



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
FACULDADE DE ARQUITETURA, ENGENHARIA E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

Bruno Silva Martins

INFLUÊNCIA DAS BARRAGENS NAS SEÇÕES FLUVIAIS A JUSANTE DE
RESERVATÓRIOS EM RIOS TROPICAIS DA ZONA DE TRANSIÇÃO
CERRADO BRASILEIRO-AMAZÔNIA

CUIABÁ

2021

BRUNO SILVA MARTINS

INFLUÊNCIA DAS BARRAGENS NAS SEÇÕES FLUVIAIS A JUSANTE DE
RESERVATÓRIOS EM RIOS TROPICAIS DA ZONA DE TRANSIÇÃO
CERRADO BRASILEIRO-AMAZÔNIA

Artigo apresentado ao Programa de Pós-
Graduação em Recursos Hídricos da
Universidade Federal de Mato Grosso.

Orientador: Prof. Dr. Pierre Girard

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Aldecy de Almeida Santos
Prof. Dr. Olavo Correa Pedrollo
Prof. Dr. Frederico Terra de Almeida

CUIABÁ

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

S586i SILVA MARTINS, BRUNO.
INFLUÊNCIA DAS BARRAGENS NAS SEÇÕES FLUVIAIS
A JUSANTE DE RESERVATÓRIOS EM RIOS TROPICAIS DA
ZONA DE TRANSIÇÃO CERRADO BRASILEIRO-AMAZÔNIA
/ BRUNO SILVA MARTINS. – 2021
35 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Pierre Girard.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso,
Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação
em Recursos Hídricos, Cuiabá, 2021.
Inclui bibliografia.

1. Alterações a jusante. 2. Batimetria. 3. Barragens. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
PRÓ-REITORIA DE ENSINO DE PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Influência das Barragens nas Seções Fluviais a Jusante de Reservatórios em Rios Tropicais da Zona de Transição Cerrado Brasileiro - Amazônia

AUTOR (A): MESTRANDO (A) Bruno Silva Martins

Dissertação defendida e aprovada em **30 de SETEMBRO de 2021.**

COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA

1. Doutor(a) Pierre Girard (Presidente Banca / Orientador)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso
2. Doutor(a) Aldecy de Almeida Santos (Examinador Interno)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso
3. Doutor(a) Olavo Correa Pedrollo (Examinador Externo)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
4. Doutor(a) Frederico Terra de Almeida (Examinador Externo)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso
5. Doutor(a) Jhonatan Barbosa da Silva (Examinador Suplente)
INSTITUIÇÃO: Universidade Federal de Mato Grosso

CUIABÁ, 30/09/2021.



Documento assinado eletronicamente por **PIERRE GIRARD, Docente da Universidade Federal de Mato Grosso**, em 07/10/2021, às 10:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

“É necessário exigir de todo o pesquisador, em qualquer campo da ciência, que demonstre a sociedade que seu trabalho tem valor para ela, assim como o tem para ele, pelo fato de satisfazer seu prazer pessoal, se espera que lhe preste ajuda à sociedade”.

(Newton Castagnoli)

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, e a minha esposa Anna Paola Martins que sempre me incentiva nos meus estudos e que participa de mais essa conquista da minha vida entendendo minhas dificuldades e me ajudando a superá-las.

Agradeço ainda a minha família, meu pai Belmiro Martins e mãe Maria dos Anjos pela compreensão e dedicação com que me apoiaram e que são responsáveis pelo que sou hoje.

Agradeço ao professor orientador Dr. Pierre Girard, da Universidade Federal de Mato Grosso, pelo suporte, correções e por sua paciência e ensinamentos para finalização desse trabalho.

A secretária Suelen E. Marçal, do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, da Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Cuiabá, por todo o suporte e atenção na orientação dos processos administrativos.

A Usina UHE Sinop representado pelo Eng^o Denitz Auler e UHE Rondon II representado pelo Eng^o Gilvan Silva e Eng^o Geferson Mello, por ter disponibilizado os dados hidrométricos para fazer parte dos estudos realizados nesse artigo.

Por fim, quero agradecer toda a equipe de docentes e técnicos do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Mato Grosso.

RESUMO

As usinas hidrelétricas são hoje a principal fonte de geração de energia elétrica no Brasil. A construção de uma barragem e formação de um reservatório sempre perturba as condições naturais de um curso d'água. Reservatórios retêm os sedimentos afluente devido à redução de velocidade da corrente. De acordo com a teoria de “rios famintos”, para compensar a perda em sedimentos, rios podem começar a escavar os próprios canais a jusante do reservatório. Estudamos 6 casos de barragens/reservatórios da zona de transição Cerrado-Amazônia a fim de verificar se a instalação da barragem modifica a morfologia dos canais a jusante do barramento em razão da erosão ocasionada por modificação da dinâmica de escoamento no canal. Para tanto foram levantando em campo a batimetria, a velocidade e os sedimentos em suspensão em seções de canal de rio a jusante e montante de duas barragens. Dados secundários dos mesmos parâmetros em 4 outras barragens desta zona foram também obtidas. Não se observou redução consistentes de sedimentos em suspensão ou de velocidade da água nas seções a jusante de barragens após a construção destas. No entanto a maioria dos cursos d'água das UHEs avaliadas apresentou erosão das seções de canais de jusante do barramento. Estes resultados sugerem que a construção de hidrelétricas nem sempre causaram erosões a jusante das barragens em estudo e que este fenômeno não foi claramente associado a redução de carga em suspensão ou alteração da velocidade da água a jusante do barramento.

Palavras-chaves: Alterações a jusante, Batimetria, Barragens

ABSTRACT

Hydroelectric plants are today the main source of electricity generation in Brazil. The construction of a dam and formation of a reservoir always disturb the natural conditions of a watercourse. Reservoirs retain the influent sediments due to the reduction in current velocity. According to the “hungry rivers” theory, to compensate for the loss in sediment, rivers can start digging their own channels downstream of the reservoir. We studied 6 cases of dams/reservoirs in the Cerrado-Amazon transition zone in order to verify whether the installation of the dam modifies the morphology of the channels downstream of the dam due to erosion caused by changes in the flow dynamics in the channel. For this purpose, the bathymetry, velocity and suspended sediments in sections of river channel downstream and upstream of two dams were surveyed in the field. Secondary data of the same parameters in 4 other dams in this zone were also obtained. No consistent reductions in suspended sediments or water velocity were observed in the downstream sections of dams after their construction. However, most of the watercourses of the evaluated HPPs showed erosion of the sections of channels downstream of the dam. These results suggest that the construction of hydroelectric dams did not always cause erosion downstream of the dams under study and that this phenomenon was not clearly associated with a reduction in suspended load or a change in the velocity of the water downstream of the dam.

Keywords: Downstream Changes, Bathymetry, Dams

INFLUÊNCIA DAS BARRAGENS NAS SEÇÕES FLUVIAIS A JUSANTE DE RESERVATÓRIOS EM RIOS TROPICAIS DA ZONA DE TRANSIÇÃO CERRADO BRASILEIRO-AMAZÔNIA

INTRODUÇÃO

As usinas hidrelétricas (UHEs) são hoje o principal instrumento de geração de energia elétrica em diversos países do mundo, em particular o Brasil, que deriva aproximadamente 67% da sua eletricidade utilizando esse método (ANEEL, 2021). As hidrelétricas são fonte de impulsionamento do crescimento econômico. Com o aumento da demanda industrial, faz-se necessária a construção desses empreendimentos, sendo realizada maneira sustentável e minimizando os impactos associados.

Um dos impactos é o reajuste da morfologia do canal em consequência, por exemplo, da redução da carga de sedimentos transportados a jusante de reservatórios criados pelas barragens. Os reservatórios reduzem a velocidade natural de um curso d'água, o que ocasiona deposição de sedimentos a montante do barramento e gera assoreamento do reservatório e alterações geomorfológicas no trecho a jusante da barragem (CUNHA, 2001).

O estudo da alteração do canal a jusante de um reservatório é um tema que desperta muito interesse, conforme extensa literatura mundial produzida nas últimas décadas (COELHO, 2008; MARTINS *et al.*, 2011; CHEN *et al.*, 2019). A construção de barragem e com reservatórios pode diminuir drasticamente a quantidade de sedimentos rio abaixo e provocar alteração dos canais com a mudança da sua morfologia a jusante após o fechamento de barragens de hidrelétricas assim como aumentar o processo de erosão e gerar grande impacto ambiental na região de sua instalação (ZHENG *et al.*, 2017).

A erosão do canal a jusante de barragens seria consequência do que Kondolf (1997) chamou de “rios famintos”. Este fenômeno decorre acoplamento entre o fluxo de sedimentos e o armazenamento de sedimentos, conforme descrito na forma geral da equação de Exner para conservação de massa leito-sedimento (PAOLLA & VOLLER, 2005). Segundo esta equação, para compensar a perda em sedimentos afluentes que ficam retidos em razão da redução de velocidade da corrente no reservatório, rios podem começar a escavar os próprios canais a jusante do reservatório a fim de “recuperar” a carga sedimentar perdida no reservatório.

A modificação da geomorfologia fluvial acontece de forma variada ao redor do mundo. Por exemplo, em pequenas barragens na Pensilvânia construídas em leitos rochosos ocorreram poucas alterações morfológicas na profundidade e na superfície d'água com uma modificação na largura do canal do curso d'água (SKALAK *et al.*, 2009). Na Barragem das Três Gargantas, a jusante do rio Yangtzé, na China, houve redução do canal com seu assoreamento e modificação progressiva do percurso deste, ameaçando as comunidades ribeirinhas e a biodiversidade (ZHENG *et al.*, 2017). No rio Vístula, localizado na Polônia, Gierszewski (2019) descreve alterações morfológicas que ocorreram nos primeiros anos após a construção da barragem que consistem numa redução de sedimentos, acompanhada do aprofundamento do canal e do seu estreitamento em um trecho de 20 km aproximadamente a jusante do barramento.

No hemisfério sul, em particular nas regiões tropicais, poucos estudos recentes são encontrados. No Brasil, na região amazônica e no cerrado, apesar da quantidade de barragens que foram construídas na última década e das ainda previstas, menos de uma dezena de estudos foram encontrados.

Coelho (2008) analisou a alteração da morfologia fluvial de rios impactados por barragens, apontando as alterações da dinâmica de sedimentos e as da seção transversal (largura e profundidade) dos canais. Siqueira *et al.* (2010), em estudo antes e depois numa barragem do rio Paraná, caracterizaram o sedimento, analisaram a alteração da variação do canal e identificaram medidas de controle de erosão. Martins *et al.* (2011) verificaram a alteração dos processos hidrológicos na vazão do baixo São Francisco após a implantação dos diversos barramentos. Souza Filho (2013) versa sobre a retenção de sedimentos e ajuste fluvial no canal a jusante das barragens na bacia do rio Paraguai.

Uma pesquisa relacionando os efeitos provocados na morfologia do rio Madeira em decorrência da implantação da UHE Santo Antônio apontou que houve mudanças significativas no canal do rio (COELHO *et al.*, 2014). Efeitos similares foram também verificados por Siqueira (2019) no rio Tarumã-Açu e por Andrade *et al.* (2018, 2019) no rio Teles Pires. Fantin Cruz *et al.* (2020) descrevem as influências das barragens das pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) na retenção de sedimentos que seguem para o Pantanal, na Bacia do Alto Paraguai, assim como também no transporte de nutrientes e na migração de peixes.

Este estudo propõe empregar seções batimétricas a jusante e a montante de reservatórios localizados em zona de transição Amazônia-Cerrado brasileiro tropical para inferir o efeito de barragens sobre a dinâmica de erosão a jusante destes. A premissa utilizada

é que a montante do reservatório o regime hidrológico não é impactado fora da área de influência do remanso da represa (CHEN *et al.*, 2019), e que comparando as seções de jusante com as de montante prevê-se que a instalação da barragem modifica a morfologia dos canais a jusante do barramento em razão da erosão ocasionada por modificação da dinâmica de escoamento no canal (GIERSZEWSKI, 2019; MARTINS *et al.*, 2011).

Desta principal hipótese decorre três outras relativas aos fenômenos observadas em seções de canais após a construção de barragens e seus reservatórios que propomos testar:

1. A concentração de sedimentos em suspensão a jusante de barragem deve diminuir;
2. Em consequência, segundo a equação de Exner, haverá a erosão da seção do canal a jusante da barragem e está é associada a uma modificação da velocidade nesta mesma seção de canal;
3. as batimetrias a jusante serão escavadas, enquanto as de montantes permanecerão inalteradas.

Entender esse fenômeno causado pelas grandes obras de engenharia gerará subsídio para propor medidas mitigadoras ao meio ambiente, reduzindo, com isso, os impactos causados às comunidades ribeirinhas e à biodiversidade.

O objetivo deste estudo consiste em avaliar o fenômeno de alteração das características hidráulicas a jusante das barragens de UHEs comparativamente antes e após suas construções.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

As seis hidrelétricas estudadas se encontram num vasto território que inclui os biomas Cerrado e Amazônia. As UHEs Santo Antônio e Rondon II estão localizados no bioma amazônico. A UHE Sinop está na transição entre Cerrado e Amazônia. As demais hidrelétricas (Manso, Piranhas e Ponte de Pedra) estão no domínio do Cerrado.

No Cerrado, o clima é classificado como tropical úmido, com regime de chuvas bem definido, sendo o período chuvoso de outubro a março/abril, e o período seco se estende até setembro, com pico em julho. A precipitação média anual na região varia entre 800 e 2.000 mm, com média ao redor de 1.400 mm/ano. Essa porção da área de estudo está localizada nos estados do Mato Grosso e de Goiás, nas áreas de planalto em que nascem tributários dos rios Paraguai e Araguaia (ele mesmo afluente do rio Tocantins). Essa região de planalto é relativamente alta, com altitude acima de 200 m. O grande avanço tecnológico

da agricultura e da pecuária com desenvolvimento extensivo de culturas de grãos e a alta demanda por energia elétrica fez com que a região tivesse alterações significativas no uso e ocupação do solo. É nessa área de planalto que está concentrada a maior parte das hidrelétricas em operação no Cerrado, principalmente por apresentar maior queda e maior propensão para a geração de energia hidrelétrica (ELY *et al.*, 2020).

As características da imensa região amazônica são variáveis. Por exemplo, nos arredores da UHE Sinop, o clima é tropical, quente e úmido, apresentando uma estação seca mais prolongada e uma estação úmida de quatro meses, entre dezembro a março. A precipitação pluviométrica média anual é de 2.000 mm, com chuvas que ocorrem entre novembro e março, sendo muito reduzidas no período de maio a agosto, e com uma temperatura média em torno de 24 °C, com máximas diárias de temperatura que oscilam entre 30 e 36 °C, apresentando 2 estações bem definidas, uma seca (outono-inverno) e uma chuvosa (primavera-verão) (ARAUJO *et al.*, 2009).

Em contraste, nos arredores da UHE Rondon II, o clima local é classificado como tropical com estação seca (Aw), de acordo com a classificação proposta por Köppen-Geiger, apresentando pluviosidade anual média de 1.920 mm, e são definidas duas estações: verão, entre maio e outubro, marcado pela estabilidade do ar e com baixo índice pluviométrico (750 a 800 mm, ou seja, 30 a 40% do total); e inverno, entre novembro e abril, com elevadas taxas de precipitação, registrando-se até 90 mm em apenas um dia transição de um clima equatorial, de chuvas bem distribuídas para o clima tropical úmido.

A vegetação na região próxima da UHE Sinop é constituída em sua maior extensão pela Floresta Estacional Amazônica Semidecidual Meridional, que faz parte da área de transição Cerrado-Amazônia, pontuada por trechos do Cerrado brasileiro, com grande potencial madeireiro (ANGELO *et al.*, 2004; TEIXEIRA; ROSENDO, 2004), descreve que existe uma área de transição que recobre a maior parte da bacia do rio Teles Pires, pontuada por trechos do Cerrado brasileiro. Já no solo é descrito com uma topografia plana com característica do tipo latossolo vermelho, caracterizado como solo mineral (HIGUCHI *et al.*, 2004), com variação de profundos a muito profundos, bem drenados, muito permeáveis e porosos. A característica desse solo é demonstrada pelas deficiências minerais e pela baixa reserva de elementos nutritivos.

A proximidade da UHE Rondon II, a pequena estação seca provoca a perda das folhas das árvores na época da estiagem, perdendo então o aspecto uniforme (árvores mais altas), com temperatura anual média de 23,8 °C (CLIMATE-DATA, 2020). O solo é majoritariamente classificado como neossolo quartzarênico, tendo como principais

características o elevado teor de areia e baixa fertilidade natural. A vegetação local é composta majoritariamente pela Amazônia Ombrófila Aberta, com a cobertura vegetal observada no município de Pimenta Bueno/RO, e abrange tipos distintos de vegetação, agrupados em cinco unidades, a saber: Amazônia tropical densa ou aberta; Cerrado brasileiro arbóreo denso ou aberto; transição Cerrado brasileiro/Amazônia tropical; formações pioneiras; e áreas antropizadas (IBGE, 2020).

Coleta de dados

Foram utilizados dados primários e secundários para verificar as hipóteses. Os dados primários foram obtidos de levantamentos efetuados em campo antes e depois da construção das UHEs Sinop e Rondon II, ambas na Bacia Amazônica.

Os dados secundários foram obtidos por intermédio do Portal HidroWeb (<https://www.snirh.gov.br/hidroweb>) consultado no dia 15 de setembro de 2021. Foram levantadas estações fluviométricas na zona de transição entre o bioma amazônico e o Cerrado brasileiro, ou na sua proximidade. Essas estações deveriam estar perto (< 3 km) de uma barragem construída depois do início do monitoramento hidro fluviométrico para poder comparar o antes e o depois da barragem. No corpo de dados das estações fluviométricas, procuravam-se também levantamentos efetuados para estabelecer a curva-chave da régua fluviométrica. Deveria ter pelo menos dados referentes a uma curva-chave antes e depois da instalação da barragem. Seguindo esses critérios, foram retidas para análise as estações fluviométricas logo a jusante das seguintes barragens: PCH Piranhas e UHE Santo Antônio na Bacia Amazônica e UHEs Manso e Pontes de Pedra na Bacia do Alto Paraguai.

Os dados primários coletados consistiam em levantamento da batimetria, campos de velocidade e concentração de sedimentos em suspensão em seções localizadas a montante e a jusante da barragem antes e depois da sua construção. Estas seções foram localizadas em trechos de rio retos, conforme análise feita por geoprocessamento, verificando a localização dos pontos de medição. Na UHE Sinop, a estação jusante pode estar sofrendo a influência do remanso da UHE Colíder, são necessários a realização de mais medições para confirmar essa informação hidráulica. Os dados secundários coletados compreendiam levantamento da batimetria e campos de velocidade em seções localizadas a jusante da barragem antes e depois da sua construção. Infelizmente não havia dados de sedimentos em suspensão disponíveis na UHE Santo Antônio.

A seguir, a Tabela 1 sintetiza as informações relevantes às barragens e aos dados levantados, e as figuras 1 a 7 localizam as barragens e seções batimétricas estudadas.

Tabela 1 – Dados relevantes no estudo

Barragem	Tipo	Início da operação	Potência (MW)	Área do reservatório (km ²)	Lugar do levantamento em relação à barragem	Estação fluviométrica ANA	Distância da barragem (km)	Batimetria	Morfologia do canal	Perfil Velocidade	Sedimentos em suspensão	Período do monitoramento (anos)
Rondon II	UHE	01/09/2019	67,5	83,8	Montante/Jusante	17277500/17280990	0,3	Sim	Sim	Sim	Sim	mar/13 a set/16 (3,5)
Sinop	UHE	01/09/2014	402,0	342,0	Montante/Jusante	15552540/15552580	2,5	Sim	Sim	Sim	Sim	mar/17 a set/19 (2,5)
Ponte de Pedra	UHE	31/12/2005	176,0	17,0	Jusante	66490000	0,6	Sim	Sim	Não tem	Sim	jun/69 a nov/14 (45,5)
Manso	UHE	01/12/1999	210,0	427,0	Jusante	66210000	1,6	Sim	Sim	Não tem	Sim	Out/82 a abr/17 (34,5)
Santo Antônio	UHE	30/03/2012	3568,0	546,0	Jusante	15380000	2,6	Sim	Não tem	Não tem	Não tem	maio/11 a maio/18 (7)
Piranhas	PCH	31/12/2006	18,0	0,8	Jusante	24770000	1,2	Sim	Não tem	Não tem	Sim	out/04 e out/08 (4)

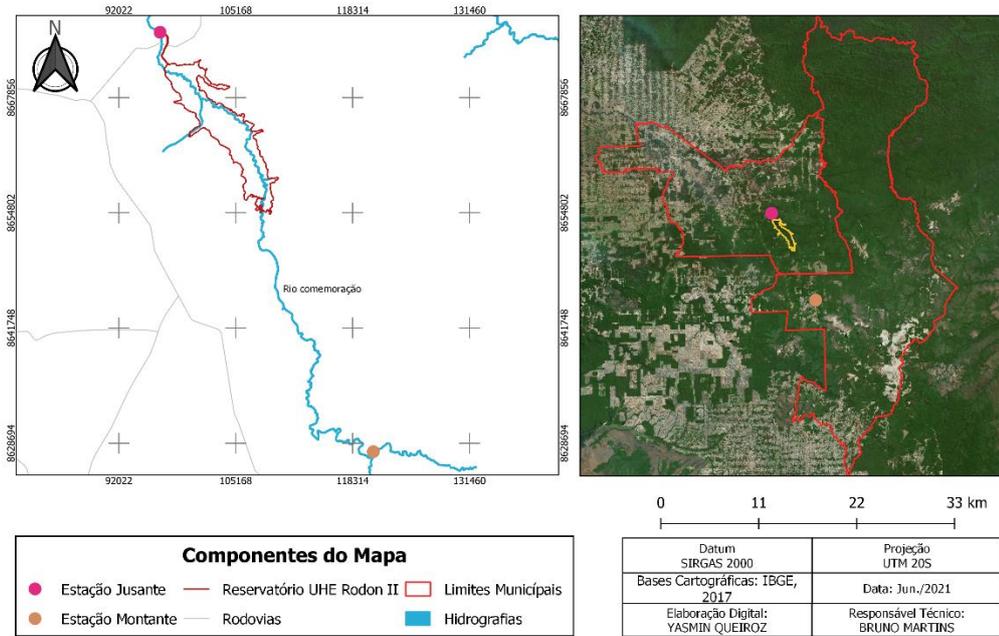
UHE: usina hidrelétrica. PCH: pequena central hidrelétrica.



Figura 1 – Hidrelétricas em estudo

Figura 2 – Localização dos pontos de estudos na UHE Rondon II

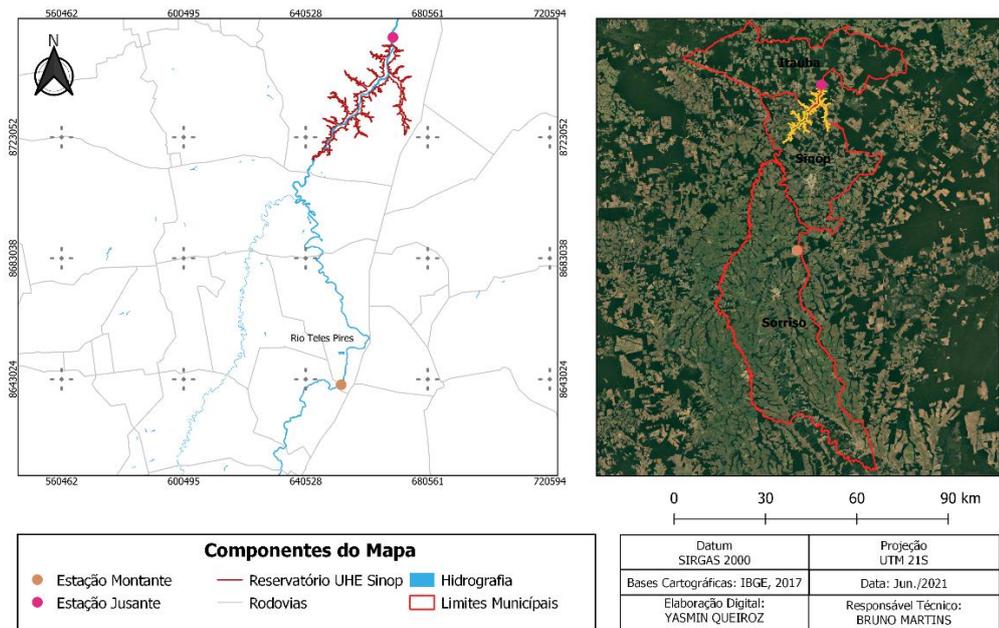
Mapa de Localização UHE Rodon II



Fonte: autoria própria.

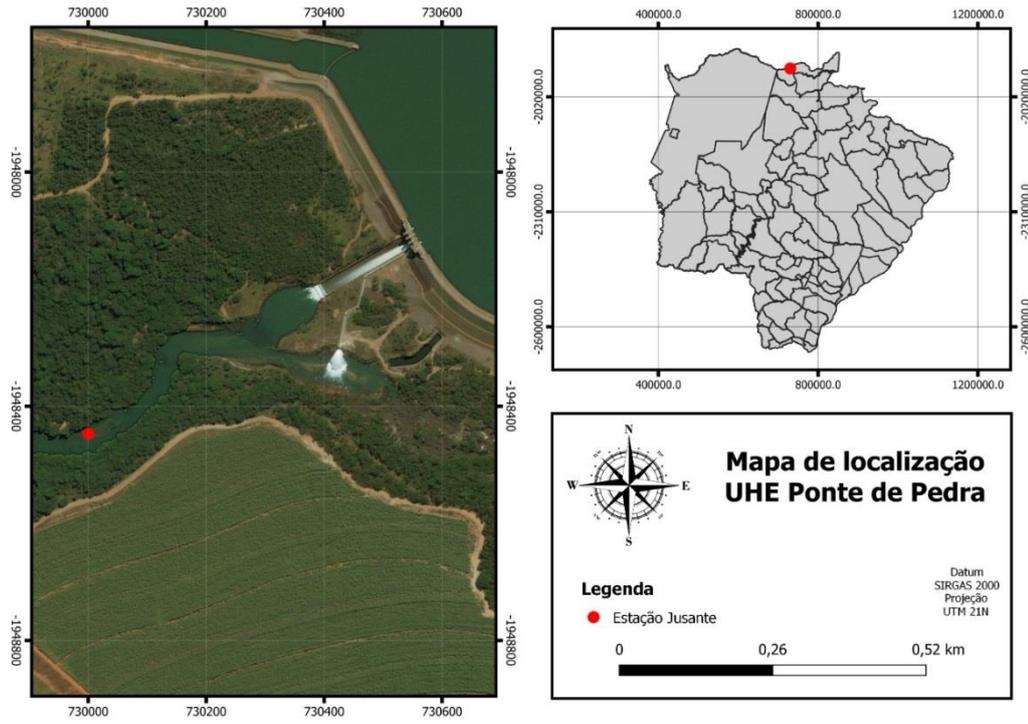
Figura 3 – Localização dos pontos de estudos na UHE Sinop

Mapa de Localização UHE Sinop



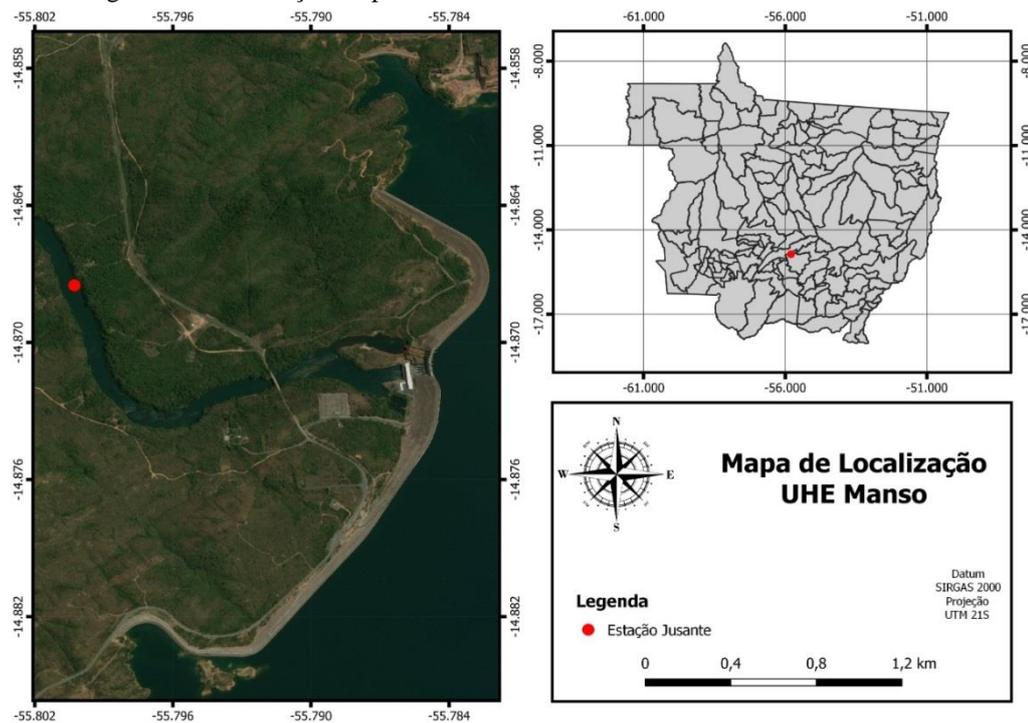
Fonte: autoria própria.

Figura 4 – Localização do ponto de estudo na UHE Ponte de Pedra



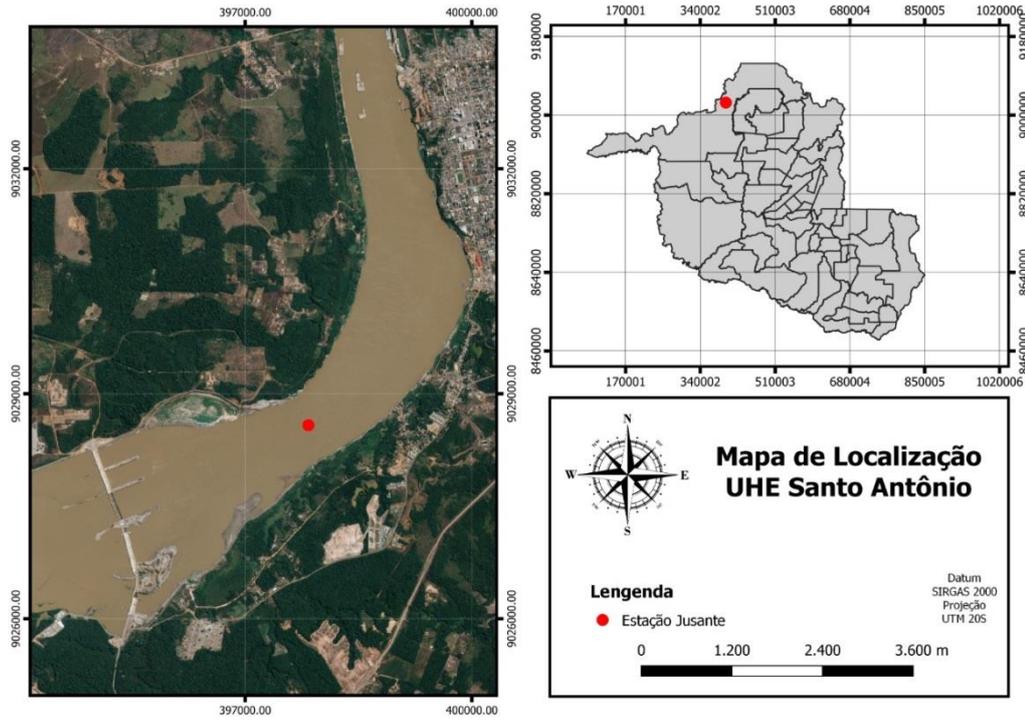
Fonte: autoria própria.

Figura 5 – Localização do ponto de estudo na UHE Manso



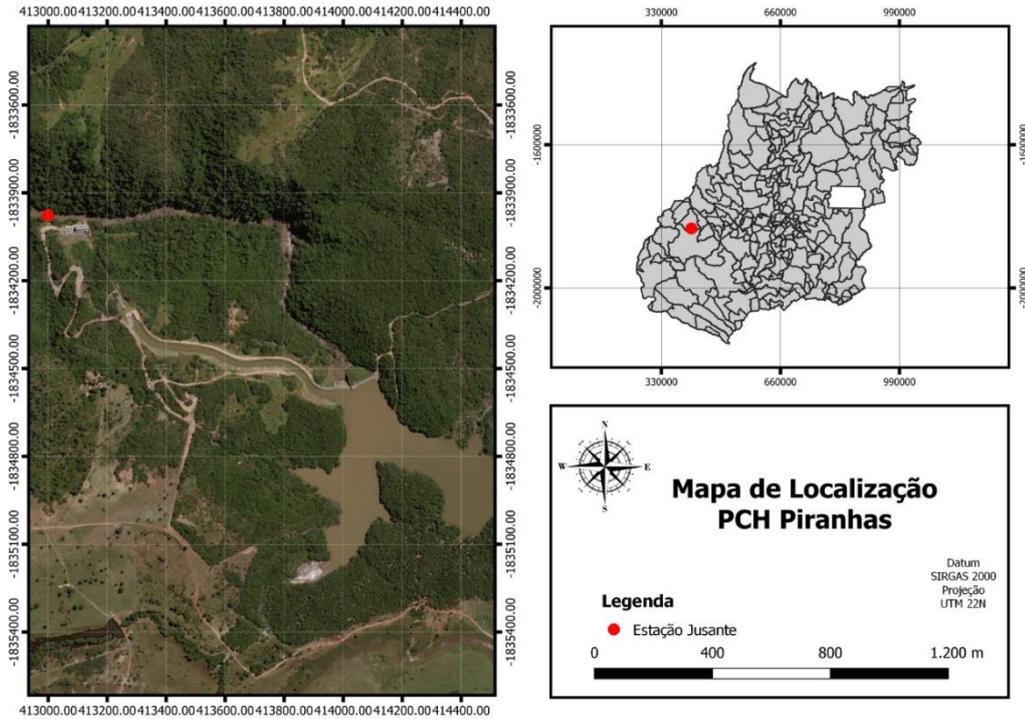
Fonte: autoria própria.

Figura 6 – Localização do ponto de estudo na UHE Santo Antônio



Fonte: autoria própria.

Figura 7 – Localização do ponto de estudo na PCH Piranhas



Fonte: autoria própria.

Perfis batimétricos e velocidade da água

A batimetria da seção transversal consiste em um levantamento detalhado do relevo da parte submersa desta seção. No momento que a batimetria está levantada aproveita-se para medir a velocidade do curso d'água em diversas profundidades. Basicamente, o procedimento geral é construir o perfil topográfico (medindo a profundidade) da porção submersa do rio, em seções que são previamente escolhidas em trechos que atendam as condições hidrológicas de medição. Operacionalmente, o processo de levantamento depende das condições locais, e pode ser feito a vau, com guincho hidrométrico ou ecobatímetro sincronizado com DGPS ou GNSS RTK (REFS).

Na UHE Sinop, para a execução dos levantamentos dos dados batimétricos do rio Teles Pires, foi utilizado o medidor de vazão acústico Doppler (Perfil Acústico Doppler [ADP]). O sistema SonTek RiverSurveyor é um sistema Perfilador Acústico Doppler (ADP) robusto e altamente exato, projetado para medir vazões fluviais, fluxos de água tridimensionais (velocidades em três dimensões), profundidades e batimetria desde uma embarcação em movimento ou estacionário.

Na UHE Rondon II, para execução dos levantamentos batimétricos no rio Melgaço, foi utilizado o guincho fluviométrico, que é um equipamento adequado para tomada de profundidades do leito submerso. As velocidades da água foram obtidas por meio do uso do molinete fluviométrico devidamente aferido. Esse método é convencional (SANTOS *et al.*, 2001), e as normas e recomendações do Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE) (1967) foram seguidas.

Para as demais barragens (PCH Piranhas e UHE São Antônio na Bacia Amazônica e as UHEs Manso e Pontes de Pedra na Bacia do Alto Paraguai), as batimetrias constantes no HidroWeb são geralmente obtidas seguindo o método convencional previamente mencionado. Na pesquisa realizada no sistema HidroWeb no *site* da Agência Nacional de Águas (ANA), verifica-se que são apresentadas nos postos especificados neste estudo somente as velocidades médias gerais resumindo a medição de descarga.

Sólidos em suspensão

Os sólidos em suspensão são geralmente determinados utilizando protocolo descrito por Carvalho (2008). Nas UHEs Sinop e Rondon II, cada vez que um levantamento batimétrico foi efetuado, uma amostra em triplica de água foi obtida para determinação da concentração dos sólidos em suspensão.

Nas demais barragens, foram coletadas as informações de concentração do sedimento em suspensão, e somente na estação da UHE Santo Antônio não foi disponibilizada essa informação da concentração no HidroWeb para as estações da ANA retidas para este estudo.

Análise dos dados

Batimétricas

Para os dados das UHEs Sinop e Rondon II, as profundidades obtidas foram transformadas em cotas altimétricas usando o ponto de referência de altitude conhecida em margem do rio, o que permite comparar a evolução das seções no tempo. Quando havia mais de uma seção, tanto antes como depois do represamento, as seções médias antes e depois foram comparadas. Para se fazer, houve necessidade de serem utilizadas para as seções as mesmas estações transversais. Para tanto, interpolações lineares foram feitas. Em cada estação a cota média foi obtida antes e depois do barramento, e a partir destas seções médias traçadas.

No caso dos dados secundários, utiliza um ponto de referência arbitrária para as batimetrias sucessivas e uma mesma seção obtidas no HidroWeb. Parte-se da premissa que as formas topográficas do canal que estão fora da água permaneceram inalteradas. Superpondo as batimetrias sucessivas, é possível ver o que permaneceu inalterado entre duas batimetrias e o que se modificou, o que geralmente fica no canal regular. É possível determinar se houve alteração de formato do canal e produzir estimativa do material escavado ou depositado.

A tabulação dos dados, os cálculos e a análise estatística foram feitos com o *software* Microsoft Excel, salvo no caso da comparação entre as inclinações de duas regressões para o qual o método sugerido por Cohen *et al.* (2003) foi utilizado no algoritmo implementado por Soper (2021). Médias (\bar{X}) de concentrações de sedimentos em suspensão são dadas \pm desvio padrão (D): $\bar{X} \pm D$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Batimetrias

Pode-se verificar os resultados dos perfis batimétricos, obtidos por meio de dados primários (gráficos altitude x distância horizontal dos cursos d'água), antes e depois da construção das barragens, tanto a montante como a jusante das UHEs Rondon II e Sinop (figuras 8 e 9).

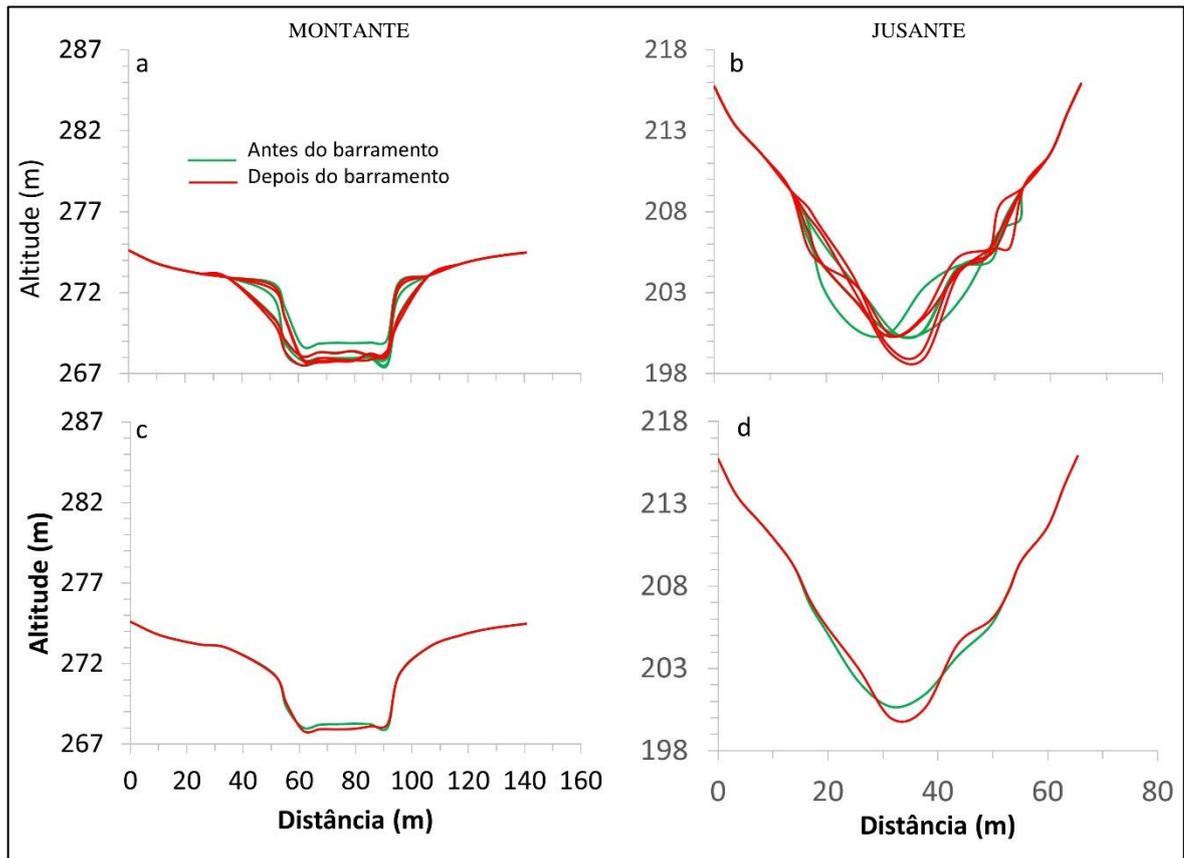


Figura 8 – Batimetrias na UHE Rondon II antes e depois do barramento. A montante do barramento: a e c. A jusante do barramento: b e d. Batimetrias médias: c e d. As escalas verticais são iguais.

No caso da UHE Rondon II, observa-se que a montante do reservatório o canal conserva o formato em “U” quadrado, e que antes do barramento o fundo oscilava ao redor de 1 m de altitude (Fig. 8a). O mesmo se produzia antes da construção da UHE Sinop na seção a jusante da barragem, quando as maiores oscilações verticais foram registradas. Depois do início da operação da UHE Sinop, as oscilações verticais registradas foram mínimas (Fig. 9b). Essas observações demonstram que a escavação do canal é um fenômeno que se produz mesmo na ausência de barramento. Tais oscilações foram também observadas na UHE Rondon II na seção a jusante da barragem após o início da sua operação (Fig. 8b). No entanto, quando se compara as seções médias antes e depois da barragem, uma escavação vertical pode ser claramente observada quando comparado com as oscilações verticais a montante (Fig 8c e 8d).

Na UHE Sinop, nenhuma escavação notável foi observada a jusante da barragem depois do início da sua operação (Fig. 9d), enquanto a montante do canal uma escavação de ~2m é perfeitamente observável entre as distâncias 75 e 125 m. Essas observações indicam que, na ausência de uma série relativamente longa de batimetrias antes e depois da instalação

de uma barragem, a comparação de batimetrias pode levar a conclusões equivocadas quanto a uma possível escavação. Além do mais, existe a possibilidade que a operação da UHE Colider, localizada ~89 km à jusante da UHE Sinop, esteja influenciando a seção a jusante da UHE Sinop. Maiores levantamentos deverão ser realizados para verificar esta possível influência.

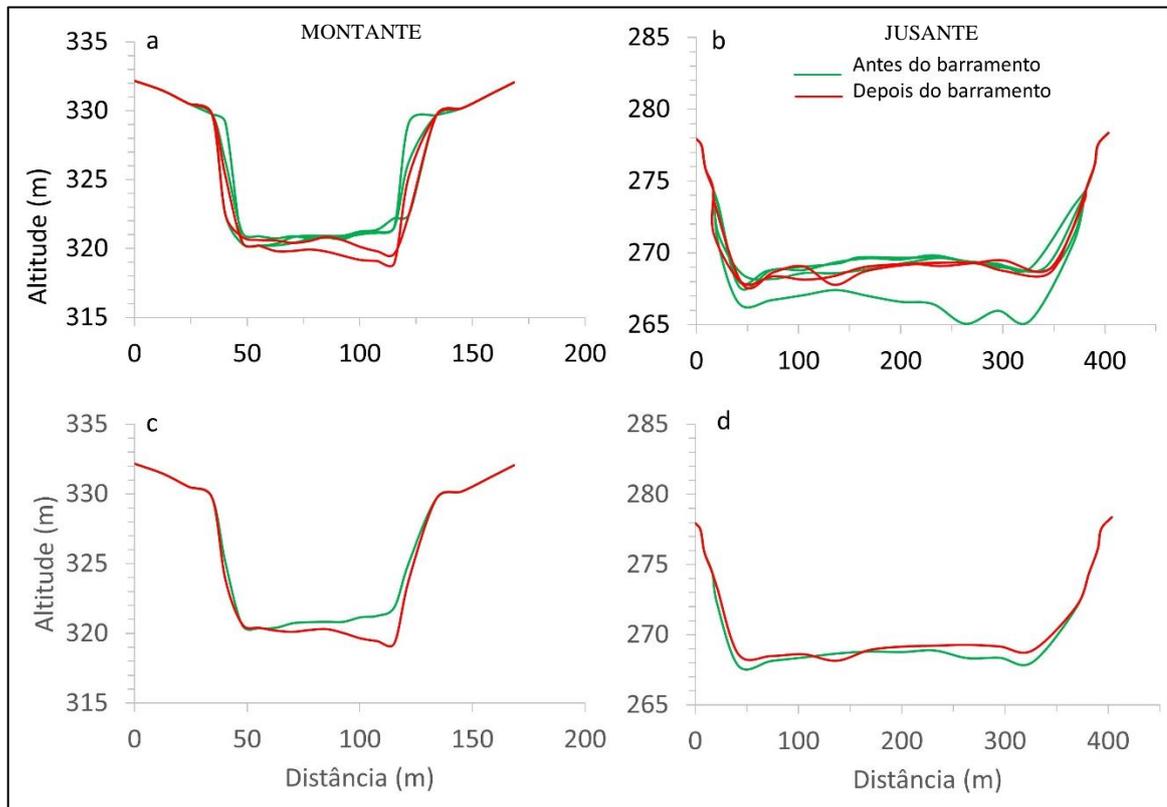


Figura 9 – Batimetrias na UHE Sinop antes e depois do barramento. A montante do barramento: a e c. A jusante do barramento: b e d. Batimetrias médias: c e d. As escalas verticais são iguais.

Conforme observado o fenômeno das UHEs Rondon II e Sinop, também, por meio de dados secundários, com 19 seções batimétricas a jusante da barragem (de 1995 à 2014), sendo 9 batimetrias antes do começo da operação (iniciou em 2005), constatou-se oscilações do fundo do canal, tanto antes e depois da barragem na UHE Ponte de Pedra (Figura 10). Isto é melhor exemplificado antes do fechamento da barragem, em 1995, em que a cota mínima da seção batimétrica era -170 cm, enquanto em 2003 era de -288 cm. Depois da instalação da barragem, em 2007, a cota mínima era de -185 cm, e em 2012, ela era de -293 cm (Figura 10). No entanto, o comprimento destas series permite afirmar que em geral, a cota mínima do canal ficou menor depois do fechamento da barragem (Figura 11). Antes da barragem a cota mínima média era de -208 cm, e depois de -280 cm, uma diferença estatisticamente significativa ($t = 2,12$; $p < 0,05$).

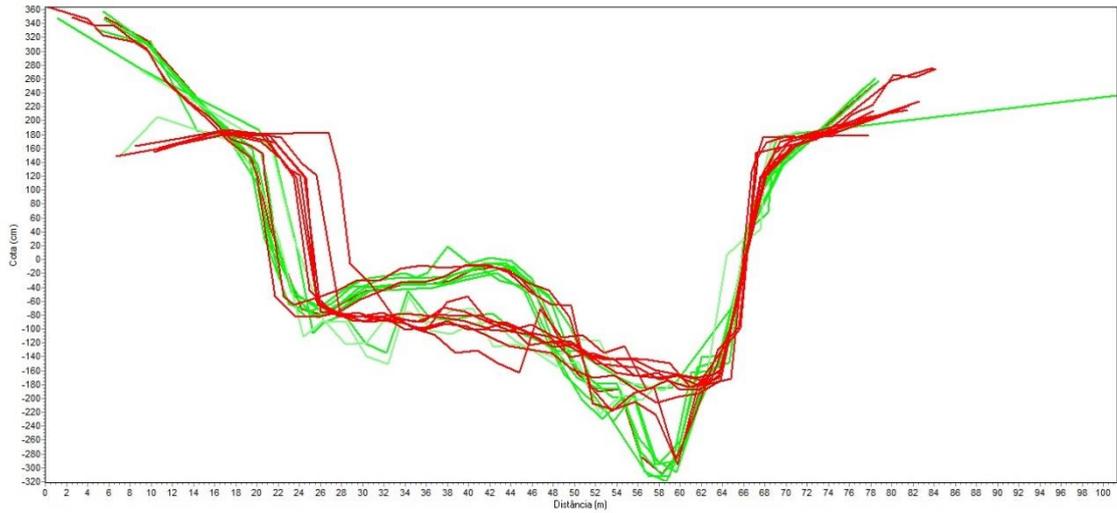


Figura 10 – Variação do leito antes (vermelha) e depois (verde) (1995 a 2014) da construção do barramento UHE Ponte de Pedra na estação jusante do barramento, com o início das operações em 2005.

Fonte: Portal HidroWeb.



Figura 11 – Distribuição das cotas mínimas na seção a jusante da UHE Ponte de Pedra entre 1995 e 2014
Fonte: Portal HidroWeb.

Nas demais barragens, o número disponíveis de batimetrias é limitado, sendo duas batimetrias para a UHE Manso e PCH Piranhas e três para a UHE Santo Antônio. *A priori*, a observação dessas batimetrias indica escavação do canal das seções jusantes nas UHEs Manso (Fig. 12) e Santo Antônio (Fig. 13), enquanto o contrário se produz na seção jusante

da PCH Piranhas (Fig. 14). Neste último caso, a área do reservatório é de menos de 1 km², muito menor que os demais que variam de 17 à 546 km² (Table a 1). Existe então a possibilidade da seção batimétrica ser longe demais da barragem, considerando as dimensões destas para adequadamente capturar a escavação do canal após a construção do barramento. No entanto, como se dispõe de poucas batimetrias nas seções referentes a estes 3 barragens, não é possível concluir somente com base nesses dados.

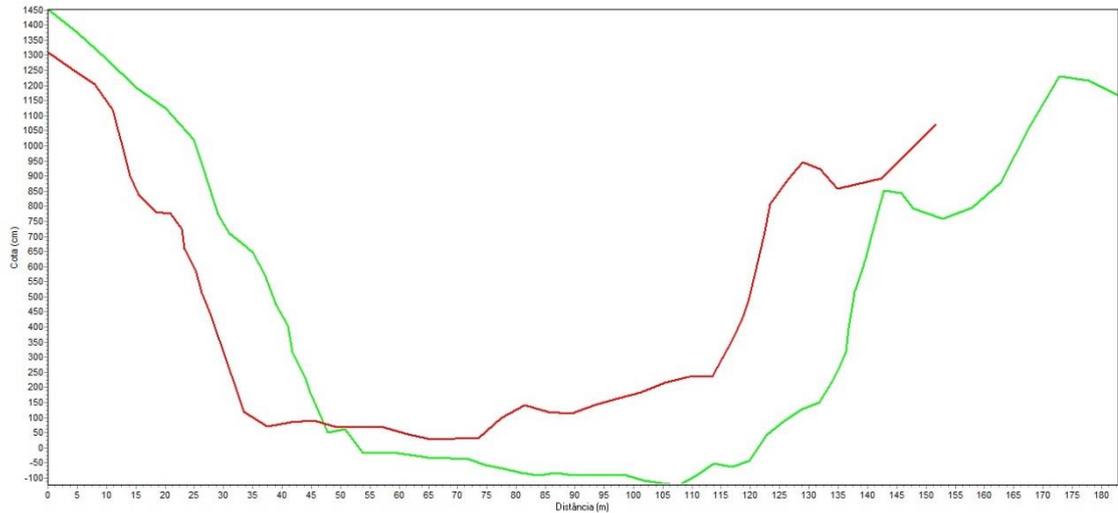


Figura 12 – Variação do leito antes (vermelha, 1995) e depois (linha verde, 2012) da construção do barramento UHE Manso na estação jusante do barramento
Fonte: Portal HidroWeb.

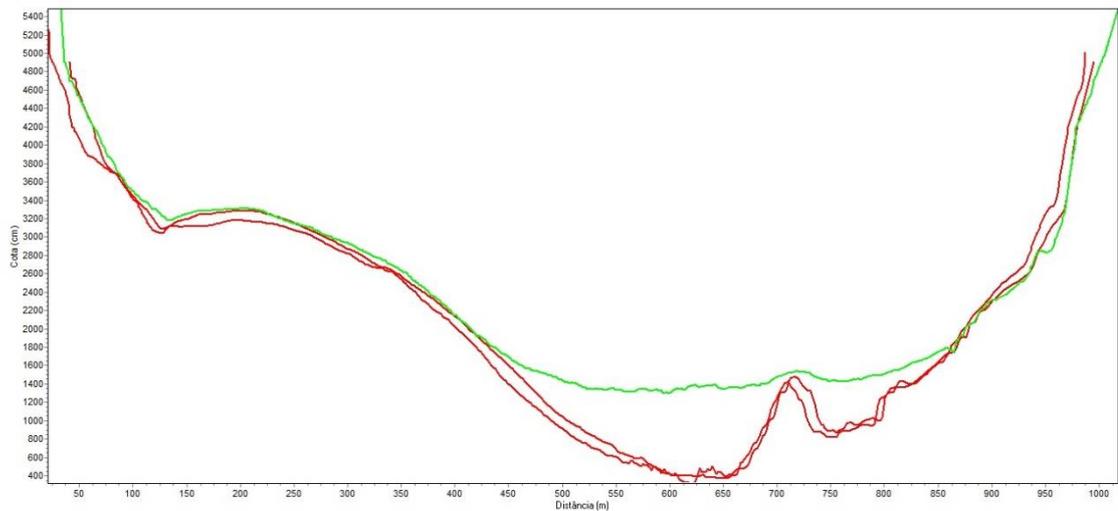


Figura 13 – Variação do leito antes (linha verde, 2015) e depois (linha vermelha, 2018) da construção do barramento UHE Santo Antônio na estação jusante do barramento
Fonte: Portal HidroWeb.

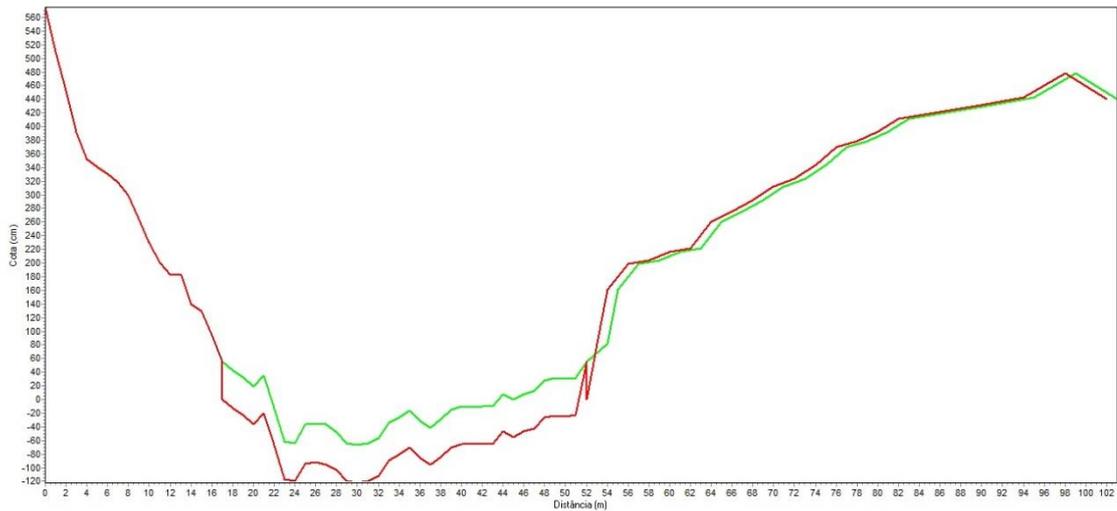


Figura 14 – Variação do leito antes (linha vermelho, 2004) e depois (linha verde, 2008) da construção do barramento PCH Piranhas na estação jusante do barramento
Fonte: Portal HidroWeb.

Dados hidromorfológicos

Além das seções batimétricas, os dados sintéticos dos levantamentos batimétricos foram utilizados para verificar o impacto dos barramentos das seções de jusante das UHEs Manso e Ponte de Pedra, nas quais esses dados são disponíveis antes e depois da instalação das usinas. Essas informações também são disponibilizadas nas UHEs Rondon II e Sinop, mas o número limitado de medições antes (quatro nas duas usinas) e depois do barramento (quatro na UHE Rondon II, e duas na UHE Sinop) não permite comparações estatísticas significativas.

Com esses dados, buscou-se entender como a largura de canal (L), a profundidade média (P) e a velocidade média (V_m) variavam em função da cota (H) no momento dos levantamentos. Foram efetuadas regressões lineares, e as inclinações obtidas foram associadas a taxas de variação dessas variáveis em função de H ($\Delta L/\Delta H$, $\Delta P/\Delta H$ e $\Delta V_m/\Delta H$, respectivamente). Os resultados podem ser visualizados na figura 15 e na tabela 2.

Na UHE Ponte de Pedra, nota-se que apenas a $\Delta P/\Delta H$ foi significativamente diferente antes e depois da barragem aumentando significativamente de 0,55 a 1,09 (Tab. 2). Num canal retangular, como o de Ponte de Pedra (Fig. 10), uma oscilação vertical do fundo do canal teria pouco influencia sobre a largura do canal, como é observado (Fig. 15a). No entanto, caso um canal retangular se aprofundasse, esperar-se-ia que $\Delta P/\Delta H$ aumentasse, confirmando o que foi observado com a série de batimetrias.

Na UHE Manso, as taxas $\Delta L/\Delta H$ e $\Delta P/\Delta H$ não diferem uma da outra após e depois do barramento (Tab. 2). Isso sugere que não houve modificação da morfologia do canal antes e depois do barramento ao contrário do que as batimetrias antes e depois do fechamento do reservatório indicam (Fig. 12). No entanto, $\Delta V/\Delta H$ aumenta significativamente depois da construção da barragem (Tab. 2). Assim para uma mesma cota, depois da instalação da obra, a velocidade é maior na seção a jusante que era antes desta obra sugerindo um maior poder erosivo da água correndo nesta seção. O fato de não se observar escavação significativa leva a pensar que o material que constitui o leito não seja facilmente erodível.

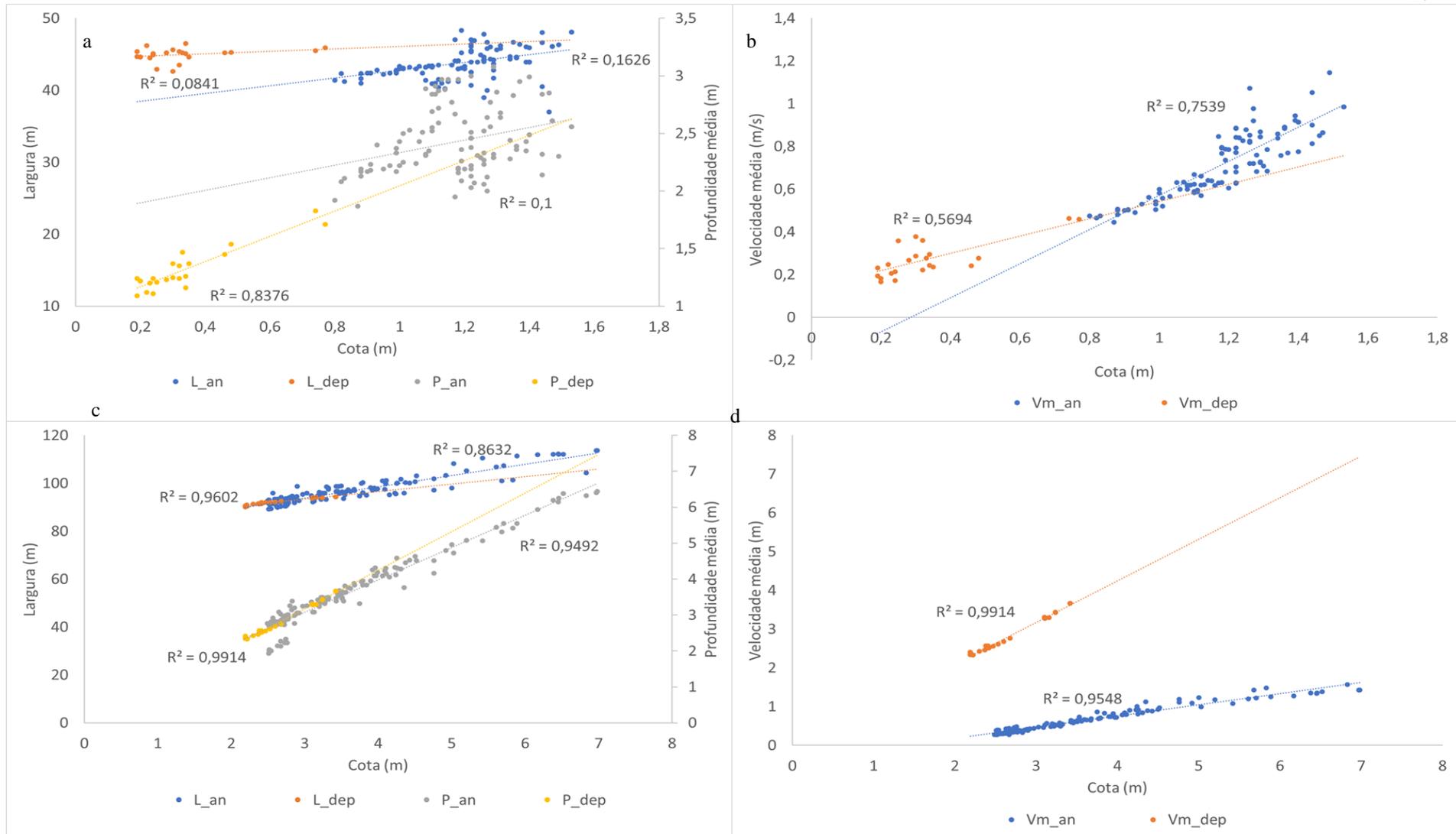


Figura 15 – Regressões da largura do canal (L), profundidade média (P) e velocidade média (Vm) sobre a cota (an = antes do barramento; dep = depois do barramento) em seções a jusante das barragens. R^2 é o coeficiente de determinação. a) e b) são referentes à UHE Ponte de Pedra; c) e d) à UHE Manso. (seções Jusante)

Tabela 2. Taxa de variações da largura (ΔL), profundidade média (ΔP), velocidade média (ΔV_m) em relação à variação da cota (ΔH). a = antes da barragem e d = depois da barragem. Números em negrito indicam que os valores são significativamente diferentes de zero (0) para $\alpha = 0,05$. Casais de valores antes e depois com asterisco (*) indicam que são significativamente diferentes um do outro ($\alpha = 0,05$).

	UHE Ponte de Pedra	UHE Manso
$\Delta L/\Delta H_a$	5,37	4,69
$\Delta L/\Delta H_d$	1,74	3,12
$\Delta P/\Delta H_a$	0,55*	0,9
$\Delta P/\Delta H_d$	1,09*	1,07
$\Delta V_m/\Delta H_a$	0,8	0,29*
$\Delta V_m/\Delta H_d$	0,4	1,07*

Variáveis explanatórias

No conceito de “rios famintos” (KONDOLF, 1997), a perda de carga sedimentar num curso d’água modifica o equilíbrio dos parâmetros hidrodinâmicos do rio e “força” este a recuperar a carga em sedimentos para restaurar seu equilíbrio. No caso do estabelecimento de um barramento, a perda de carga sedimentar acontece geralmente no reservatório a montante do eixo da barragem em razão da diminuição da velocidade da água no reservatório. Em consequência, as águas a jusante deste são empobrecidas em sedimentos em relação às águas a montante do reservatório. Essa redução na carga sedimentar deveria provocar uma erosão do canal a jusante do barramento, para o rio “recuperar” sua carga sedimentar.

Comparações entre concentrações de sedimentos em suspensão foram efetuadas a jusante do barramento antes e depois da construção das barragens para as quais esses dados eram disponíveis: as UHEs Rondon II, Sinop, Ponte de Pedra e Manso. As concentrações de sedimentos em suspensão eram também disponíveis para a UHE Rondon II a montante do reservatório. Para efetuar essas comparações, importa comparar as cargas de sedimentos em suspensão em regime de velocidades de água comparáveis, já que a variação da velocidade pode, em teoria, ocasionar modificação na concentração dos sedimentos em suspensão. A Figura 16 ilustra as relações entre as concentrações de sedimentos em suspensão e a velocidade em cada um dos pontos previamente mencionados. Para as UHEs Ponte de Pedra e Manso, em razão do número expressivo de dados, a relação entre a carga sedimentar e a velocidade foi também avaliada.

Nas UHEs Rondon II e Sinop (Fig. 16 a e b), pode-se observar que as concentrações de sedimentos em suspensão foram obtidas em regime de velocidades similares antes e depois do barramento, e no caso da UHE Rondon II, a montante e a jusante deste. É possível então comparar as concentrações de sedimentos em suspensão simplesmente.

Na seção a montante da UHE Rondon II, assim como esperado, as médias das concentrações a montante não diferem significativamente antes ($26,8 \pm 21,6$ mg/l) e depois ($21,7 \pm 15,9$ mg/l) do barramento ($t = 0,38$; $p = 0,72$). No entanto, a jusante da barragem, na qual, segundo o conceito de “rios famintos”, o mesmo resultado é encontrado e as concentrações antes ($7,0 \pm 5,1$ mg/l) e depois ($9,6 \pm 6,4$ mg/l) não são significativamente diferentes ($t = -0,64$; $p = 0,55$).

O que então poderia provocar a escavação notada na UHE Rondon II (Fig. 8 d), já que não se observou diminuição da carga em suspensão? Um aumento da velocidade da água à proximidade do fundo do canal é observado na seção a jusante da UHE depois do barramento (Fig. 17 b), o que poderia significar maior capacidade erosiva da água nesse setor do canal. Todavia, um aumento maior é observado a montante (Fig. 17 a), em que há somente uma escavação mínima (Fig. 9 c).

Na UHE Sinop (Fig. 16 b) a jusante do barramento, as médias de concentração de sedimentos em suspensão antes ($19,2 \pm 11,9$ mg/l) e depois do barramento ($7,4 \pm 2,5$ mg/l), não são significativas ($t = 1,90$; $p = 0,15$). Isso poderia explicar por que nessa seção, não se observou escavação (Fig. 9 d).

No caso da UHE Ponte de Pedra (Fig. 16 c), observa-se que as concentrações de sedimentos em suspensão foram obtidas em regime de velocidades diferentes antes e depois do barramento. Antes do barramento, as velocidades são inferiores a $0,46$ m/s, enquanto depois elas são superiores a $0,84$ m/s. No entanto, nos dois casos, as correlações entre concentração de sedimentos em suspensão e velocidades não são significativamente diferentes de 0 ($p > 0,05$), o que parece indicar que nessa seção a velocidade não influencia a concentração de sedimentos em suspensão. Nesse caso, uma comparação entre as duas médias foi feita, e uma nítida redução da carga em suspensão foi observada, passando de $85,1 \pm 66,3$ mg/l antes do barramento a $7,3 \pm 12,0$ mg/l depois do barramento ($t = 3,30$; $p < 0,05$). Segundo o conceito de “rios famintos”, essa redução em carga sedimentar seria a razão pela escavação observada (Fig. 11).

Na UHE Manso (Fig. 16 d), observa-se que depois do barramento as concentrações de sedimentos em suspensão foram obtidas quando a velocidade da água foi < 1 m/s. A maioria dos dados de sedimentos em suspensão antes da construção da barragem foi também

obtida em velocidade < 1 m/s, salvo para 3 determinações em que as velocidades variaram entre 1,13 e 1,43 m/s. Percebe-se, também, antes da construção da barragem, uma regressão significativa entre a velocidade e a concentração de sedimentos em suspensão ($R^2 = 0,9$; $p < 0,05$). Contudo, após a construção da barragem, essa relação não é mais observada ($R^2 = 0,02$, $p = 0,32$), indicando que não haveria mais aumento de sedimentos em suspensão a medida que a velocidade da água aumenta. As comparações entre médias de sedimentos em suspensão desconsideraram então as 3 determinações obtidas em velocidades > 1 m/s. A média da concentração em sedimentos em suspensão antes ($40,3 \pm 40,9$ mg/l) e depois ($23,3 \pm 16,4$ mg/l) do barramento não diferem significativamente ($t = 1,53$; $p = 0,15$).

No entanto, vale considerar que o fato de a concentração de sedimentos em suspensão não aumentar com a velocidade da água depois da construção da barragem, enquanto isso acontecia antes desta construção, pode indicar que o reservatório da UHE Manso é muito eficiente em reter a carga sedimentar. Assim, mesmo com aumento da velocidade da água e em teoria mais capacidade de transporte, não há sedimentos para transportar, o que pode significar que o rio está “trabalhando” para recuperar a carga em sedimentos, especialmente quando se considera que depois do barramento a taxa de aumento da velocidade com a cota aumentou dramaticamente, passando de 0,29 m/s/m a 1,09 m/s/m (Tab. 2 e Fig. 15 d).

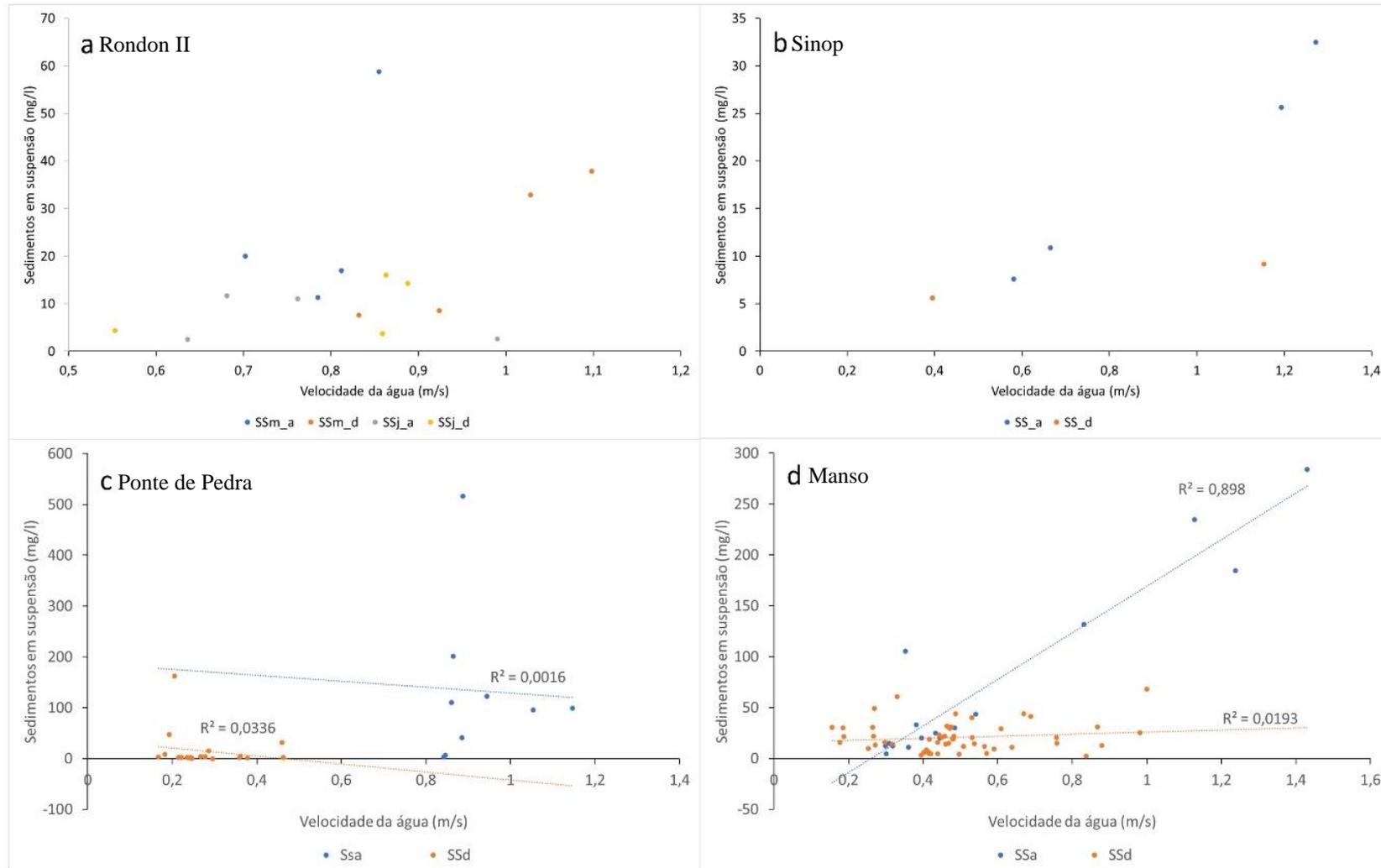


Figura 16 – Concentrações de sedimentos em suspensão em função da velocidade na região de estudo. As letras “a” e “d” denotam antes e depois do barramento. As letras “m” e “j” denotam montante e jusante, respectivamente. SS significa sedimentos em suspensão. a) UHE Rondon II; b) UHE Sinop; c) UHE Ponte de Pedra; d) UHE Manso. R^2 é o coeficiente de determinação da regressão linear.

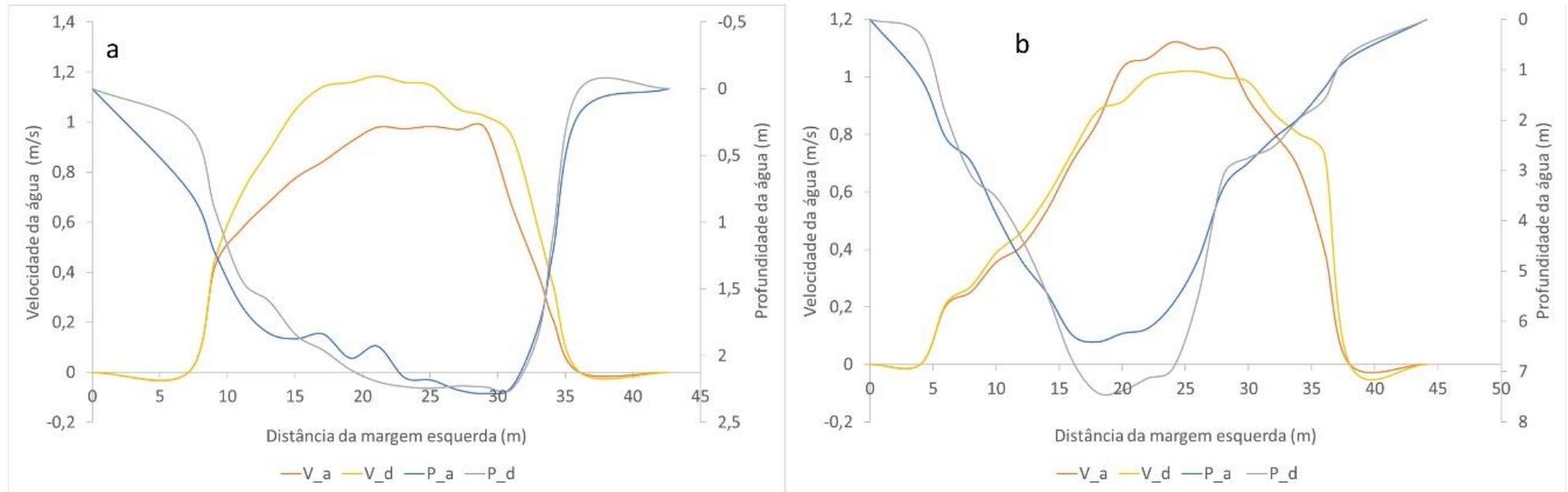


Figura 17 – Perfis de velocidade e profundidade na UHE Rondon II. V = velocidade; P = profundidade; a = antes do barramento; d = depois do barramento. a) seção a montante do barramento; b) seção a jusante do barramento.

CONCLUSÃO

O objetivo deste trabalho foi testar três hipóteses relacionadas ao conceito de “rios famintos” sugerido por Kondolf em 1997. Segundo esse conceito, uma redução da carga sedimentar deve ocasionar erosão do canal a jusante de onde se produz essa retirada de sedimentos. Partiu-se da hipótese de que a construção de barragens e reservatórios associados ocasiona nestes deposição de sedimentos, o que reduz a carga sedimentar a jusante das barragens.

Foram utilizados dados primários e secundários de levantamentos batimétricos de seções a jusante e montante do canal para verificar escavação do canal a jusante de barramentos. Os resultados mostraram que oscilações da morfologia e profundidade do canal ocorrem naturalmente. Portanto seria necessário dispor de longas séries batimétricas antes e depois da construção de uma usina hidrelétrica para efetivamente concluir numa erosão do canal a jusante de barragem. Tais séries são atualmente escassas e somente no caso de uma UHE sugeriram claramente que houve escavação a jusante do barramento.

Como séries de resumidas de largura e profundidades antes e depois da construção de barragens eram disponíveis, estas foram utilizadas para verificar se podiam auxiliar a testar a hipótese de escavação do canal. O tratamento desses dados se provou útil especialmente quando se dispunha de apenas uma batimetria antes e uma depois da construção da UHE. Verificou-se que a taxa de variação da profundidade média com a cota pode auxiliar a confirmar a escavação do canal.

Foram também testadas hipóteses em que a construção da barragem deveria modificar a velocidade na seção a jusante. Os dados disponíveis não mostraram consistência entre os casos em estudo. Na maioria desses casos não houve modificação significativa das velocidades na seção a jusante da barragem depois da sua construção.

O mesmo foi verificado com sedimentos em suspensão: não houve coincidência simples entre uma diminuição significativa da sua concentração após o barramento e escavação observada na seção a jusante da barragem. Nem sempre esses dados eram disponíveis, e em um caso, apesar de se observar uma diminuição da carga sedimentar, nenhuma escavação foi observada.

Ao avaliar as condições da influência de barramentos nas características dos canais dos cursos de água a jusante destes, verificou-se que a maioria dos cursos d'água das UHEs avaliadas apresentou erosão a jusante do barramento com efeito de escavação, com exceção das UHEs Sinop e Piranhas, e que alguns dados hidromorfológicos estudados apresentaram-se significativos entre o antes e o depois da construção da barragem.

Em resumo, com os dados disponíveis, nem sempre se pode concluir que houve escavação do canal a jusante de um barramento. Quando este pode ser constatado, nem sempre foi claramente associado a uma modificação da velocidade ou concentração de sedimentos em suspensão na seção a jusante do canal.

Finalmente, apesar destas lacunas e do número pequeno de casos estudados (6), não se pode descartar a possibilidade de erosão de canal a jusante de pelo menos 4 das 6 usinas estudadas, o que indica a necessidade de estudos direcionados para o fenômeno de “rios famintos”.

RECOMENDAÇÕES

A principal dificuldade deste estudo é ligada a dificuldades de se obter os dados para verificar o fenômeno de “rios famintos”. Em próximos estudos, o uso de diversas seções a montante e a jusante das barragens seria recomendado com dados batimétricos (ou na forma resumida, informações de largura, profundidade e velocidade) e de sedimentos em suspensão. Essas séries deveriam ser suficientemente longas, bem como comportar número suficiente de dados para fazer análises estatísticas concludentes.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, L. N. P. S. *et al.* Erosão marginal: mudanças geomorfológicas no rio Teles Pires (MT) decorrente da implantação de um barramento. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 21, n. 75, p. 154-171, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.14393/RCG217551056>. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/51056>. Acesso em: 28 maio 2021.

CARVALHO, N. O. *et al.* **Guia de avaliação de assoreamento de reservatórios**. Brasília: ANEEL. 2000.

CHRISTOFOLETTI, A. A mecânica do transporte fluvial. **Revista Geomorfologia**, São Paulo, n. 51, p. 1-42, 1977.

COELHO, A. L. N. Geomorfologia fluvial de rios impactados por barragens. **Caminhos de Geografia**, 2008. ISSN 1678-6343.

COHEN, J., COHEN, P., WEST, S.G., & AIKEN, L.S. *Applied Multiple Regression/Correlation Analysis for the Behavioral Sciences* (3rd edition). Mahwah, NJ: Lawrence Earlbaum Associates, 2003.

CUNHA, C. M. L. **A cartografia do relevo no contexto da gestão ambiental**. 2001. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

DNAEE. Departamento Nacional de Energia Elétrica. **Normas e recomendações hidrológicas sedimentometria**. 1967.

Ely, P.; Fantin-Cruz, I.; Tritico H. M.; Girard P.; Kaplan D. Dam-Induced Hydrologic Alterations in the Rivers Feeding the Pantanal. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 256. 2020. DOI 10.3389/fenvs.2020.579031

FILHO. **As barragens na Bacia do rio Paraguai e a possível influência sobre a descarga fluvial e o transporte de sedimentos**. 2013. DOI: <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v3lil.13638>.

GIERSZEWSKI, P. J. *et al.* Evaluating effects of dam operation on flow regimes and riverbed adaptation to those changes. **Science of the Total Environment**, 2019.

HIGUCHI, N. *et al.* Dinâmica do carbono da vegetação primária da Amazônia Central. **AMAZÔNIA**, v. 34, 295304, 2004.

Kondolf, G. PROFILE: Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management* **21**, 533–551 (1997). <https://doi.org/10.1007/s002679900048>

KNIGHTON, D. **Fluvial forms & processes, a new perspective**. London: Arnold, 1998.

MARTINS *et al.* **Impactos da construção da usina hidrelétrica de sobradinho no regime de vazões no baixo São Francisco**. 2011.

SIQUEIRA *et al.* Modificações fluviais à jusante de barragens. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA AMBIENTAL*, 14., 2010. **Anais [...]**. 2010.

SIQUEIRA, L. F. **Estudo hidrológico do efeito do barramento hidráulico no rio Tarumã – Açu**. Tese (Mestrado) – Universidade do estado do Amazonas, Manaus, 2019.

SOPER, D.S. Significance of the Difference between Two Slopes Calculator [Software]. Available from <https://www.danielsoper.com/statcalc>. 2021.

TEIXEIRA, L.; ROSENDO, J. S. A expansão da fronteira agrícola no norte do Mato Grosso: impactos sócio-ambientais da exploração madeireira. **Sociedade & Natureza**, v. 16, p. 71-79, 2004.

ZHENG, S. *et al.* Erosão do leito do rio dos últimos 565 quilômetros do rio Yangtzé (Changjiang) após a construção da Represa dos Três Desfiladeiros. **Sci Rep.**, v. 8, 11917, 2018.

Fantin-Cruz I, MD de Oliveira, Campos JA, de Campos MM, de Souza Ribeiro L, Mingoti R, de Souza ML, Pedrollo O e Hamilton SK (2020) O Desenvolvimento de Pequenas

Centrais Hidrelétricas Reduzirá Significativamente o Transporte de Sedimentos para Pantanal do Brasil. *Frente. Environ. Sci.* 8: 577748. doi: 10.3389 / fenvs.2020.577748

David J. Topping, Paul E. Grams, Ronald E. Griffiths, David J. Dean, Scott A. Wright, Joel A. Unema, Self-Limitation of Sand Storage in a Bedrock-Canyon River Arising From the Interaction of Flow and Grain Size, *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 10.1029/2020JF005565, 126, 5, (2021).