas intemperizadas expondo coberturas detríticas com sua predominância em Neossolos Quartzarênicos e Litólicos. Nas regiões mais à jusante da bacia, houve maior encaixamento provocado pela erosão fluvial, rochas de formações do Grupo Bambui, em especial os calcários, já estão expostas, indicando o grande retrabalhamento geomorfológico ali ocorrido. Na região a montante da bacia encontra-se rochas do Grupo Urucua, formado por areias mais avermelhadas com relevo ondulado de planalto. O reafeiçoamento provocado pelo encaixamento dos vales, no entanto, criou relevos mais abruptos, nos quais se destaca as regiões de cabeceiras, que formam rupturas acentuadas de declive, indicando áreas propícias a erosão (BANDEIRA et al., 2018).

As ações antrópicas na bacia do rio Pandeiros foram intensificadas por volta do século XVIII com a formação de currais destinados para a pecuária de corte com acréscimo nas décadas de 1960/70 e 1980 com a produção de carvão vegetal extraído de grandes áreas de reflorestamento com eucalipto (BETHONICO, 2009).

Na região da bacia hidrográfica do Rio Pandeiros, a distribuição de altitudes variam entre 450 m a pouco mais de 800 metros de altitude (Figura 2). Na área do pântano existem áreas mais baixas entre 432 a 442 podendo ser caracterizadas como depressões, nesta altitude o canal do rio são Francisco é o nível de base (OLIVEIRA, 2019).

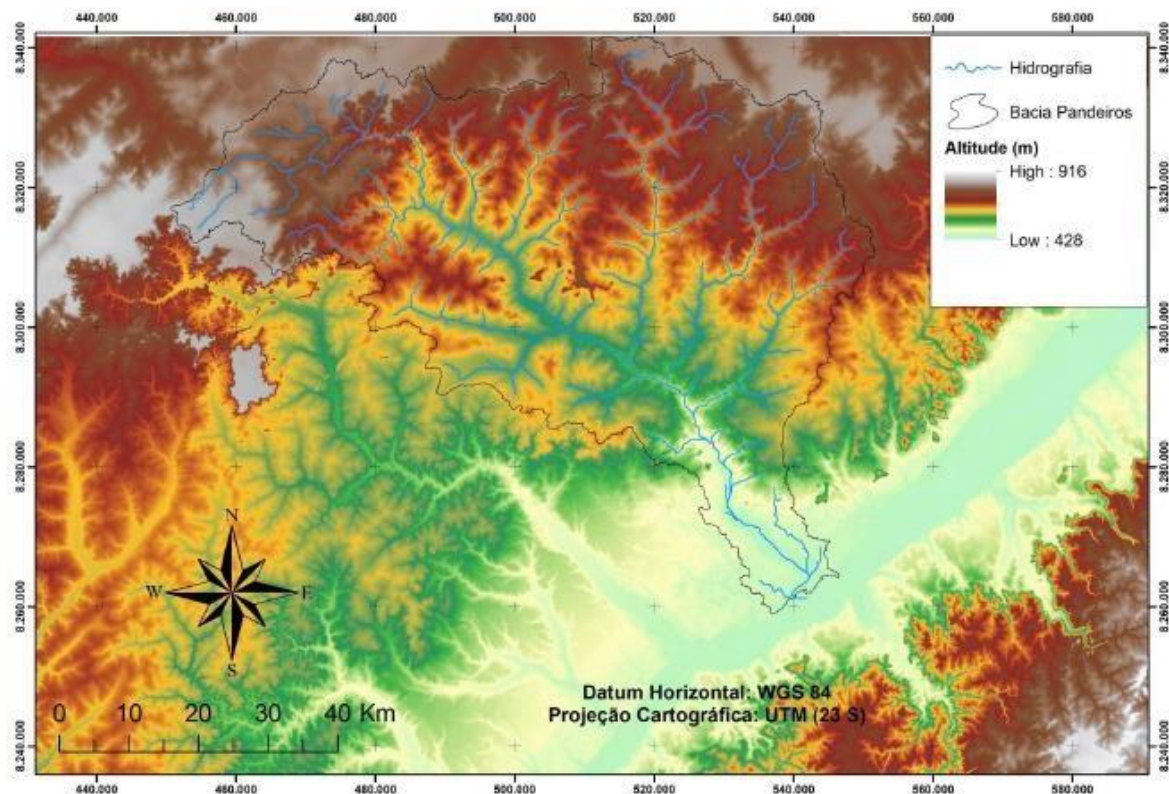


Figura 2 - Mapa hipsométrico da Bacia do Rio Pandeiros. Fonte: CDTN

A bacia hidrográfica do rio Pandeiros apresenta aumento natural da declividade pelo sistema de drenagem, e quando temos a retirada da cobertura do cerrado e das veredas, seja ela antrópica ou natural, isso impulsiona mais ainda o processo de erosão, se tornando um dos problemas mais perceptíveis na bacia no ponto de vista hídrico e ecológico (BANDEIRA et al., 2018). Pela análise preliminar da bacia constatou-se a presença de aproximadamente 430 voçorocas ocorrendo de maneira generalizada em toda a área, sendo mais frequente na parte superior da bacia. Isso demonstra a possibilidade de realocação expressiva de sedimentos para o fundo do vale (BANDEIRA et al., 2018).

Essas informações demonstram a importância de se monitorar a vazão e o transporte de sedimentos no rio Pandeiros para se conhecer os riscos de assoreamento e contaminação do pântano que apresenta relevante função ecológica para a bacia do rio São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse trabalho foi utilizada a base de dados de campanhas de medições de vazão líquida e do transporte de sedimentos de uma das estações de monitoramento da pesquisa realizada na bacia do rio Pandeiros pelo Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) juntamente com o Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG) e o Instituto Federal do Norte de Minas Gerais (IFNMG), de Januária. Projeto executado com recursos provenientes do Edital de fomento13/2014, Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros (Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros), da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG).

Afim de realizar a caracterização qualitativa e quantitativa de parâmetros hídricos e sedimentométricos da rede de drenagem do Rio Pandeiros foram instaladas cinco estações hidrossedimentométricas no trecho do rio, em setembro de 2016. O ponto de estudo é a estação localizada no início da área pantanosa do rio Pandeiros, a 457 m de altitude, na fazenda Agropop, e na mesma campanha foram instalados três pluviógrafos próximos às cabeceiras dos córregos São Domingos, Lavrado e Borrachudo, a localização das estações utilizadas nesse estudo, na bacia do rio Pandeiros, podem ser observadas na Figura 03.

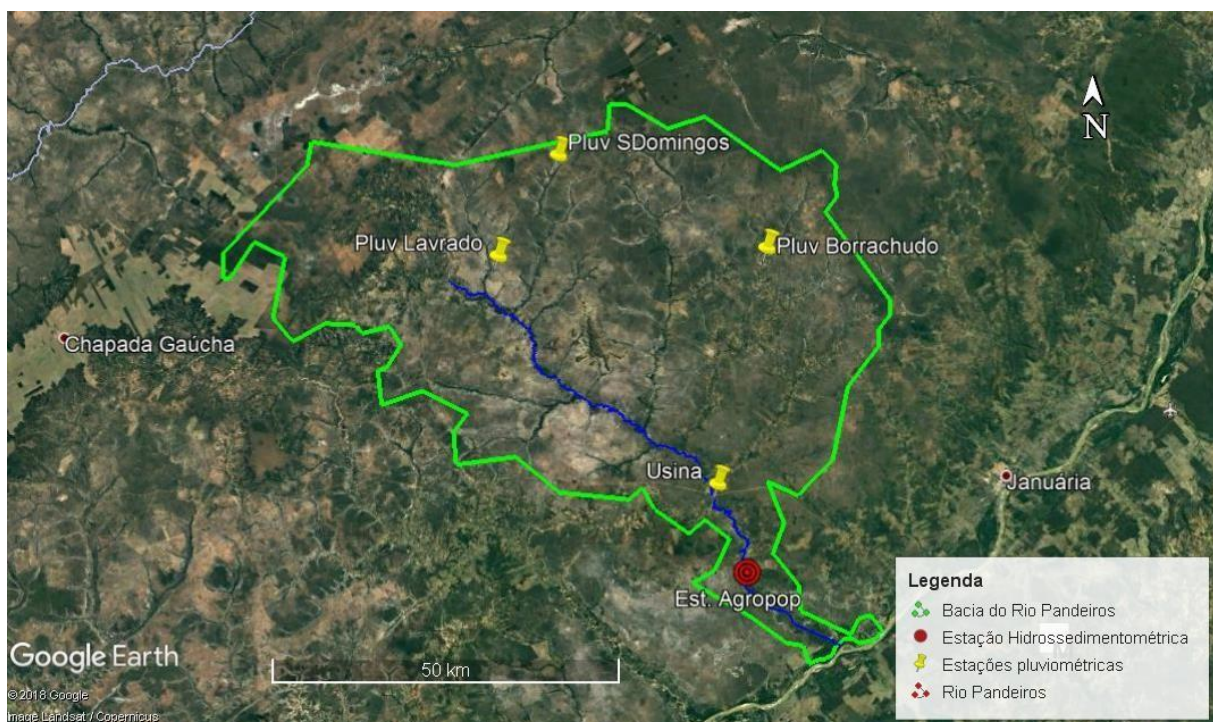


Figura 3 - Localização da estação hidrossedimentométrica P5-Agropop localizada no início do pântano do Rio Pandeiros e estações pluviométricas na bacia do rio Pandeiros. Fonte: Google Earth.

A estação hidrossedimentométrica possui régua linimétrica, com sensor de pressão *in situ* e *datalogger* programado para medição e armazenamento dos dados de níveis de água a cada 30 minutos. As estações pluviográficas foram equipadas com pluviógrafos Squitter dotados de *datalogger* (Figura 4). Essas estações foram instaladas nas localidades de São Domingos, Lavrado e Borrachudo.

Os dados de nível da água e de precipitação começaram a ser coletados e analisados a partir de setembro de 2016. E os dados que possibilitam o cálculo do transporte de sedimentos tiveram a sua coleta iniciada em dezembro de 2016 com amostradores de sedimento em suspensão e de arraste.



Figura 4. Coleta de dados na estação pluviográfica instaladas na bacia do rio Pandeiros na comunidade do borrachudo, Fonte: autor.

Medidas de Vazão

As medições regulares de vazão líquida foram feitas com molinete Gurley-Price, medidor de velocidade de corrente, baseado na rotação de um rotor para maiores vazões do rio, com barco ancorado, ou com Flowtracker, equipamento acústico baseado no efeito Doppler

que era utilizado para profundidades do nível da água no rio menores que 1,2 m, com medição a váu. A velocidade da corrente foi medida em várias verticais ao longo da seção transversal. A quantidade de verticais medidas foi estabelecida em função da largura da seção transversal do curso de água, e a quantidade de medições de velocidades nas verticais foi definida em função da profundidade da mesma (DNAEE, 1977). A vazão líquida foi obtida multiplicando-se a velocidade pela área da seção transversal e somando-se as vazões de todas as seções.

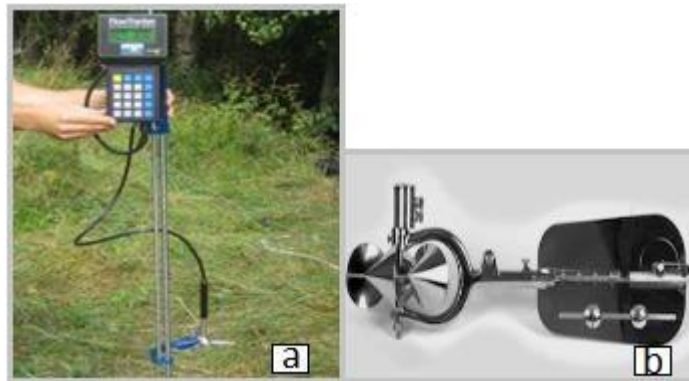


Figura 5. Equipamentos utilizados para medição de vazão no rio Pandeiros. (a) Flowtracker ; (b) molinete para determinar a velocidade de corrente Fonte: Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros (Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros).

Medidas de sedimento em suspensão

Realizou-se também coletas de sedimento em suspensão, ao longo das verticais distribuídas nas seções definidas. Nas coletas em que o nível do rio estava mais baixo possibilitando a coleta a váu (<1,2 m), utilizou-se amostradores DH-48, e nas coletas feitas em épocas de chuvas, com nível hídrico elevado no rio, quando foi necessário a utilização do barco, utilizou-se o amostrador DH-59 (Figura 6).

A metodologia empregada para a coleta foi o procedimento integrado, realizando-se a descida do aparelho em cada vertical, da superfície ao fundo, em uma velocidade constante buscando a homogeneidade da amostra (CARVALHO, 1994). Ao final da fase de coleta, as amostras foram encaminhadas ao laboratório de solos do IFNMG - *campus* Januária, na recepção, as amostras eram registradas e determinado o volume amostral.

Para realizar as análises dos sedimentos de suspensão foram utilizados filtros de celulose de 0,45 micrômetros que são enumerados e pesados em balanças semi-microanalítica. As amostras com seu respectivo filtro foram submetidas a filtração a vácuo, onde todo o particulado suspenso é retido. Em seguida os filtros de celulose eram submetidos à secagem em estufa de esterilização a 105 °C, por uma hora, a fim de retirar a umidade, posteriormente, o filtro era colocado no dessecador até atingir a temperatura ambiente e pesado novamente.

As amostras que apresentaram elevada concentração de particulados foram submetidas a uma prévia filtração a vácuo utilizando filtro qualitativo de 27 micrômetros, esse procedimento foi realizado afim de evitar a saturação do filtro de 0,45 micrometros. Quando era realizada a prévia filtração utilizava-se os mesmos procedimentos de registro, pesagem e repesagem feitos com o filtro de 0,45 micrômetros e o total era obtido pela soma dos sedimentos coletados nos dois filtros.



Figura 6. Amostradores de sedimento em suspensão. (a) Amostrador DH-48 (medição à vácu); (b) amostrador DH-59 (medição a partir de embarcação com guincho). Fonte: Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros (Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros).

Medidas de sedimentos de fundo

A amostragem de sedimentos de arraste do fundo foi feita através de amostradores Helley-Smith (Figura 7), colocado em diversas verticais distribuídas adequadamente ao longo de todas as seções, com permanência de cinco minutos em cada seção. Os volumes coletados em cada vertical foram armazenados em sacos plásticos e identificados. As amostras de sedimentos de fundo também foram analisadas no laboratório de solos do IFNMG *campus* Januária. Ao chegar ao laboratório eram transferidas para béqueres de 1 L e colocadas em estufa

a 105° C para retirada da umidade. Em seguida os béqueres eram resfriados no dessecador até atingirem a temperatura ambiente e após isso realizava-se a pesagem total.

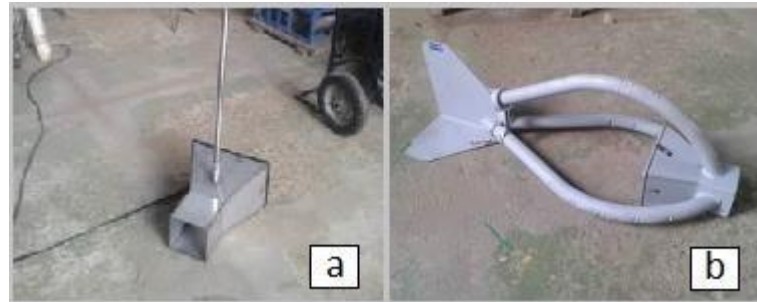


Figura 07. Coleta de sedimento de arraste. (a) Amostradores Helley Smith Medição a vau; (b) coleta a partir de embarcação, com guincho. Fonte: Projeto Sustentabilidade da Bacia do Rio Pandeiros (Linha Temática: Dinâmica de Vertentes da Bacia do Rio Pandeiros).

De posse do conjunto de dados da estação, de vazão, transporte em suspensão e de fundo, bem como do valor do nível da água considerado para cada medição, calculou-se as curvas-chave, equações que relacionam:

1. Nível x Vazão;
2. Vazão x Transporte em suspensão;
3. Vazão x Transporte de fundo.

Estas curvas-chave permitem obter, a partir da leitura do nível da água (a mais fácil e menos trabalhosa das medições), a vazão na estação e o transporte em suspensão, o de fundo e o transporte total, que é a soma dos dois. Com registro contínuo de nível, estas informações podem ser obtidas ao longo do tempo.

Para dar confiabilidade às equações que relacionam cada par de parâmetros, foram realizadas 20 campanhas para medição de vazão, transporte de sedimentos em suspensão e transporte de sedimentos de fundo. Essas campanhas foram feitas de dois em dois meses, em intervalos próximos a 60 dias nos meses sem chuva. E no período chuvoso, que é o mais crítico, as medições foram feitas a cada 30 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desse trabalho consideram as campanhas hidrossedimentométricas efetuadas entre dezembro de 2016 e abril de 2018, analisando dados dos períodos seco e chuvoso e compreende um ano hidrológico completo (novembro de 2016 a outubro de 2017) e um período chuvoso consecutivo completo (novembro de 2017 a abril de 2018). Os dados de chuva (mm) coletados nas três estações pluviográficas (São Domingos, Lavrado e Borrachudo) dentro da bacia, entre novembro/2016 e abril/2018 estão apresentados na Figura 8.

Como era esperado para a região, a precipitação se acumulou no período chuvoso e o período seco foi bem definido. E a precipitação acumulada no período chuvoso do segundo ano hidrológico (novembro de 2017 a abril de 2018) foi quase o dobro da acumulada no período chuvoso do primeiro ano (novembro de 2016 a abril de 2017). Assim, as medições sedimentométricas, iniciadas em dezembro de 2016, contemplaram dois períodos chuvosos distintos.

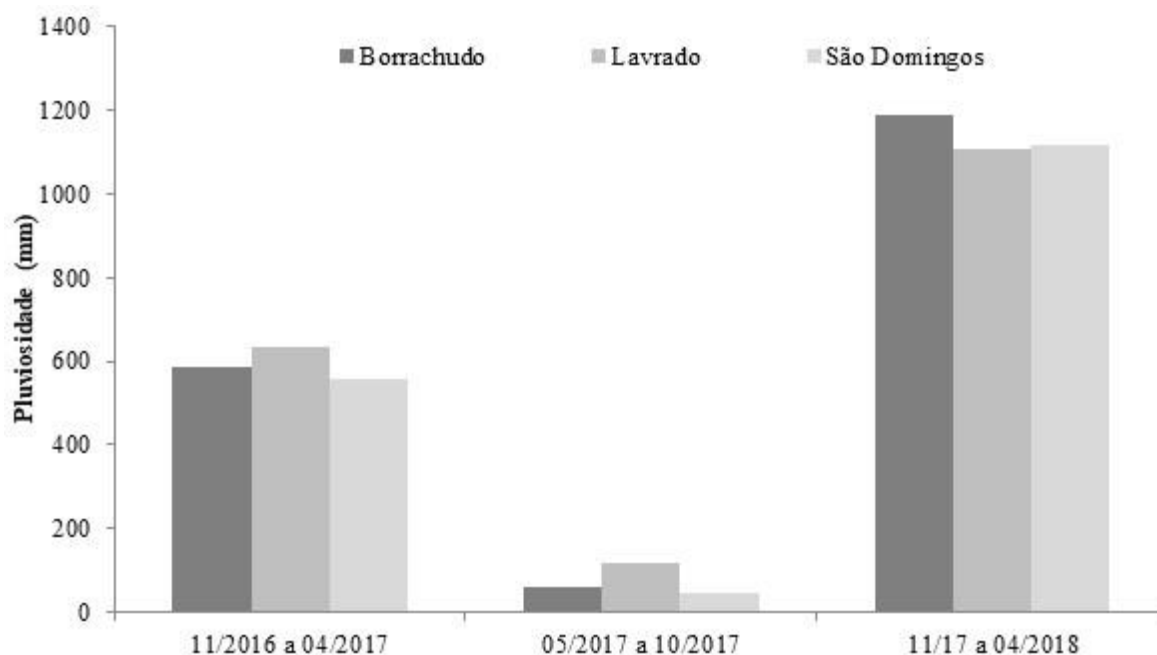


FIGURA 8. Precipitação acumulada nos períodos chuvosos e secos na bacia do rio Pandeiros.

Constata-se que totais precipitados entre as estações da bacia foram semelhantes, demonstrando que as chuvas são homogêneas na área em que as estações foram instaladas,

conforme já apresentado na Figura 3. A precipitação anual da Área de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros, fica em torno dos 1.057,4mm, os meses mais secos estão entre abril e setembro e os meses de maior precipitação, outubro a março, com um total anual precipitado de 91% (BETHONICO, 2009).

A curva chave de vazão em função do nível da água no leito do rio, para o local de medição em estudo, foi ajustada pela função matemática polinomial de segunda ordem (FIGURA 9), que proporcionou o maior coeficiente de correlação (R^2). Considerando que a pluviosidade do segundo ciclo hidrológico avaliado se aproxima da média anual na bacia, constata-se que o rio Pandeiros apresenta vazões de cheias, de alta frequência, em torno de $20 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. E para períodos secos, a vazão mínima é em torno de $5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

As medições de vazão foram realizadas desde setembro de 2016 e apesar da diferença nas precipitações acumuladas nos dois períodos chuvosos, a vazão não foi determinada em períodos de grande cheia, com o nível de água no rio Pandeiros aumentando apenas em 1 m para as maiores vazões determinadas. Para que a curva chave possa ter maior representatividade é necessário determinar vazões para maiores níveis de água. Esta observação também se aplica para as curvas chave de vazão em função do transporte de sedimentos em suspensão e vazão em função do transporte de sedimentos de fundo.

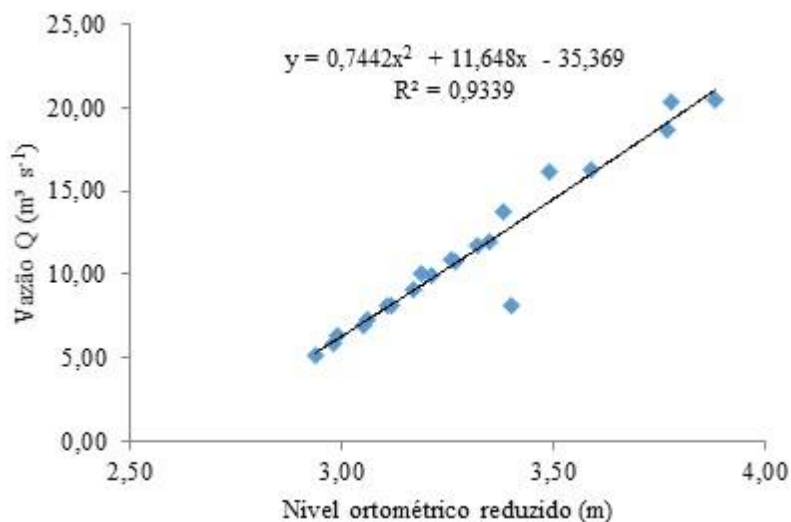


Figura 9 - Curvas chave da vazão em função da altura da água no leito do rio Pandeiros, na estação hidrossedimentométrica Agropop. A altura das réguas linimétricas foram reduzidas de 455 m.

A curva-chave de vazão em função do transporte em suspensão (FIGURA 10) apresentou coeficiente de correlação (R^2) de 0,78. Isso está relacionado à dispersão dos dados em relação às linhas de tendência. E foram realizadas poucas medições para as maiores vazões,

além de não se ter vazões muito elevadas, o que proporcionaria melhor representatividade da equação.

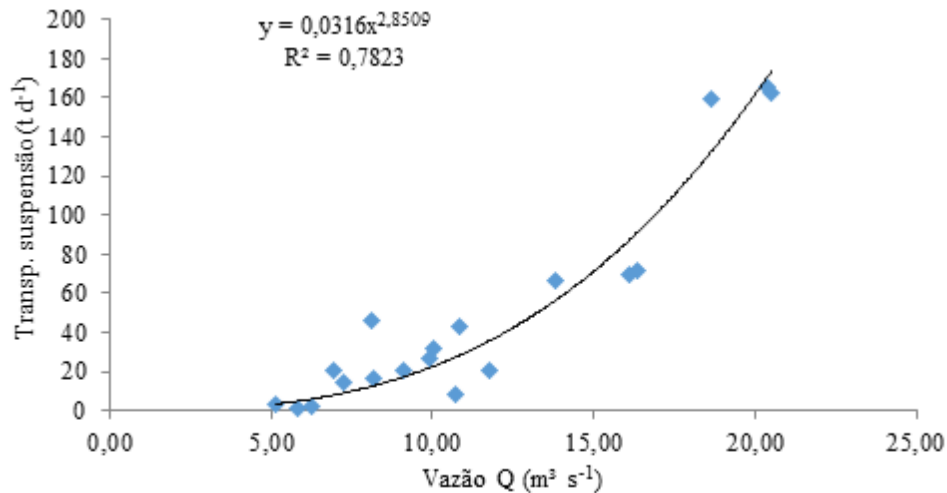


Figura 10 - Curva chave de vazão em função do transporte de sedimentos em suspensão da estação hidrossedimentométrica Agropop no rio Pandeiros.

Para melhorar a representatividade e ajuste das curvas chave de vazão em função do transporte de sedimentos, essas podem ser desmembradas em dois ou mais segmentos ao longo do intervalo de variação de nível da água, em função do regime do rio na estação seca e estação chuvosa (CARVALHO, 2008). Consta-se que vazões baixas, entre 5 e 10 m³ s⁻¹ não aumentam consideravelmente o transporte de sedimentos em suspensão, enquanto que o aumento da vazão de 10 para 20 m³ s⁻¹ promove aumento no transporte de sedimentos da ordem de 700%. Para as maiores vazões isso pode ser influenciado pelas chuvas e no período seco, como não há erosão hídrica, o transporte de sedimentos diminui consideravelmente.

Utilizando-se a mesma metodologia de campo do presente trabalho, com medições feitas apenas entre novembro e fevereiro, para obtenção da vazão e carga sólida do Rio São Francisco Falso no Paraná, que apresentou vazões no período de 3 a 15 m³ s⁻¹, constatou-se coeficiente de regressão (R²) de 0,9895 (POLETTTO, 2007). O que demonstra a alta correlação quando a análise de sedimentos é feita por períodos bem definidos.

Estações que apresentam baixa correlação entre os parâmetros de transporte em suspensão e vazão podem ser influenciadas por um fenômeno específico, como, por exemplo, estar a jusante de uma represa (MORAIS, 2015). Esse fator deve ser levado em consideração, visto que no rio Pandeiros existe uma pequena central hidrelétrica (PCH) que foi desativada justamente pela elevada presença de sedimentos no canal que alimentava as turbinas. E ela está a jusante da estação hidrossedimentométrica estudada.

A curva chave de vazão em função do transporte de sedimento de fundo (FIGURA 11) foi a que apresentou menor valor de coeficiente de correlação (R^2), apresentando considerável dispersão dos dados em relação à linha de tendência. Isso demonstra que o transporte de sedimentos de fundo teve pouca relação com a vazão. Uma possível explicação seria a baixa declividade do local de coleta, que já está na zona de amortecimento, nas proximidades do pântano, como apresentado na Figura 3 e também na Figura 2. E a presença da PCH que já está bastante assoreada, mas pode reter, especialmente, o sedimento de fundo.

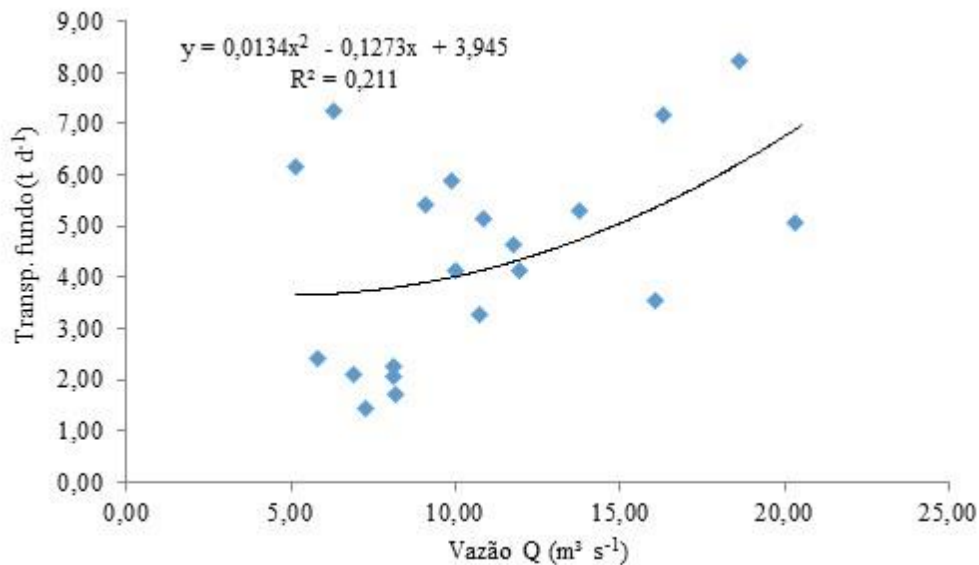


Figura 11 - Curva chave de vazão em função do transporte de sedimentos de fundo da estação hidrossedimentométrica Agropop no rio Pandeiros.

O transporte de sedimento de fundo variou de 1,4 a 8,2 t d^{-1} , enquanto que o transporte de sedimentos em suspensão, já apresentado, variou de 1,6 a 162 t d^{-1} . Geralmente, o transporte de sedimento de fundo representa pouco do total de sedimentos, os que estão em suspensão em um rio representam cerca de 90% ou mais, do transporte total (BANDEIRA et al., 2018).

Após definição das curvas chaves, estimou-se a produção mensal de sedimentos em função da vazão obtida pelas alturas da água registrada na sonda de nível da estação hidrossedimentométrica Agropop em estudo (FIGURAS 12, 13 e 14). O gráfico de transporte mensal de sedimento suspenso (FIGURA 12) demonstra que no período em estudo, o primeiro ciclo de chuvas (novembro de 2016 a abril de 2017), com menor pluviosidade média acumulada (592 mm), não proporcionou considerável aumento no transporte de sedimentos suspenso no rio Pandeiros que foi no máximo de 1.098 t mês^{-1} em fevereiro (213 mm). Já no segundo período chuvoso (novembro de 2017 a abril de 2018), em que todos os meses apresentaram alta

precipitação acumulada (1138 mm), a produção de sedimentos suspensos foi muito maior, chegando ao máximo de 7.400 t mês⁻¹ em janeiro (289 mm).

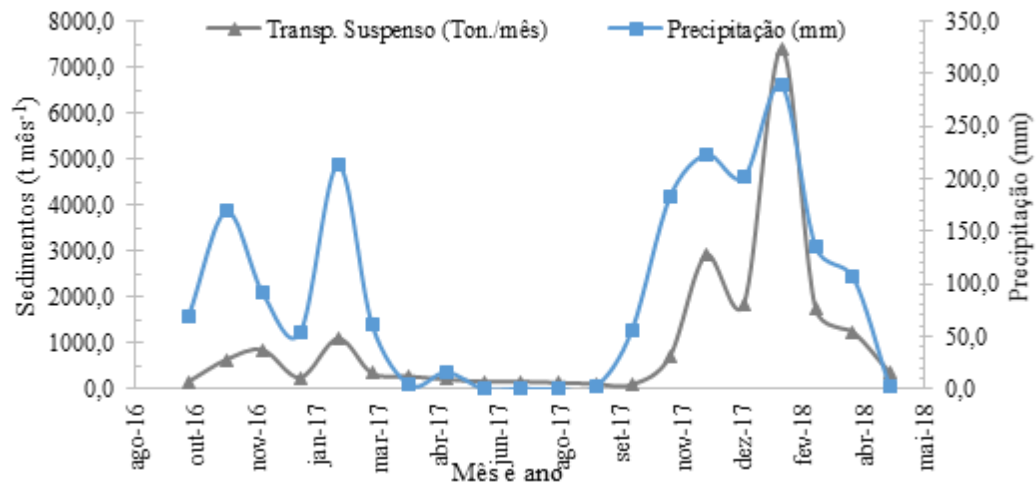


Figura 12 - Precipitação mensal e transporte de sedimento em suspensão estimado em estação hidrossedimentométrica instalada à montante do pântano do rio Pandeiros em Minas Gerais.

O transporte mensal de sedimento de fundo (FIGURA 13) também apresentou o comportamento observado para o sedimento em suspensão, contudo, a magnitude foi bem menor no período chuvoso, como esperado pela análise da curva chave de transporte de sedimento de fundo em função da vazão. O valor máximo de transporte mensal de sedimento de fundo foi de 222 t mês⁻¹, no mês de fevereiro de 2018. No período seco a quantidade de sedimento de fundo se assemelha à de sedimentos em suspensão.

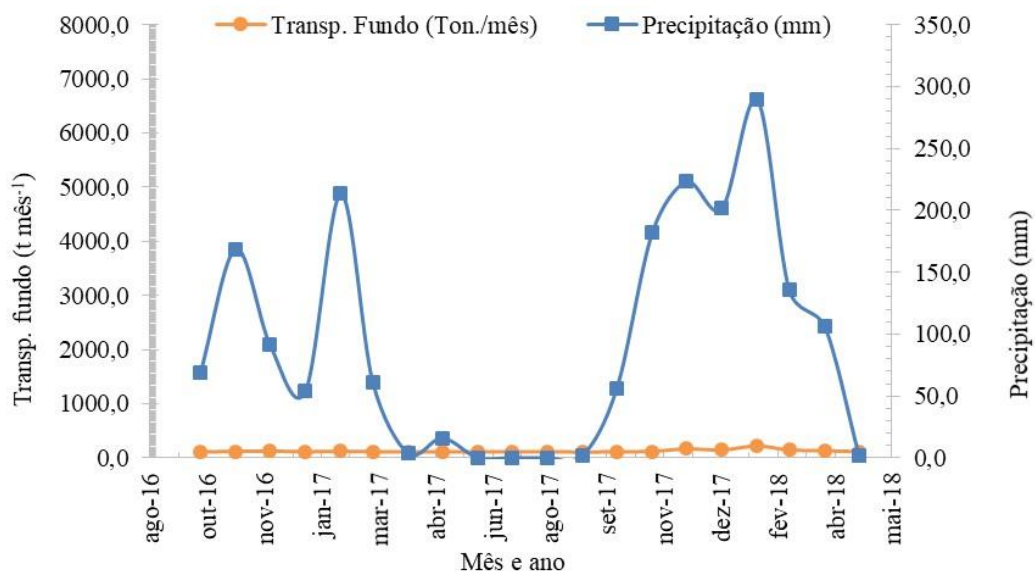


Figura 13 – Precipitação mensal e transporte de sedimento de fundo estimado em estação hidrossedimentométrica instalada à montante do pântano do rio Pandeiros em Minas Gerais.

A análise mensal do transporte total de sedimentos (FIGURA 14) apresentou comportamento semelhante ao transporte mensal de sedimento suspenso, devido à grande diferença entre os valores de produção de sedimento suspenso e de fundo.

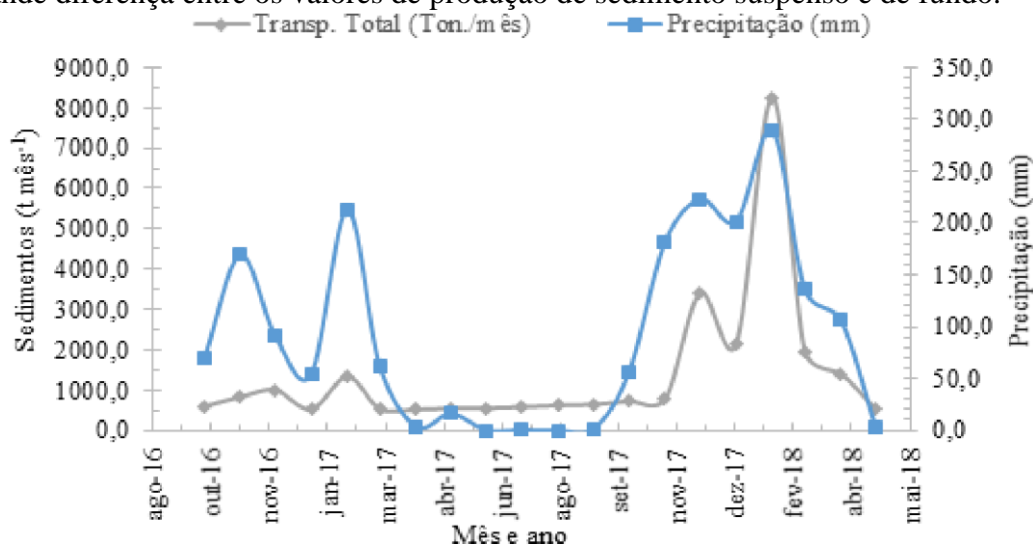


Figura 14 - Precipitação mensal e transporte total de sedimento estimado em estação hidrossedimentométrica instalada à montante do pântano do rio Pandeiros em Minas Gerais.

Os transportes mensais de sedimentos foram somados por semestre (TABELA 2) e confirmando os resultados já apresentados de grande diferença entre os períodos secos e chuvosos. E ressalta a influência do segundo período chuvoso (novembro de 2017 a abril de 2018) no transporte de sedimentos em suspensão, com total geral de 16.811 toneladas, enquanto que no primeiro período chuvoso o total geral foi de 4.172 toneladas.

Tabela 2 - Transporte semestral de sedimento de suspensão, de fundo e total (toneladas) na estação hidrossedimentométrica Agropop no rio Pandeiros.

Sedimento	Sedimento	Transporte
Semestre		
em suspensão	de fundo	Total
11/2016 a 04/2017	713	4172
05/2017 a 10/2017	674	1562
11/2017 a 04/2018	936	16811

Em escala anual a quantidade de sedimentos que passa na calha do rio é entendida como descarga sedimentar ou descarga específica (PETTS, 1983), medida feita em unidade de tempo de massa por área ($t\ km^{-2}\ ano^{-1}$). Utilizando os valores de transporte total e somando o período

de maio de 2017 a outubro de 2017 e o de novembro de 2017 a abril de 2018, o valor de transporte de sedimentos totais é de 18.373 toneladas. A área da bacia à montante da estação hidrossedimentométrica em estudo é de 3.802,16 km². Esses valores produzem a descarga específica de 4,83 t km⁻² ano⁻¹.

A descarga específica em uma área de drenagem, quando a geração de sedimentos for menor que 70 t km⁻² ano⁻¹ poderá ser considerada como baixa (LIMA *et al.*, 2003). Poletto (2007), encontrou a descarga sólida em suspensão de 5, 0 t km⁻² ano⁻¹ no Rio São Francisco Falso com área da bacia de 520,96 km².

Valores baixos de descarga específica demonstra boas condições de preservação na bacia hidrográfica. Apesar de ser classificado como baixa produção de sedimentos, esse valor é concentrado no período chuvoso, visto que os meses secos não apresentam considerável transporte de sedimentos. E a estação hidrossedimentométrica em estudo está próxima à foz do rio, o que suaviza a produção de sedimentos devido à elevada área de influência e redução da declividade.

Para complementar esse estudo é necessário avaliar a produção de sedimentos em outros pontos à montante para verificar a magnitude do assoreamento ao longo da calha do rio, especialmente nas áreas próximas aos divisores topográficos, em que a declividade é mais acentuada, como apresentado no mapa ipsométrico (Figura 2). E também elucidar a influência do reservatório da PCH no transporte de sedimento. As características de um fluxo hídrico são alteradas a jusante de uma barragem, a água tende a sair com uma menor carga sedimentar e com uma maior velocidade (FILHO, 1999). Desteffani *et al.*, (2004) avaliando os impactos produzidos por uma barragem construída no Rio Paraná em Porto Primavera, constataram a redução rápida de carga suspensa do rio, que ficou armazenada na zona da barragem.

E ainda, a estação hidrossedimentométrica está à montante do pântano do rio Pandeiros e boa parte da sua contribuição de sedimentos poderá ficar retida nessa área de baixa velocidade da água devido aos muitos meandros, calhas largas que podem amortecer a vazão, elevada quantidade de plantas aquáticas e lagoas marginais. E o pântano de Pandeiros também recebe a água do rio São Francisco no período chuvoso (OLIVEIRA, 2019) e, portanto, recebe sedimentos dos dois lados, o que reforça a necessidade de se evitar a produção de sedimentos na bacia do rio Pandeiros.

CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante o período de desenvolvimento do trabalho, as vazões determinadas no rio Pandeiros variaram de 5 a 20 m³ s⁻¹ e estão associadas ao aumento de 1 m no nível da água. O transporte de sedimentos em suspensão variou de 1,6 a 162 t d⁻¹ enquanto que o transporte de sedimento de fundo variou de 1,4 a 8,2 t d⁻¹. Em condições de baixa vazão, especialmente no período seco do ano, os sedimentos em suspensão e de fundo apresentam valores semelhantes. No período chuvoso a produção de sedimentos em suspensão é muito superior à de sedimentos de fundo. A descarga específica de sedimentos do rio Pandeiros para o período de estudo foi de 4,83 t km⁻² ano⁻¹ e pode ser classificada como baixa.

É necessário dar continuidade aos trabalhos hidrossedimentométricos para se ter dados em períodos mais críticos de vazão, especialmente as cheias, que poderão estar associados a aumentos na produção de sedimentos. E assim obter séries de dados mais representativas. O aumento na quantidade de dados de transporte de sedimentos permitirá também dividir a curva chave em período chuvoso e período seco, o que poderá melhorar o ajuste das equações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANDEIRA, J. V.; SALIM, L.H.; CHAGAS, C.J.; CAMARGO, 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.** XIII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos I Partículas nas Américas. **Anais...**Vitória: ABRHidro, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2018.

BETHONICO, M. B. DE M. **RIO PANDEIROS: território e história de uma área de proteção ambiental no norte de Minas Gerais.** Revista ACTA Geográfica, p. 23–38, 2009.

BRASIL, 1988. **Constituição Federal de 1988.** Promulgada em 5 de outubro de 1988. Disponível em:

< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm >. Acesso em 20/11/2019.

BRASIL, 1997. **Lei N 9.433, de 8 de janeiro 1997.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9433.htm>. Acesso em: 22/10/2019.

CARVALHO, E. C. **Assembleia de pequenos mamíferos em uma região do Cerrado no norte de Minas Gerais.** 2016, 41 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2016.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia pratica.** 2a ed. Rio de janeiro: CPRM, 2008. 599p.

CARVALHO, N. O. **Guia de Práticas Sedimentométricas.** Agência Nacional de Energia Elétrica, Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 1994.

CARVALHO, N. O.; FILIZOLA JÚNIOR, N. P.; SANTOS, P. M. C.; LIMA, J. E. F. W.. **Guia de Práticas Sedimentométricas.** Brasília: ANEEL. 2000. 154p.

DESTEFANI, E. V.; SOUZA FILHO, E. E.; STEVAUX, J. C. **A erosão marginal nas ilhas mutum e carioca (PR-MS) antes e depois da UHE Porto Primavera (Engº Sérgio Motta).** In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia, 2004, Santa Maria-RS, 2004. IAG:UGB, 2004. p. 1-11.

DIAS, L. C. C.; MOSCHINI, L. E.; TREVISAN, D. P. **A Influência das Atividades Antrópicas na Paisagem da Área de Proteção Ambiental Estadual do Rio Pandeiros, MG - Brasil.** *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 2017.

DNAEE (1977). **Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. Manual para Serviços de Hidrometria.** BRASIL, Brasília.

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. **Biodiversidade em Minas Gerais: um atlas para sua conservação.** 2. ed. Belo Horizonte: Fundação Biodiversitas, 2005. 222p.

FILHO, E. E. S. **Avaliação preliminar das principais condicionantes da intensidade de processos erosivos nos canais do sistema de inundação do alto rio Paraná.** In : VIII Simp. Bras. de Geog. Física Aplicada, Ed. UFMG, Belo Horizonte – MG, p. p. 351 – 353, 1999 .

FONSECA, D.S.R.; NASCIMENTO, C.D.; MIRANDA, W.A.; FIGUEIREDO, F.P. **Diagnóstico do uso do solo e degradação ambiental na bacia hidrográfica do pandeirosmg como subsídio para estudos de impacto ambiental.** Universidade Federal de Minas Gerais - Instituto de Ciências Agrárias – ICA Montes Claros, MG – Brasil, 2011.

FONSECA, E. M. B.; GROSSI, W. R.; FIORINE R. A; PRADO, N. J. S. **PCH Pandeiros: uma complexa interface com a gestão ambiental regional.** Anais do VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas. Belo Horizonte: Anais do VI Simpósio Brasileiro sobre pequenas e médias centrais hidrelétricas, 2008.

GOMES, M O.; AUGUSTIN C.H.R; BITTENCOURT J.R.S. **Reconstituição Paleoclimática e paleoambiental na Bacia do Rio Pandeiros - MG, por meio de Análises Palinológicas e Isotópicas.** Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto Geociências, 2017.

GRIZIO-ORITA, V, E.; DEMETRIO A. J. **Diagnostico físico conservacionista para recuperação de Bacias Hidrograficas no noroeste do paraná**, 2002.

HOLEMAN, J. N., 1968, **The sediment yield of major rivers of the world: Water Resources Res.**, v. 4, p. 737-747.

IBIAPINA, A.V., et al. (2003). “**Evolução da hidrometria no Brasil.**” Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervopublica/doc/oestado/texto/121-138.html>. Acesso em: 29/11/2019

IGAM, 2014. **Plano diretor de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Pandeiros: resumo executivo**/ Consorcio Ecoplan-lume-skill. Belo Horizonte, 2014.

LIMA, J.E.F.W; SANTOS, P.M.C; CARVALHO, N.O; SILVA, E.M. **Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia Araguaia-Tocantins**. DF: Embrapa Cerrados; Brasília, DF: ANA; ANEEL, 116 p. 2003.

LOPES, L. E.; NETO, S. D.; LEITE, L. O.; MORAES, L. L.; CAPURUCHO, J. M. G. **Birds from Rio Pandeiros, southeastern Brazil: A wetland in an arid ecotone**. Revista Brasileira de Ornitologia, v. 18, n. 4, p. 267–282, 2010.

LOURES, R. S. **Cálculo analítico do diâmetro representativo da partícula do leito para emprego nas equações de cálculo do transporte de sedimentos em escoamento com superfície livre: o rio paraibuna como estudo de caso**. 2014. 65 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Juiz de Fora, juiz de fora, 2014.

MINAS GERAIS, 1992. **Lei 10.629, de 16 de janeiro de 1992**. Estabelece o conceito de rio de preservação permanente de que trata o artigo 250 da Constituição do Estado, declara rios de preservação permanente e dá outras providências. Minas Gerais, Diário do Executivo - 17/01/1992 pág. 11, col. 2.

MINAS GERAIS, 1995. **Lei 11.901, de 01 de setembro de 1995**. Declara de proteção ambiental as áreas de interesse ecológico situadas na Bacia Hidrográfica do Rio Pandeiros. Publicação - Minas Gerais, Diário do Executivo - 02/09/1995 pág. 2, col. 1.

MINAS GERAIS, 2004a. **Decreto 43.713, de 14 de janeiro de 2004.** Regulamenta a Lei nº 14.181, de 17 de janeiro de 2002, que dispõe sobre a Política de Proteção à Fauna e à Flora aquáticas e de desenvolvimento da pesca e da Aqüicultura no Estado e dá outras providências.

MINAS GERAIS, 2004b. **Decreto 43.910, de 05 de novembro de 2004.** Cria o Refúgio Estadual de Vida Silvestre do Rio Pandeiros no Município de Januária. Minas Gerais, Diário do Executivo - 06/11/2004 pág. 4, col. 1.

MINAS GERAIS, 2004c. **Lei 15.082, de 27 de abril de 2004.** Dispõe sobre rios de preservação permanente e dá outras providências. Minas Gerais, Diário do Legislativo - 28/04/2004, pág. 24, col. 2.

MINAS GERAIS, 2008. **Decreto Sem Número, de 13 de agosto de 2008.** Declara de utilidade pública e de interesse social os parques estaduais de Biribiri, Caminhos dos Gerais, Campos Altos, Itacolomi, Lapa Grande, Rio Corrente, Serra da Candonga, Serra do Cabral, Serra do Intendente, Serra Negra, Estação Ecológica da Mato do Cedro e Refúgio Estadual de Vida Silvestre do Rio Pandeiros. Minas Gerais, Diário do Executivo - 14/08/2008, pág. 2, col. 1.

MINAS GERAIS, 2013. **Lei 20.922, de 16 de outubro de 2013.** Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Minas Gerais, Diário do Executivo, 17/10/2013, pág. 1 col. 2.

MINELLA, J.P.G.; MERTEN, G.H. **Monitoramento de bacias hidrográficas para identificar fontes de sedimentos em Suspensão.** Santa Maria, Ciência Rural, v.41, n.3, mar, 2011.

MORAIS, R.C.S, **Estimativa de Produção e Transporte de Sedimentos na Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, Nordeste do Brasil.** Doutorando em Desenvolvimento e Meio Ambiente. 2015.UFC.

MOTA, S. **Gestão ambiental de recursos hídricos.** 3. ed., atual. e rev. Rio de Janeiro: ABES, 2008, 343 p.

NUNES, Y. R. F.; AZEVEDO, I. F. P.; NEVES, W. V.; VELOSO, M. D. M.; SOUZA, R. A.; FERNANDES, G. W. **Pandeiros: o Pantanal Mineiro**. MG.Biota, v. 2, n. 2, p. 4–17, 2009.

OLIVEIRA, D. A. **“Wetland” como unidade hidrogeomorfológica no contexto de transição entre a savana e o semiárido brasileiro: análise da dinâmica do pantanal da bacia de drenagem do Rio Pandeiros - mg**. 2019. 342 p. Tese (Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

PEIXOTO, R. A. O. **Estudo do transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Jordão – UPGRH-PN 1**. 2019. 146 p. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2019.

PETTS, G. E. **Rivers. - (Sources and methods in geography)**. 1. ed. Whitstable, Kent: Butterworth & Co Ltd, 1983.

POLETO, C. (Ed.) **Sedimentologia fluvial: estudos e técnicas**. Porto Alegre, RS: ABRH, 2014, v.1, 218 p.

POLETO, K.W.G. **Curva chave para monitoramento automático de sedimentos na Bacia do Rio São Francisco Falso**. Cascavel – Pr. 2007. 78. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Meio Ambiente) - Universidade Estadual do Oeste – UNIOESTE, PR. 2007.

ROCHA, O; PIRES, J.S.R.; SANTOS, J.E. **A Bacia hidrográfica do Rio Monjolinho: uma abordagem ecossistêmica e a visão interdisciplinar**. São Paulo: RIMA, 2000, 160p.

SOUZA, M. A. **Relações entre a ictiofauna e macrófitas aquáticas em lagoas do Rio Pandeiros, Minas Gerais**. 2016. 64 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2016.

TUCCI, C.E.M. **Água no meio urbano**. Instituto de pesquisas hidráulicas universidade Federal do Rio Grande do Sul. Cap 14. Livro água doce. Dezembro, 1997.