

Programa C.5: Elaboração de Estudos de Avaliação dos Efeitos da Implantação de Empreendimentos Hidrelétricos na Região Hidrográfica do Rio Paraguai

Meta C.5.2 - Elaborar estudos de qualidade de água e hidrossedimentologia da RH-Paraguai, de modo a avaliar alterações que as unidades de geração hidrelétrica possam causar nas condições ecológicas na planície do Pantanal

Relatório de Andamento 02: Resultados do estudo de qualidade e hidrossedimentologia da Região Hidrográfica Paraguai - Análise das Cargas Difusas

Brasília - DF

Novembro/2018



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE

C.5 Elaboração de Estudos de Avaliação dos Efeitos da Implantação de Empreendimentos Hidrelétricos na Região Hidrográfica do Rio Paraguai

**C.5.2 Elaborar estudos de qualidade de água e hidrossedimentologia
da RH-Paraguai, de modo a avaliar alterações que as unidades de
geração hidrelétrica possam causar nas condições ecológicas na
planície do Pantanal**

**Relatório de Andamento 02: Resultados do estudo de qualidade e
hidrossedimentologia da Região Hidrográfica Paraguai - Análise das Cargas Difusas**

Brasília - DF

Novembro/2018



COORDENAÇÃO E ELABORAÇÃO

Agência Nacional de Águas

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)

Coordenação Geral

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares
Flávio Hadler Tröger

Coordenação Executiva

Luciana Aparecida Zago de Andrade
Márcio de Araújo Silva
Gaetan Dubois

Coordenação Temática

Alexandre Abdalla Araújo (**Meta C.5.1 - Elaborar estudos hidrológicos**)
Bolivar Antunes Matos (**Meta C.5.1 - Elaborar estudos hidrológicos**)
Marcelo Luiz de Souza (**Meta C.5.2 - Elaborar estudos de qualidade da água**)
Márcio de Araújo Silva (**Meta C.5.3 - Elaborar estudos de ictiofauna, ictioplâncton e pesca**)
Mariane Moreira Ravanello (**Meta C.5.5 - Elaborar análise integrada multicritério**)
Thiago Henriques Fontenelle (**Meta C.5.4- Elaborar estudos socioeconômicos e de energia**)

Fundação Eliseu Alves

Coordenação Temática

Carlos Padovani - Embrapa Pantanal (**Meta C.5.1 - Elaborar estudos hidrológicos**) e (**Meta C.5.5 - Elaborar análise integrada multicritério**)
Marcia Divina - Embrapa Pantanal (**Meta C.5.2 - Elaborar estudos de qualidade da água**)
Agostinho Catella - Embrapa Pantanal (**Meta C.5.3 - Elaborar estudos de ictiofauna, ictioplâncton e pesca**)
Maurício Amazonas – CDUS/UnB (**Meta C.5.4- Elaborar estudos socioeconômicos e de energia**)

Coordenador Geral do Projeto

Carlos Padovani - Embrapa Pantanal

Supervisor Geral do Projeto

Elimar Nascimento - CDUS/UnB

Equipe Técnica e Coordenação Técnica (Meta C.5.2 - Elaborar estudos de qualidade da água e Hidrossedimentologia)

Marcia Divina De Oliveira – Embrapa Pantanal - Coordenadora
Ibrahim Fantin- UFMT
Marcel Medina - UFMT
Rafael Mingoti – Embrapa Gestão Territorial
Isabelle Caroline Ribeiro Sais – Unicamp
Peter Zeilhofer -UFMT
Wilkinson Lázaro -UNEMAT
Valdeci Antônio – UFMT
Josias Oliveira – Embrapa Pantanal
Patricia D'Angol – Mestranda UFSC
Rachel Nishimoto - UFMS
Carlos Roberto Padovani – Embrapa Pantanal
Stephen K Hamilton –MSU, USA
Daniela M Figueiredo - UFMT
Rubia Fantin -UFMT
Cristóvão F Scapulatempo -UFPR
Eliana Freire - UFMT
Debora F Calheiros- Embrapa/UFMT

Grupo de Acompanhamento do Plano da RH Paraguai - GAP

Segmento	Setor	Instituições	Nº	Indicações (Titular e Suplente)
Poder Público	Federal	Agência Nacional de Águas	1	Titular: Luciana Aparecida Zago de Andrade Suplente: Rosana Mendes Evangelista
		Ministério do Meio Ambiente	2	Titular: David Guimarães Rocha Suplente: Leonardo Rodrigues
		Ministério de Minas e Energia	3	Titular: Cássio Giuliani Carvalho Suplente: Igor Souza Ribeiro
		Ministério dos Transportes	4	Titular: Sirlea de Fátima Ferreira Leal Moura Suplente: Helen Lúcia Rezende de Moraes
		Ministério da Integração	5	Titular: Marlán Leão de Oliveira Suplente: Roberto Anselmo Rubert
		Fundação Nacional do Índio	6	Regina Nascimento Ferreira
		Embrapa Pantanal	7	Márcia Divina de Oliveira
	Estadual	Secretaria de Estado de Meio Ambiente, do Planejamento, da Ciência e Tecnologia do Mato Grosso do Sul	8	Titular: Renato Roscoe Suplente: Leonardo Sampaio Costa
		Secretaria de Estado da Produção e Agricultura Familiar do Mato Grosso do Sul	9	Titular: Carlos Henrique Lemos Lopes Suplente: Osvaldo Antônio Riedling dos Santos
		Secretaria de Estado do Meio Ambiente do Mato Grosso	10	Titular: Luiz Henrique Magalhães Noquelli Titular: Nédio Carlos Pinheiro
		Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral do Mato Grosso	11	Juraci de Ozêda Ala Filho
		Consórcio Intermunicipal para o Desenvolvimento Sustentável da Bacia Hidrográfica do Taquari	12	Titular: Nilo Peçanha Coelho Filho
		Consórcio Nascentes do Pantanal		Suplente: Dariu Antonio Carniel
Usuários	Abastecimento/ Saneamento	Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul - SANESUL	13	Dulcélya Monica de Queiroz Sousa
		Águas Cuiabá	14	Titular: Luciana Nascimento Silva Suplente: Édio Ferraz Ribeiro
	Irrigação/ Agropecuária	Federação da Agricultura e Pecuária do Mato Grosso - FAMATO	15	Titular: Lucélia Denise Perin Avi Suplente: Thiago de Moraes

	Federação da Agricultura e Pecuária do Mato Grosso do Sul - FAMASUL	16	Titular: Daniele Coelho Marques Suplente: Ana Cecília de Freitas Pires Pereira
	Federação dos Trabalhadores na Agricultura no Estado de Mato Grosso do Sul - FETAGRI	17	Titular: Valdinir Nobre de Oliveira
	Federação dos Trabalhadores na Agricultura no Estado de Mato Grosso - FETAGRI		Suplente: Orlando Luiz Nicolotti
Pesca, Turismo e Lazer	Associação dos Atrativos Turísticos de Bonito e Região - ATRATUR	18	Eduardo Folley Coelho
	Sindicato dos Guias de Turismo de Mato Grosso - SINGTUR	19	Waldir Teles de Ávila
	Cooperativa de Pescadores e Aquicultores do Mato Grosso – COOPEAMAT	20	Titular: Claudionor Angeli
	Federação de Pescadores Profissionais de Mato Grosso do Sul		Suplente: Pedro Jovem dos Santos Júnior
	Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso do Sul	21	Titular: Edemir Chaim Asseff Suplente: Érico Flaviano Coimbra Paredes
Hidroeletricidade	Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso	22	Alessandra Panizi
	Associação Brasileira das Empresas Geradoras de Energia Elétrica - ABRAGE	23	Titular: Maria Aparecida Borges P. Vargas Suplente: Roberto Anselmo Rubert
	Confederação Nacional do Transporte	24	Titular: Paulo Delmar Leismann
Sociedade Civil	Organizações Não Governamentais	SOS Pantanal	Felipe Augusto Dias
			Julio Cesar Sampaio da Silva (WWF)
		26	Suzan Lannes de Andrade
		Fórum Nacional da Sociedade Civil nos Comitês de Bacias Hidrográficas - FONASC / Fundação Neotrópica do Brasil	Titular: Debora Calheiros (FONASC)
			Suplente: Reinaldo Lourival (Neotrópica)
	Organizações Técnicas de Ensino e Pesquisa	28	Paulo Tarso S. Oliveira
		29	Margarida Marchetto (UFMT)
	Organizações Indígenas	Povos Indígenas da BAP	Titular: Edimar Rodrigues Roaribo Kajejeu (Etnia Bororo)
			Suplente: Adriano Boro Makuda

APRESENTAÇÃO

Tema Qualidade da água e hidrossedimentologia

O objetivo do estudo é avaliar o efeito dos barramentos dos empreendimentos hidrelétricos em operação no transporte de sedimentos e nutrientes dos rios, e a turbidez da água, e produzir cenários de mudança no transporte destes, considerando a implantação de todos os reservatórios, em escala de trecho de rio ou sub-bacia.

Para avaliar a mudança no transporte de substâncias das áreas de planalto para o Pantanal devemos:

- Estimar as cargas difusas por sub-bacias e por bacia de drenagem dos empreendimentos
- Estimar o transporte de sedimentos e nutrientes a montante e a jusante de empreendimentos hidrelétricos em operação, e nos rios com empreendimentos previstos,
- Estimar as taxas de variação no transporte de sedimentos e nutrientes nos trechos de rios com barramentos,
- Estabelecer cenários de mudança no aporte de sedimentos e nutrientes para o Pantanal, através de modelos de previsão, considerando as taxas de variação e as características dos empreendimentos previstos,
- Definir os indicadores para uso no modelo multicritério.

Para atingir esses objetivos, definiu-se as seguintes etapas do estudo:

1. Avaliar a produção de sedimentos e nutrientes nas bacias de drenagem dos empreendimentos
2. Analisar dados de qualidade de água e hidrossedimentologia existentes e coletar novos dados
3. Estimar das taxas de variação – análise comparativa de dados a montante e a jusante dos empreendimentos em operação
4. Definir modelos de previsão para os cenários de mudança do transporte devido aos barramentos

5. Definir indicadores para os critérios de qualidade da água, sedimentologia e cargas difusas, a serem utilizados no modelo multicritério.

Até o presente momento foram analisadas as cargas difusas, cujos dados preliminares são apresentados neste documento, digitados e conferidos os dados secundários obtidos junto a SEMA, analisados de forma ainda preliminar, e iniciada a coleta dos novos dados. O estudo encontra-se na fase de coleta em campo e análise em laboratório. A seguir é feita uma síntese das etapas que estão sendo feitas para atingir os objetivos propostos, com metodologia e resultados preliminares para o estudo das cargas difusas e do transporte de sedimentos e nutrientes nos rios.

INTRODUÇÃO

Produção e transporte de substâncias na bacia

O rio Paraguai, principal canal de drenagem da bacia hidrográfica do alto rio Paraguai, e seus principais formadores nascem nas áreas de planalto circundante, com altitudes em torno de 800 m, e escoam para terrenos abaixo de 200 m de altitude. Na grande depressão as águas se acumulam devido às características geomorfológicas, em especial a baixa declividade, formando uma vasta planície de aproximadamente 140.000 km², com áreas de inundação permanente e sazonal, denominada Pantanal Mato-Grossense.

Os rios afluentes do rio Paraguai são os conectores entre as áreas de planalto e as de planície, responsáveis pelo transporte natural das substâncias das áreas altas para as áreas baixas. Porém, a área de planalto, na borda do Pantanal, é predominantemente agrícola, com intenso uso da terra, sendo a poluição difusa resultante das áreas agrícolas e pode ser mais importante em proporção que as fontes pontuais (efluentes domésticos e industriais). A entrada de nutrientes como fósforo é maior no período chuvoso, assim como há aumentos de turbidez (Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai- ANA, 2018). A poluição pontual, na bacia é decorrente do lançamento de efluentes urbanos e industriais, sendo esta mais associada principalmente aos centros urbanos, os quais estão mais distantes das áreas com empreendimentos hidrelétricos. Dados de erodibilidade de solos e potencial de produção e sedimentos estão disponíveis para a bacia do rio Paraguai (Plano de Recursos Hídricos da região Hidrográfica do Paraguai- ANA, 2018) mostrando que áreas como as sub-bacias dos rios Taquari e São Lourenço, por exemplo, são áreas com grandes contribuições em sedimentos para o Pantanal.

Além das características naturais e do uso do solo na bacia de drenagem, o tamanho da bacia de drenagem também define sua contribuição no volume de água ou vazão, parâmetro usado para o cálculo dos fluxos ou cargas dos rios, juntamente com a concentração das substâncias. A maior fonte de água para o Pantanal vem da região do

Alto Paraguai, incluindo os rios Jauru, Sepotuba e rio o próprio rio Paraguai, que juntos representam um terço da água que entra para o Pantanal (Plano de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Paraguai- ANA, 2018). E junto com as regiões de Cuiabá, São Lourenço e Piquiri somam aproximadamente 72% do aporte de água para o Pantanal. Individualmente, os rios Sepotuba, Cuiabá e Taquari forneceram, em média, 50% da água que entra no Pantanal, via tributários provenientes do planalto, sendo considerados rios importantes no transporte de substâncias para o Pantanal.

Oliveira et al. (no prelo) analisaram o transporte de solutos dissolvidos e particuladas nos principais tributários do rio Paraguai e seu balanço no Pantanal, entre os anos de 2000 a 2007. Os autores observaram que das 5.830 toneladas/dia de solutos dissolvidos transportados na bacia 34% foram transportados pela região do Alto Paraguai e 29% pela região do rio Miranda, este contribuindo com apenas 10% da vazão; essas duas regiões representaram 63% da carga de solutos dissolvidos na bacia.

Também foram transportados diariamente 77 t/dia de nitrogênio total pelos tributários do rio Paraguai, sendo 58% proveniente da região do Alto Paraguai e Taquari e 27% das regiões de Cuiabá e São Lourenço. Aproximadamente 8 t/dia de fósforo total e 2 t/dia de fósforo dissolvido foram transportados das regiões do Alto Paraguai, Taquari e Miranda. Também foram transportadas, em média, 500 t/dia de carbono orgânico particulado e 855 t/dia de carbono orgânico dissolvido pelos tributários do rio Paraguai.

Os tributários do rio Paraguai também transportam quantidades expressivas de sedimentos do planalto para o Pantanal, chegando a 29.000 t/dia, principalmente nos rios Taquari e São Lourenço (Semmelman et al. 1996; Barbedo 2003). Os sedimentos transportados tendem a se acumular no início da área de inundação formando os leques aluviais, facilmente observáveis em imagens de satélite na região do Pantanal (Assine e Soares, 2004; Zani et al. 2009). A bacia com maior sedimentação é a do rio Taquari, formando um dos maiores leques aluviais do mundo; Padovani et al. (2005) registraram perdas de sedimentos na planície de aproximadamente 77%. Outros rios como São Lourenço, Vermelho, Itiquira, Correntes, Aquidauana e Miranda também apresentam sedimentação e mudanças na geomorfologia no Pantanal, porém foram pouco estudados. Apesar de contribuir com apenas 18% da vazão, a região do rio Taquari transportou 51% dos SS, e somado ao rio São Lourenço transporte chega a 71% do SS transportados na bacia.

Esses dados mostram que os rios da bacia contribuem de forma diferenciada em substâncias dissolvidas e particuladas para o Pantanal, e a somatória destes é visto nas águas do rio Paraguai na saída do Pantanal, como mostra o trabalho de Oliveira et al. (no prelo). O balanço hídrico do Pantanal mostrou uma redução de aproximadamente 11% entre o somatório da entrada dos tributários (incluindo a precipitação) e a saída no rio Paraguai. A maioria dos solutos principais, bem como o ferro total, não mostraram evidências de grandes perdas ou ganhos à medida que a água se move através do Pantanal, enquanto nitrogênio e fósforo dissolvidos mostraram evidências de ganhos líquidos. Em contraste, os sedimentos em suspensão e o carbono orgânico particulado apresentaram retenção líquida, presumivelmente devido à sedimentação, à medida que as águas do rio passam pelas planícies de inundação.

No estudo de Oliveira et al. (no prelo) também pode ser observar o transporte dos rios individualmente, por exemplo, os rios que mais transportaram solutos dissolvidos foram os rios Miranda e Cuiabá, e sólidos suspensos e carbono foram transportadas principalmente pelos rios Taquari e Vermelho; os rios Taquari e Cuiabá transportaram altas cargas de nitrogênio e fósforo, comparados aos outros rios da bacia.

Este estudo foi feito entre 2000 e 2007 quando haviam na bacia aproximadamente 10 hidrelétricas em operação, sendo que atualmente operam 45 usinas, com predominância de pequeno porte e reservatórios fio d'água, PCHs. A proposta atual foi desenhada para avaliar os efeitos dos pequenos barramentos na qualidade da água e na hidrossedimentologia, em conjunto com outras áreas como hidrologia, Ictiologia e Socioeconomia, integrados num modelo multicritério para a tomada de decisão.

Transporte de sedimentos e nutrientes nos rios da região hidrográfica do rio Paraguai

As hidrelétricas de pequeno porte são construídas mediante diferentes projetos, dependendo do local em que são instaladas. Muitos projetos não incluem represamentos e retenção de água, mas a maioria apresenta barramentos dos rios, formada por barreiras de altura entre 10 e 40 m.

Impactos ambientais derivados da construção de grandes barragens de UHEs estão bem conhecidos como citados no documento da World Commission on Dams

(2000). Entre os impactos estão a mudança da quantidade e qualidade de água e sedimento, mudanças na temperatura da água, mudança da dinâmica de nutrientes, mudanças no habitat das espécies aquáticas a montante, a jusante devido ao estabelecimento de barreiras que dificultam a movimentação dos organismos.

Considerando que na Bacia do Alto Paraguai já está em operação a UHE de Manso, com lago equivalente a 427 km², seis UHEs com lagos menores e 38 PCHs e CGHs, além de vários empreendimentos previstos podendo chegar a 180 EHs, e ainda com potencial para novos inventários, é possível que alterações na qualidade da água possam ocorrer em diferentes escalas em curto médio e longo prazo.

Zeilhofer e Moura (2009), e Calheiros e Oliveira (2010), Calheiros et al. (2012) e Fantin Cruz (2015), Fantin Cruz et al. (2016) discorrem sobre alguns dos potenciais impactos dessas hidrelétricas sobre o funcionamento hidro-ecológico do Pantanal. O estudo de Zeilhofer e Moura (2009) e Souza et al. (2009) indicaram alterações hidrológicas no rio Cuiabá devido a construção do reservatório de Manso a partir de 2000, mas não encontraram indicações desses efeitos no rio Paraguai, a 400km distante do reservatório. Segundo Fantin Cruz et al. (2016) o reservatório Ponte de Pedra reduziu significativamente a turbidez, a concentração de sólidos suspensos, fósforo total e nitrato no rio Correntes a jusante, como resultado da sedimentação, e no caso de nitrato, assimilação biológica no reservatório.

Se o efeito individual de uma única PCH de pequeno porte (<30MW) é considerado relativamente pequeno, o mesmo não se aplica ao efeito conjunto de várias ao longo do curso de um mesmo rio, gerando um efeito cumulativo (Girard, 2011), como verificou Mantel e colaboradores (2010) em rios da África do Sul. Segundo esses autores, as mudanças das características físico-químicas da água de pequenos rios e das comunidades de macroinvertebrados bentônicos (organismos que habitam o fundo) foram mais correlacionadas com a quantidade de pequenas barragens do que ao efeito das grandes barragens isoladas. A alta densidade de pequenas barragens reduziu significativamente a descarga de água na seca e aumentou a concentração de sólidos dissolvidos na água, associado a uma significante redução dos macroinvertebrados bentônicos. Os autores observaram aumento dos organismos que são tolerantes à poluição e dos que preferem fluxo mais lento, ao passo que outros, que são mais sensíveis à poluição e perturbação, declinaram em número.

A retenção em cadeia das substâncias particuladas que são naturalmente transportados pelos rios e que adentram no Pantanal, pode diminuir a sua disponibilidade e afetar a produtividade da planície em áreas importantes para a fauna nativa, produtividade pesqueira e pecuária, mesmo considerando um incremento de nutrientes oriundos das atividades agropecuárias no planalto. Em médio e longo prazo os efeitos cumulativos dos barramentos podem alcançar as extensas pastagens nativas do Pantanal. O rio Taquari, por exemplo, não recebe tributários na planície, mas apresenta perdas de água por extravasamento das margens durante as cheias, levando nutrientes que vão sendo incorporados pela vegetação nas áreas alagadas da planície.

Apesar do transporte de fundo não ser devidamente conhecido e a retenção de sedimentos em suspensão em pequenos reservatórios ser pouco significativa, os empreendimentos previstos poderão reter até 66% da carga dentrítica transportada pelos rios com barragens, o que equivale a cerca de 52% da carga afluente ao Pantanal, segundo estimativas de Souza Filho (2013). Tal retenção poderá contrabalançar o aumento do aporte de sedimentos proporcionado pela ocupação da bacia (Padovani et al. 2005; Souza Filho, 2013), mas pode também ter intensidade suficiente para dar início à degradação da planície pantaneira, caso a carga de saída do Pantanal seja maior do que a de entrada.

Considerando que novos barramentos para geração de energia têm potencial de serem construídos, em adição aos já existentes, aumenta a possibilidade de mudança da hidrodinâmica natural da planície e do transporte de sedimentos e nutrientes ao longo do tempo, estes últimos importantes na produtividade da planície, tanto terrestre (pastagens nativas) quanto aquática. Pastagens nativas e produção pesqueira são as bases das principais atividades de importância econômica e social da região, a produção pecuária extensiva e a pesca, tanto a profissional-artesanal quanto o turismo de pesca.

Entre os tributários do rio Paraguai, há UHEs instaladas nos rios Jauru, Correntes e Itiquira, que são naturalmente rios de águas com poucos nutrientes e íons, comparados a outros rios do Pantanal. Sendo assim, mesmo pequenos barramentos nestes rios podem reter nutrientes devido à sedimentação provocada pela diminuição do fluxo. Efeitos dessa natureza são difusos e tem implicações sistêmicas a médio e longo prazo sobre a planície, o que os torna difíceis de serem mensurados. Alguns rios contribuem com mais nitrogênio (N), outros com mais fósforo (P), e a retenção destes

nutrientes pode ser diferenciada nos reservatórios, modificando a proporção N/P, com relevantes consequências sobre a produtividade primária do ecossistema à jusante.

Considerando os potenciais impactos da construção de barragens nas áreas de entorno do Pantanal esse estudo foi planejado para avaliar mudanças provocadas pelos barramentos dos empreendimentos hidrelétricos em operação no transporte de sedimentos e nutrientes dos rios, e produzir cenários considerando a implantação de todos os reservatórios, em escala de trecho de rio ou sub-bacia. Serão estimadas as cargas difusas por sub-bacias e por bacia de drenagem dos empreendimentos e as taxas de variação no transporte de sedimentos e nutrientes nos trechos de rios com barramentos, e produzidos os cenários de mudança no aporte de sedimentos e nutrientes para o Pantanal. Também serão definidos os indicadores para uso no modelo multicritério. Nos itens a seguir são apresentadas a metodologias e os resultados obtidos até o momento relativos a produção de sedimentos e nutrientes na bacia de drenagem (cargas difusas) e metodologia para obtenção das taxas de variação no transporte de nutrientes e sedimentos nos rios com barramentos.

1. Quantificação do potencial de produção de sedimentos e exportação de nutrientes nos empreendimentos previstos

Metodologia

Esta parte do estudo teve por objetivo estimar a carga difusa, representada pela produção potencial de sedimentos e nutrientes, na bacia de drenagem dos principais rios, e na área de drenagem de cada empreendimento hidrelétrico. O estudo foi feito de forma comparativa entre os anos de 1985 e 2017, sendo analisada a evolução histórica na produção potencial de sedimentos e nutrientes, por sub-bacia.

A área de estudo está localizada na região hidrográfica do rio Paraguai, na parte alta das sub-bacias dos rios formadores do Pantanal, com ênfase nos rios com empreendimentos hidrelétricos em operação ou previstos.

A estimativa da produção potencial de sedimentos e nutrientes na bacia de drenagem dos empreendimentos foi realizada por meio do modelo hidrológico SWAT (Soil and Water Assessment Tool - SWAT - ARNOLD et al., 1998). O SWAT é um modelo baseado em processos físicos, ou seja, baseia-se na solução de equações de mecânica de fluídos com condições limites apropriadas (Abbott; Refsgaard, 1996). Uma das vantagens desse tipo de modelo é a de pode ser usado para reduzir a quantidade de parâmetros do modelo (LOAGUE; Van Der KWAAK, 2004).

Em relação a classificação dos modelos hidrológicos que consideram a variação espacial das características da bacia (espacializados), o SWAT é um modelo semi-distribuído (SILVA, 2012) que substitui parte das equações físicas por modelos semi-empíricos (BITTELLI et al., 2010). Maiores informações sobre o modelo SWAT podem ser obtidas em: Neitsch et al. (2011); Arnold et al. (2012); e Baldissera (2015). Esse modelo é amplamente utilizado em pesquisas na área de quantidade e qualidade das águas de cursos d'água chuva-vazão, havendo vasta quantidade de artigos científicos e teses nacionais e internacionais em que ele foi utilizado.

Foram utilizados os seguintes dados de entrada para o modelo hidrológico:

- Modelo digital de elevação (MDE) do projeto Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), disponibilizado pelo United States Geological Survey (USGS), em seu sítio na internet, em formato raster, em formato geotiff, com resolução espacial aproximada de 90 m.;
- Arquivo vetorial em formato shapefile do mapa pedológico da bacia do Alto Paraguai (BAP) (Santos et al., 1997; Fernandes et al., 2007);
- Coeficientes de erodibilidade (Fator K da Equação Universal de Perda de Solo – EUPS – WISCHMEIER, SMITH, 1978) dos horizontes dos solos da BAP (PCBAP, 1997);
- Arquivo vetorial em formato shapefile do uso e cobertura da terra da BAP dos anos de 1985 e 2017 (FUNDAÇÃO ELISEU ALVES, 2018);
- Coeficientes de cobertura e manejo do solo (Fator C da EUPS) para cada tipo de uso e cobertura da terra (ANA, 2008), apresentado na Tabela 1;
- Demais parâmetros referentes ao uso e cobertura da terra necessários ao modelo hidrológico foram assumidos como sendo iguais aos parâmetros que o SWAT apresenta em sua tabela padrão, conforme a correspondência apresentada na Tabela 1. O fator de práticas conservacionistas (Fator P da EUPS) foi considerado igual a 1 para todos os tipos de uso e cobertura da terra.

Tabela 1 – Correspondência utilizada entre os usos e cobertura da terra mapeados e os da tabela padrão do SWAT e coeficientes de cobertura e manejo do solo correspondentes.

Usos e coberturas da terra mapeados	Sigla original	Sigla do uso correspondente no SWAT	Sigla final adotada no SWAT	Coeficientes de cobertura e manejo do solo
Alteração antrópica	aa	FRSD	AA01	0,25
Agricultura	Ac	AGRL	AC01	0,25
Pastagem	Ap	PAST	AP01	0,25
Degradada por Mineração	Im	AGRL	IM01	0,50
Influência Urbana	Iu	AGRL	IU01	0,50
Reflorestamento	R	FRSD	R001	0,05
Rios, córregos, corixos, vazantes, baías e salinas	Agua	WATR	WATR	0,000
Alteração Natural/Manejo	anm	PAST	ANM1	0,12
Vegetação com Influência Fluvial	VF	WETN	VF01	0,10
Savana Estépica/Chaco Úmido – SEU (Chaco Úmido)	SEU	PAST	SEU1	0,09
Savana Estépica – SEC (Chaco)	SEC	PAST	SEC1	0,09
Savana Gramínea – SG (Campo)	SG	PAST	SG01	0,09
Savana Arborizada – SA (Cerrado)	SA	PAST	SA01	0,04
Savana Florestada – SF (Cerradão)	SF	PAST	SF01	0,04
Formações Florestais	FF	FRSE	FF01	0,001

- Para o Uso Agricultura (AC01) foram incluídas duas operações anuais de aplicação de fertilizantes, sendo N=267Kg/ha e P2O5=80kg/há (Pereira Filho et al., 2015; Araujo et al., 2004);
- Dados diário de chuva dos anos de 1985 a 2015 dos postos pluviométricos adotados da simulação hidrológica MGB-IPH (FUNDAÇÃO ELISEU ALVES, 2018);

- Dados meteorológicos diários¹ de janeiro de 1985 a dezembro de 2015 das estações meteorológicas do INMET: 83309; 83361; 83552; e 83702 (INMET, 2017);
- Dados médios mensais de Radiação Solar Global (MJ. m⁻².dia⁻¹) para cada estação meteorológica (LABREN/CCST/INPE, 2017);
- Arquivos vetoriais em formato shapefile dos limites nacionais (GADM, 2012), estaduais e municipais (IBGE, 2016);
- Arquivos vetoriais em formato shapefile da localização de novas hidroelétricas em estudo (fornecido pela ANA); e
- Arquivos vetoriais em formato shapefile da Hidrografia (ANA, 2017b).

Os parâmetros físicos², químicos² e hidráulicos² médios dos solos da BAP foram obtidos por meio da metodologia de Mingoti et al. (2016) contemplando o cruzamento espacial do mapa de solos com a localização dos perfis e trincheiras de solos que estão nos bancos de dados de Cooper et al. (2005) e de Oliveira et al. (2008) e contemplando o processo de filtragem de dados. Para os solos que não dispunham de parâmetros nesses bancos de dados foram utilizados os dados de Polivanov et al. (1990).

Os dados médios mensais de longo período e outros parâmetros estatísticos dos dados meteorológicos foram obtidos pela metodologia de Guerreiro e Martins (2004) e utilizando software Microsoft Excel.

¹ Dados meteorológicos diários utilizados:

- Temperatura máxima (°C);
- Temperatura mínima (°C);
- Precipitação pluvial (mm);
- Umidade relativa média (%); e
- Velocidade média do vento (m.s⁻¹).

² Parâmetros químicos, físicos e hidráulicos dos solos que foram cadastrados no SWAT:

- Grupo hidrológico;
- Profundidade total e por horizonte (m);
- Porosidade por horizonte (m³.m⁻³);
- Capacidade de água disponível por horizonte (mm.mm⁻¹);
- Condutividade hidráulica saturada por horizonte (mm.h⁻¹);
- Densidade global por horizonte (g.cm⁻³);
- Carbono orgânico por horizonte (g.cm⁻³);
- Teor de areia, silte e argila por horizonte (%);

Todos os arquivos foram convertidos para o sistema de referência Sirgas 2000 e sistema de projeção Cônica Equivalente de Albers (longitude de origem: 54º W, latitude de origem: 12 º S, paralelo-padrão 1: 2º S, paralelo-padrão 2: -22 º S), com uso do aplicativo de sistemas de informação geográfica (SIG) Esri ArcGIS v. 10.3.

Para esse trabalho não foi possível realizar as etapas de calibração e validação do modelo hidrológico para a bacia em estudo. No entanto, os resultados de produção de sedimentos para os anos de 1985 e 2017 foram analisados de maneira comparativa, por meio do indicador Aumento relativo (AR) na produção de sedimentos ou nutrientes, utilizando a metodologia de (Mingoti; Vettorazzi, 2011). Para tanto, foi necessário realizar a simulação de produção de sedimentos para outros dois cenários, sendo um cenário elaborado pela substituição de todos os usos do solo, exceto a classe “Rios, córregos, corixos, vazantes, baías e salinas”, para o uso de “Formações Florestais” e outro cenário elaborado por meio da substituição de todos os usos citados pelo uso “Solo Descoberto”. Para este uso, “Solo Descoberto”, todos os parâmetros referentes ao uso e cobertura da terra necessários ao modelo hidrológico foram assumidos como sendo iguais aos parâmetros da classe “Pastagens” exceto pelos coeficientes de cobertura e manejo do solo e de práticas conservacionistas (Fatores C e P da EUPS) que foram assumidos como iguais a 1,0.

De modo a estimar as variáveis acima nas bacias hidrográficas a montante de cada empreendimento foram elaborados modelos hidrológicos para as seguintes sub-bacias da BAP: APA, Arica, Cuiabá, Miranda, Mutum, Negro, Paraguai/Barranquinho, Paraguai/Cabaçal, Paraguai/Juba, Paraguai/Porto Esperidião, Paraguai/Sepotuba, Piquiri, São Lourenço, e Taquari.

Resultados

Esta etapa do estudo está na sua fase final, sendo apresentado aqui os resultados preliminares, podendo haver alterações até o resultado final, o qual será apresentado em 2019.

Para cada sub-bacia da BAP foram geradas estimativas de médias mensais e totais anuais das seguintes variáveis:

- SYLD: Produção de sedimentos anual (t/ha)
- ORGN: Quantidade anual de nitrogênio orgânico transportado via escoamentos superficial e subsuperficial (kg nutrient/ha)
- ORGP: Quantidade anual de fósforo orgânico transportado via escoamentos superficial e subsuperficial (kg nutrient/ha)
- NSURQ: Quantidade anual de NO₃ transportado via escoamento superficial (kg nutrient/ha)
- SOLP: Quantidade anual de fósforo solúvel transportado via escoamentos superficial e subsuperficial (kg nutrient/ha)
- SEDP: Quantidade anual de fósforo adsorvido e transportado juntamente com a produção de sedimentos (kg nutrient/ha)
- LATNO₃: Quantidade anual de NO₃ transportado via escoamento subsuperficial (kg nutrient/ha)

Foram realizadas simulações hidrológicas nos cenários de uso e cobertura da terra dos anos de 1985 (A85) e 2017 (A17), bem como para os cenários “Formações Florestais” (FF) e “Solo Descoberto” (NU). Os valores estimados, bem como a diferença entre A17 e A85 e a estimativa do aumento relativo da produção de sedimentos ou nutrientes para cada sub-bacia estudada nas Figuras de 1 a 13. A partir das informações apresentadas nessas figuras, verifica-se que há grande variabilidade no aumento relativo de produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017, para as sub-bacias estudadas.

Foram encontradas sub-bacias em que ocorreram grandes (34% por exemplo) reduções na produção de sedimentos e sub-bacias em que ocorreram grandes aumentos na produção de sedimentos (294% por exemplo). Essas diferenças são causadas, por sua vez, pelas alterações de uso e cobertura da terra no período estudado, as quais foram muito variáveis entre as sub-bacias.

A diminuição na estimativa da produção de sedimentos ocorreu, de forma mais intensa (cor verde escura), nas seguintes sub-bacias: Paraguai Sepotuba; Arica; São Lourenço; Cuiabá; e Mutum.

Observa-se também que os maiores aumentos estimados na produção de sedimentos (cor vermelha) ocorreram nas seguintes sub-bacias: APA; Negro; Piquiri; Alto Paraguai (Barranquinho, Cabaçal, Porto Espírito Santo, Juba); e Miranda.

Conforme citado no início desse relatório, os dados de estimativas de cargas difusas para as sub-bacias e para as bacias de drenagem dos empreendimentos serão integrados a um ou mais indicadores para uso no modelo multicritério o qual permitirá avaliar os efeitos dos barramentos sobre a qualidade da água e na hidrossedimentologia.

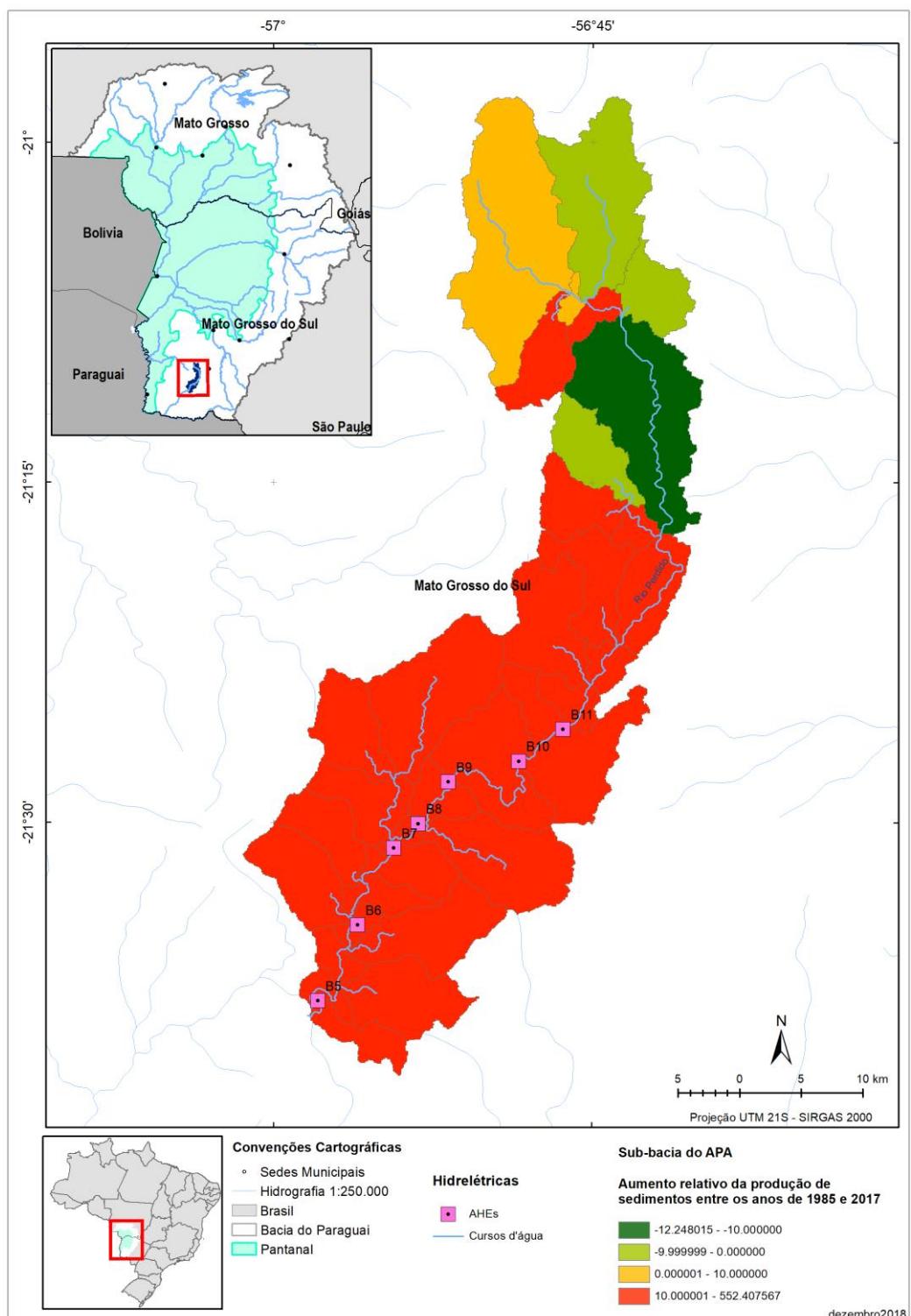


Figura 1. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia APA.

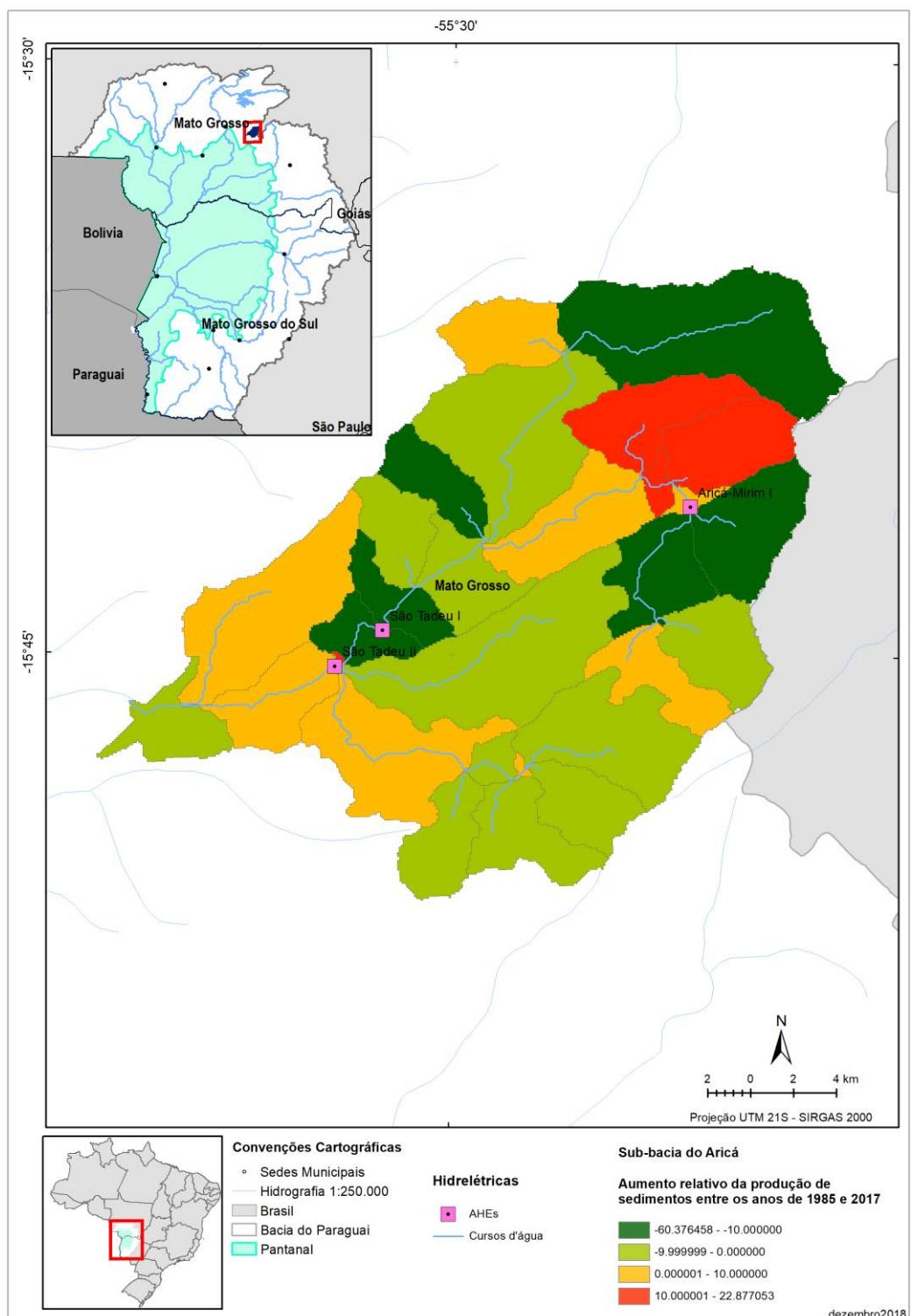


Figura 2. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Aricá.

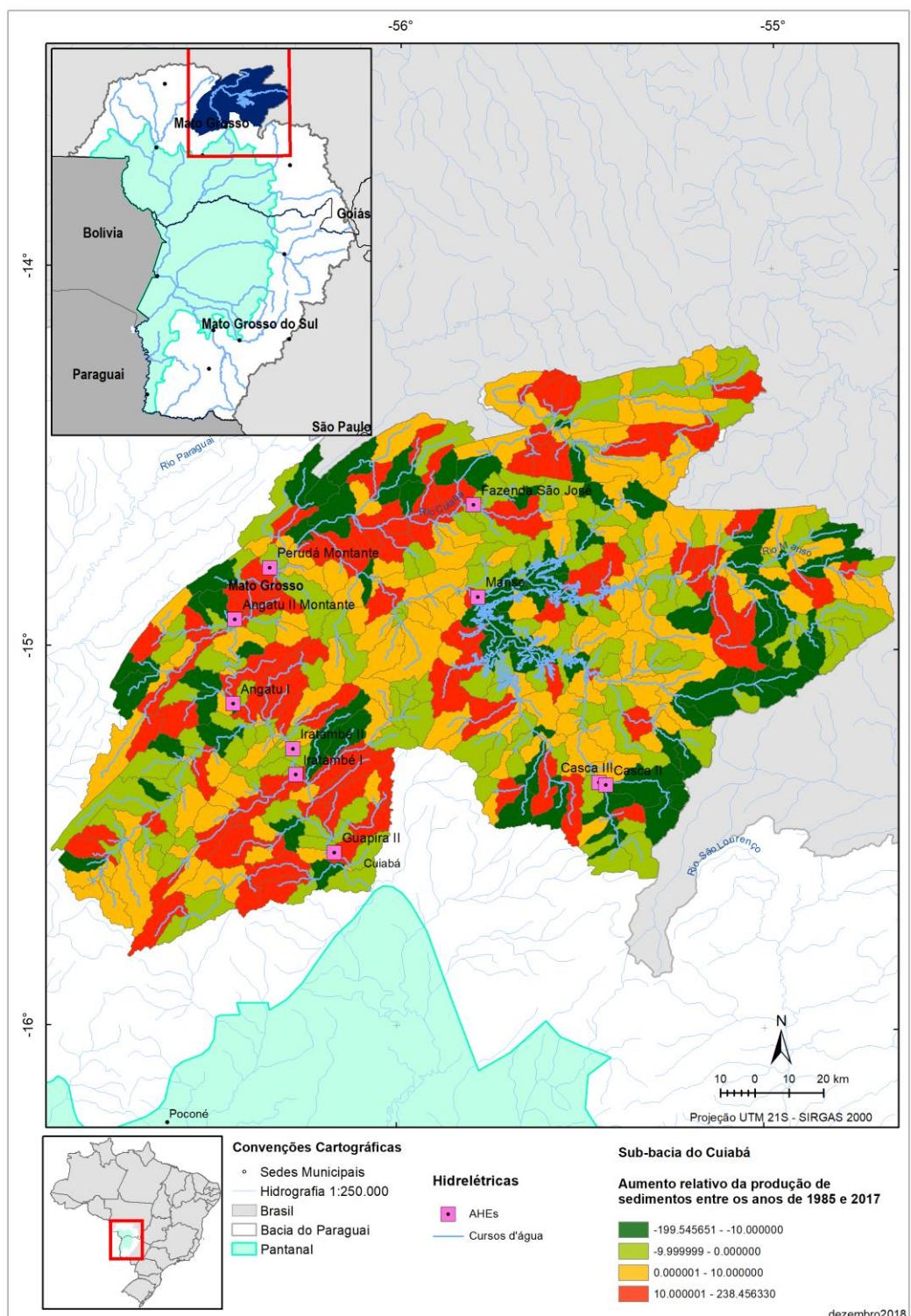


Figura 3. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Cuiabá.

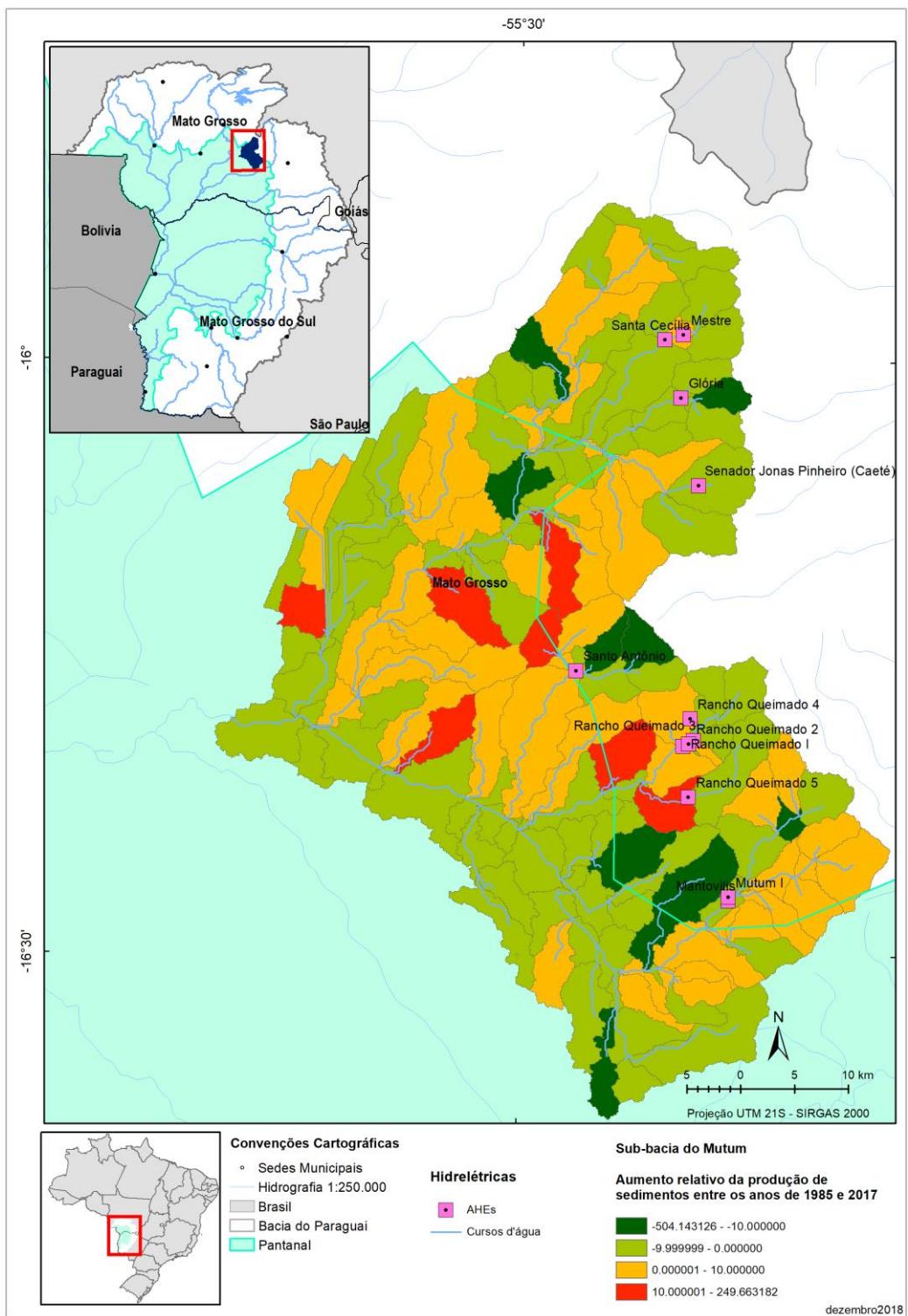


Figura 4. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Mutum.

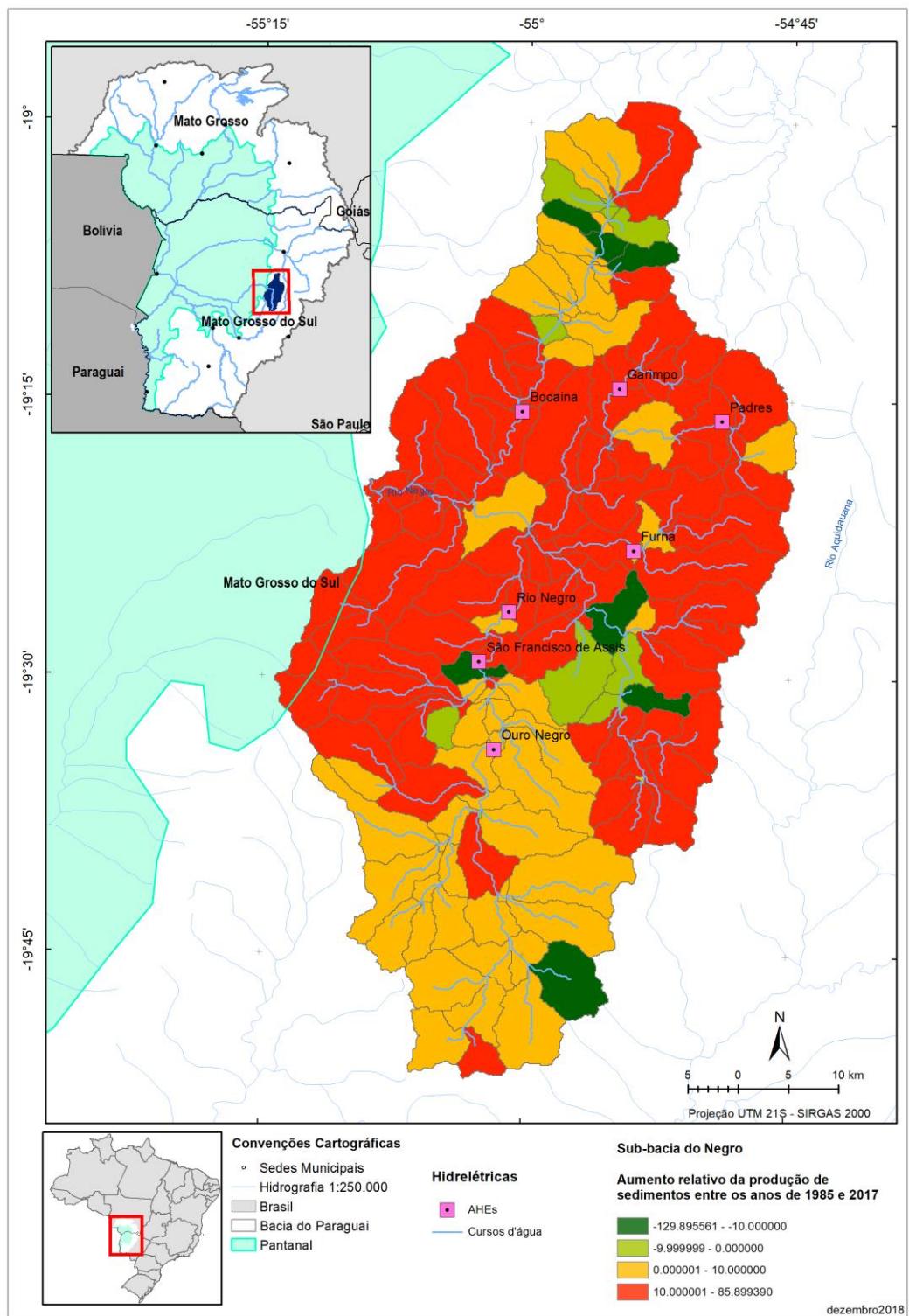


Figura 5. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Negro.

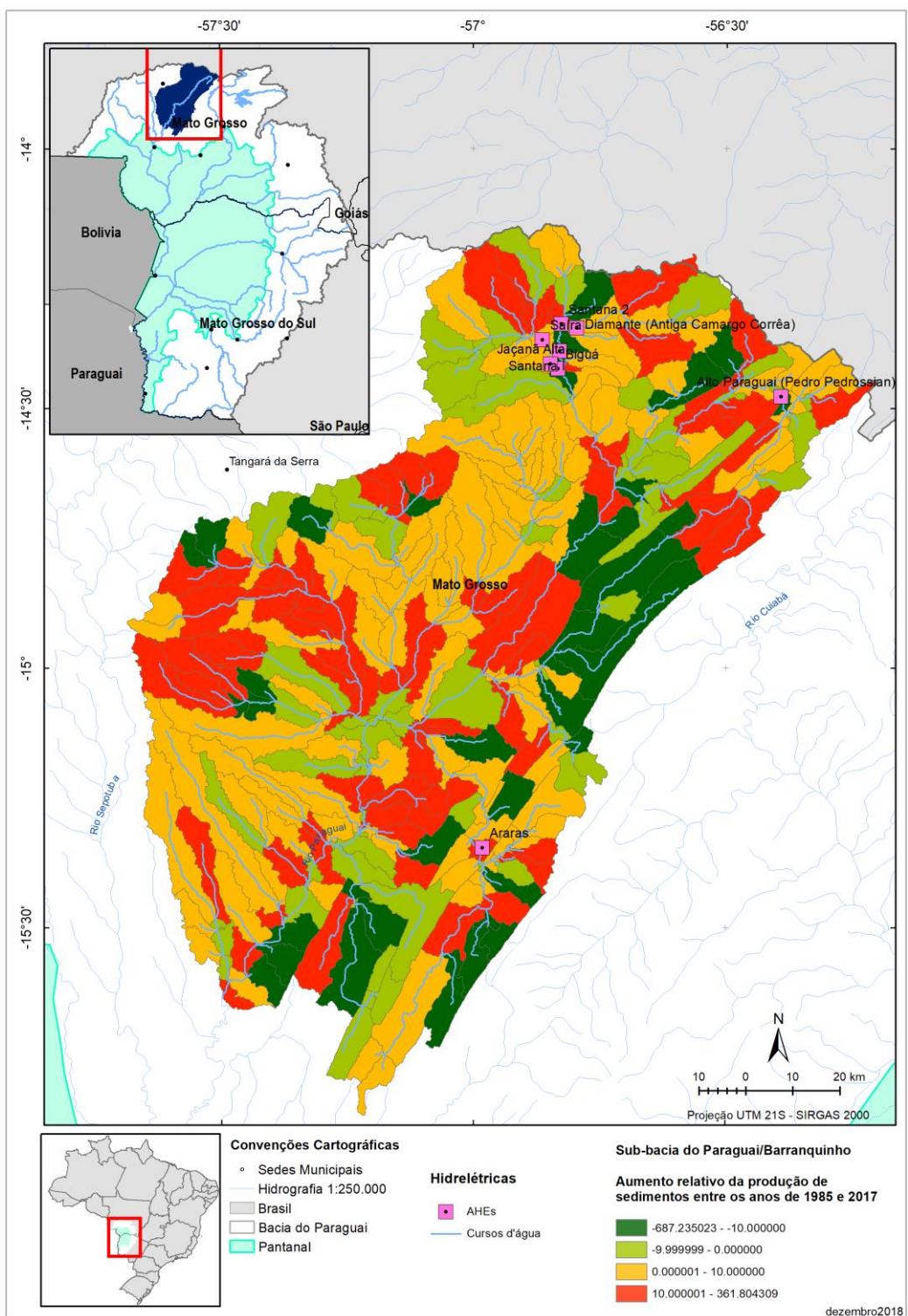


Figura 6. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Paraguai/Barranquinho.

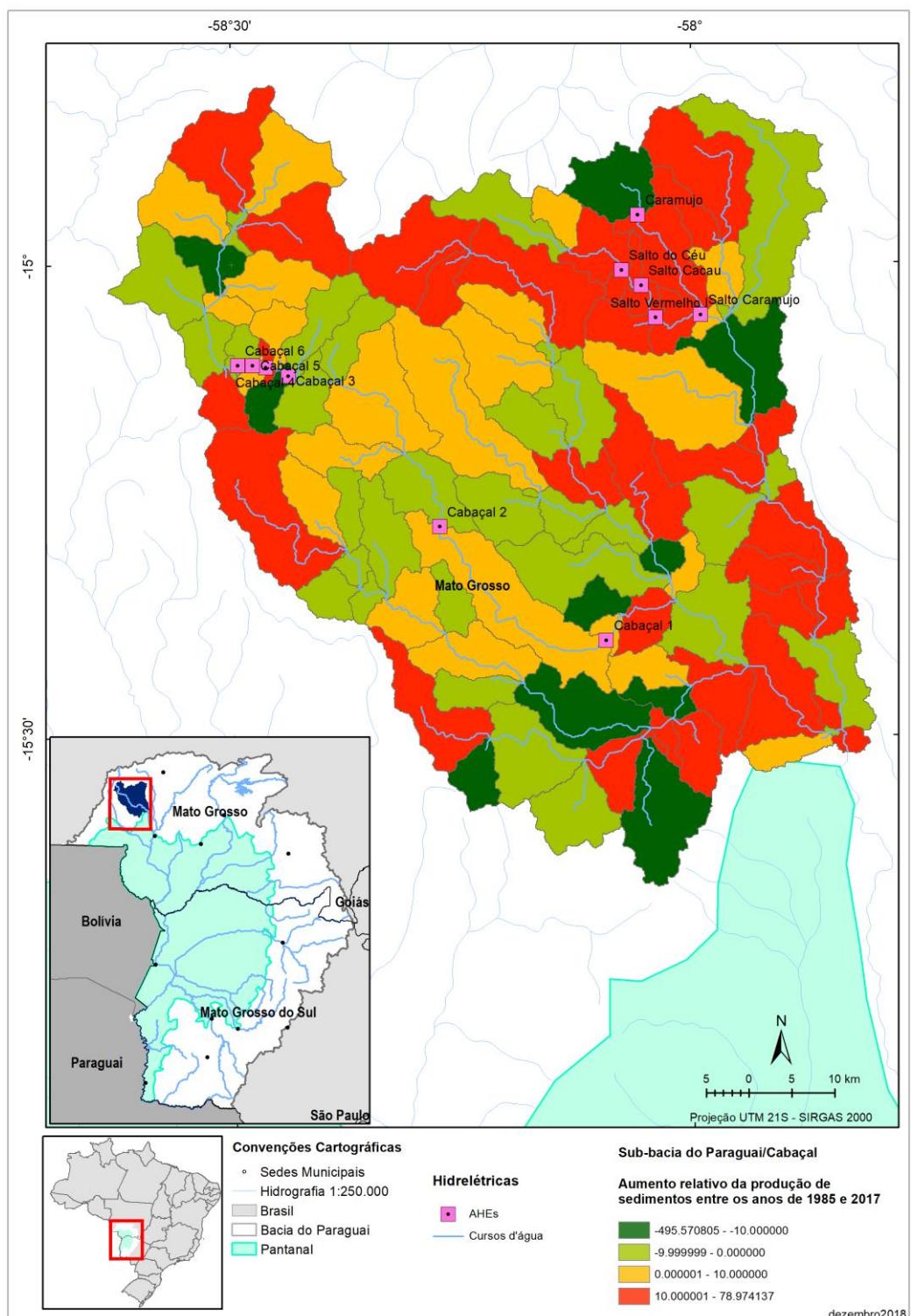


Figura 7. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Paraguai/Cabaçal.

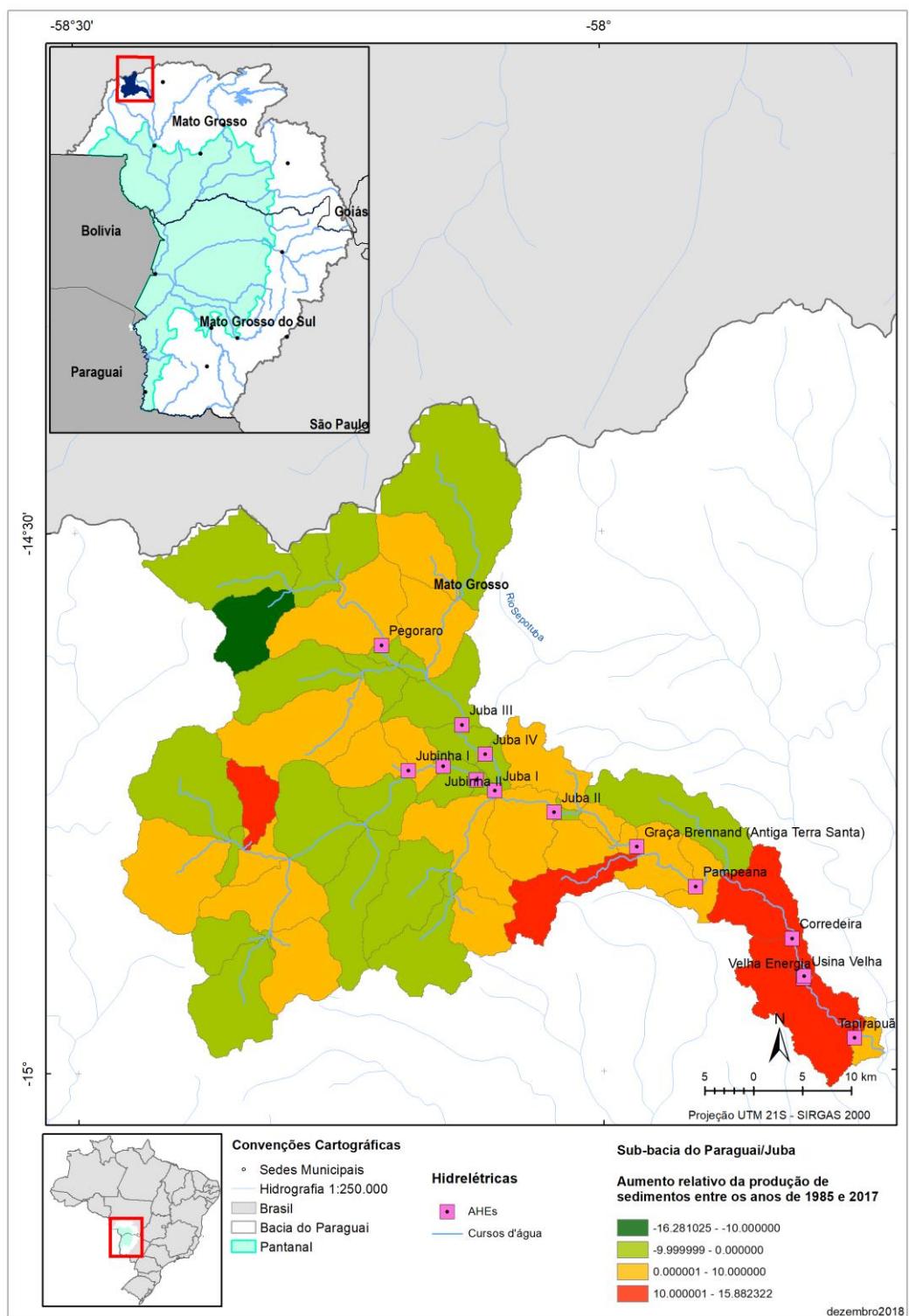


Figura 8. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Paraguai/Juba.

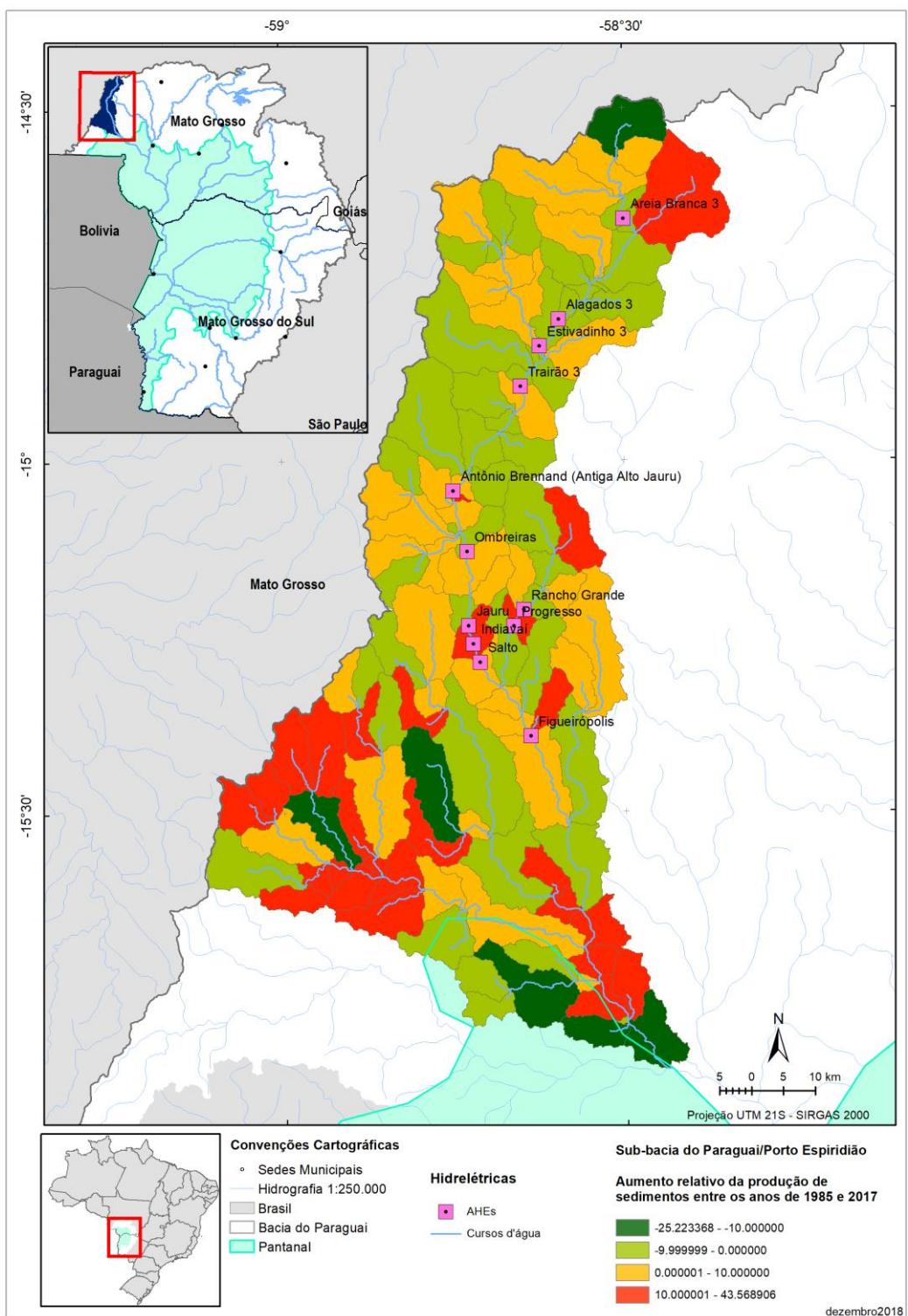


Figura 9. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Paraguai/Porto Espírito Santo.

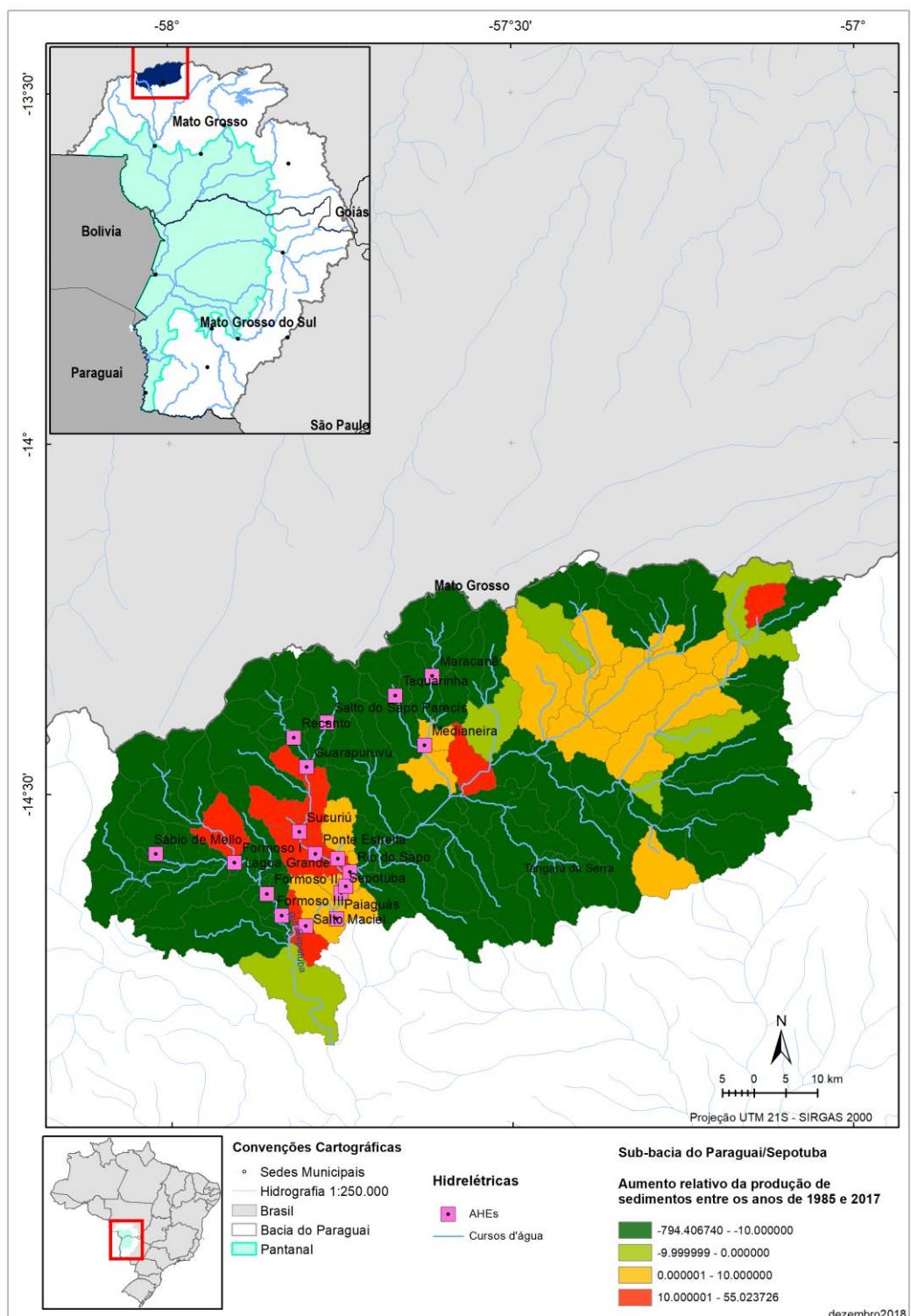


Figura 10. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Paraguai/Sepotuba.

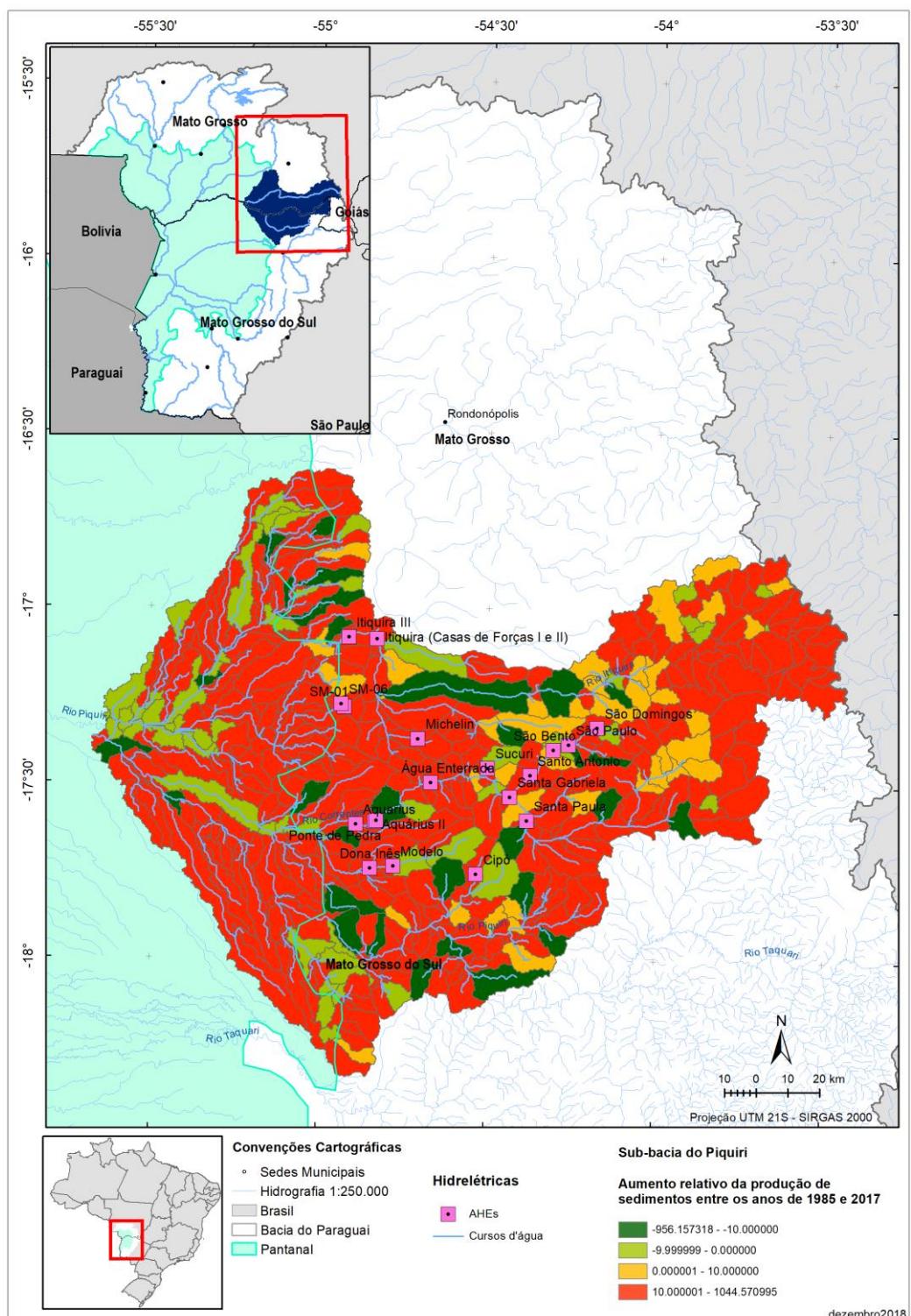


Figura 11. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Piquiri.

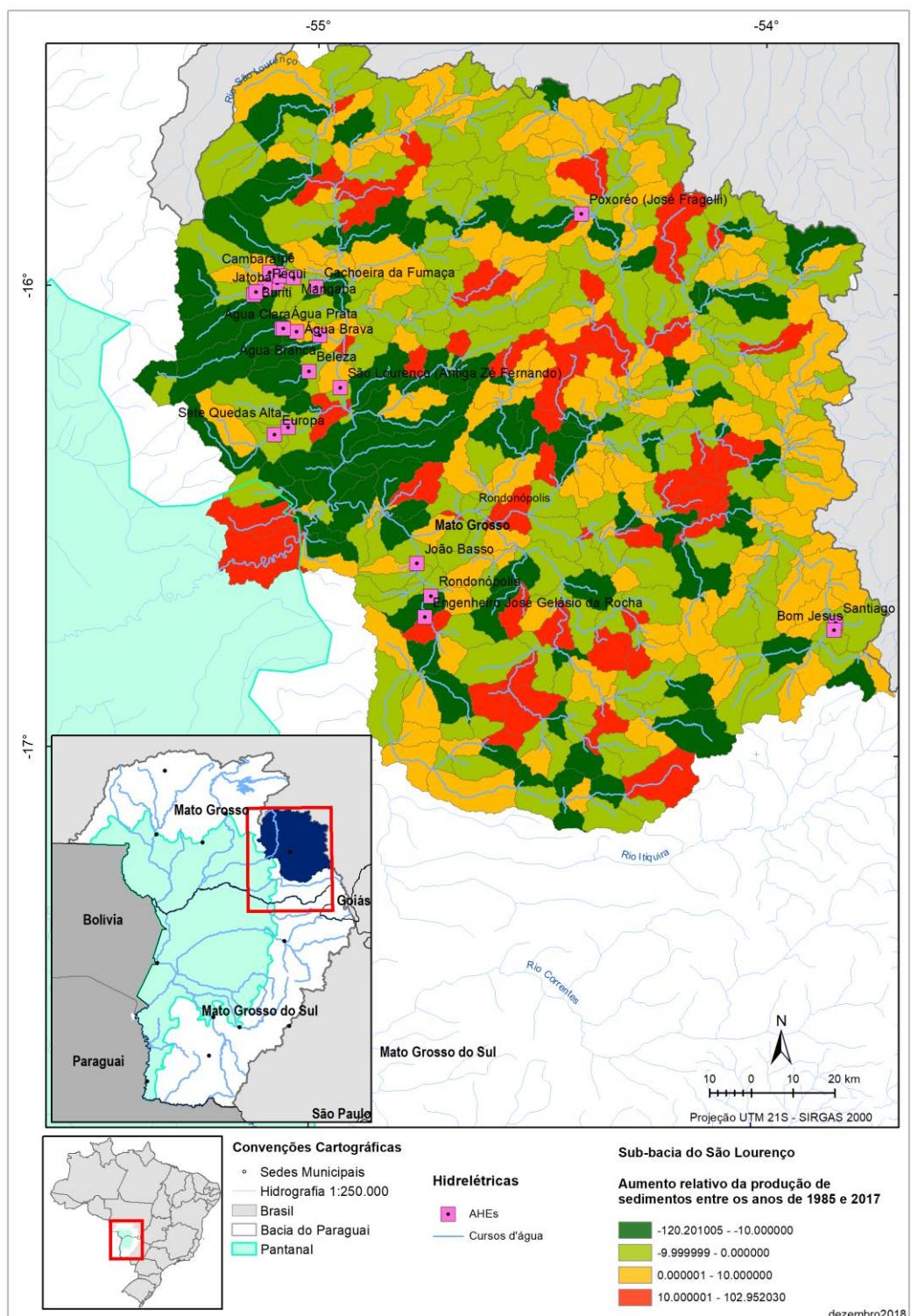


Figura 12. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do São Lourenço.

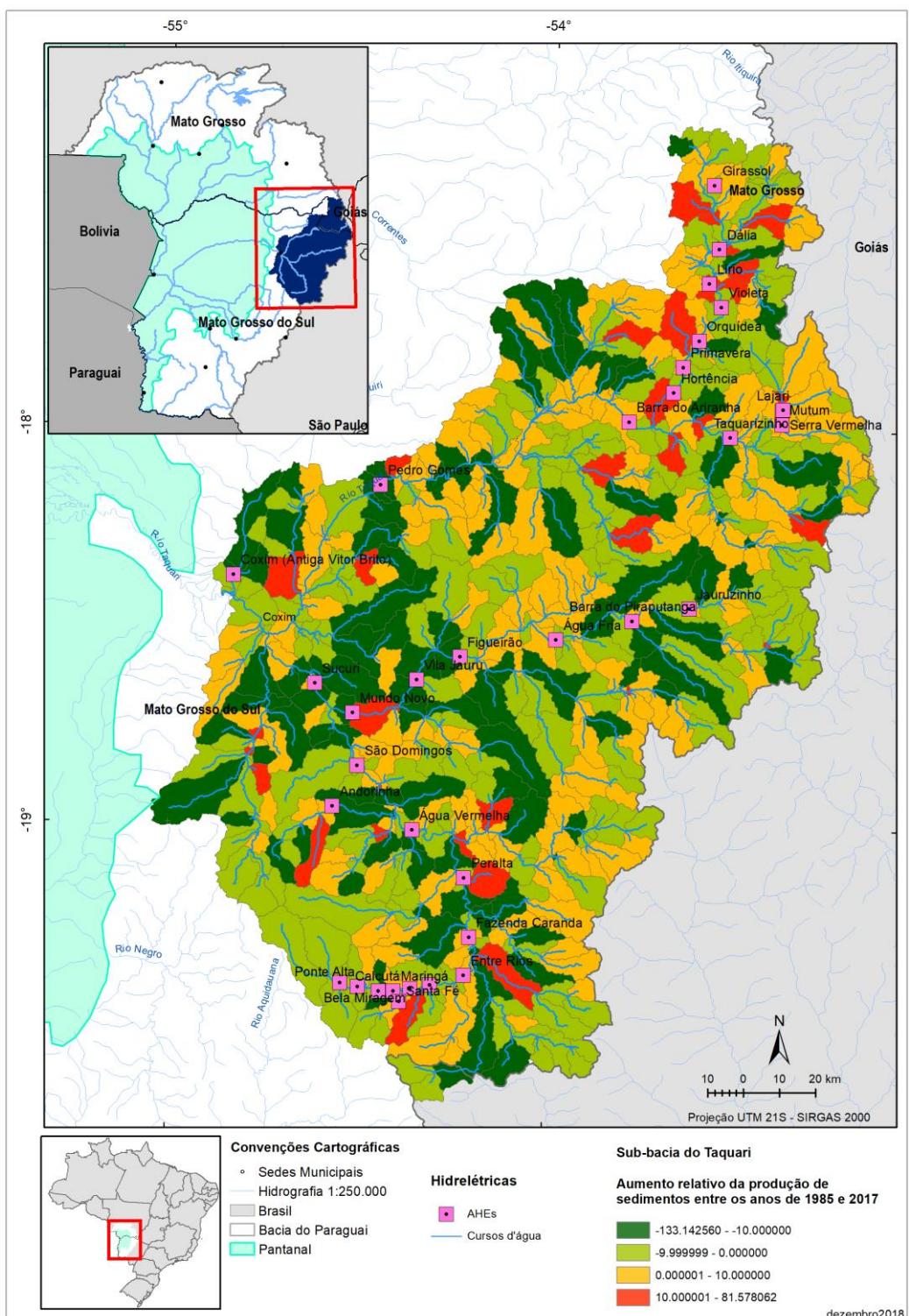


Figura 13. Diferença na produção de sedimentos entre os anos de 1985 e 2017 na sub-bacia do Taquari.

2. Transporte de sólidos suspensos e nutrientes nos rios da região hidrográfica do Paraguai sob influência de empreendimentos hidrelétricos.

O estudo que está sendo conduzido em empreendimentos em operação tem como objetivo estimar a taxa de variação no transporte de sedimentos e nutrientes nos rios com barramentos, bem como a mudança da turbidez a montante e a jusante de cada reservatório. Uma vez obtidas as taxas de variação nos empreendimentos em operação, essas serão utilizadas para estimar as mudanças potenciais quando da instalação de novos barramentos, mediante cenários. Serão considerados os tipos possíveis de arranjos construtivos dos empreendimentos, a localização do barramento ao longo do rio e as condições de transporte de nutrientes e sedimentos na área de drenagem, previamente avaliadas.

Delineamento amostral

O estudo foi dividido em 2 etapas, sendo a primeira o levantamento de informações existentes (dados secundários) e a segunda a coleta de dados em campo. O levantamento de dados secundários foi feito pela análise da informação contida em relatórios de monitoramento dos empreendimentos hidrelétricos, disponibilizada pela SEMA-MT. Foram considerados os principais parâmetros de água e sedimento contidos nos relatórios dos empreendimentos. Desses dados estão sendo estimados as cargas de sedimentos e nutrientes e calculada a taxa de variação para cada empreendimento.

Para o levantamento de dados em campo estão sendo realizadas as seguintes medições e coleta de dados:

Estimativa do transporte em suspensão: em cada ponto de coleta foi implantada uma seção fluviométrica, onde é levantado o perfil topobatimétrico e instaladas réguas limnimétricas. As vazões estão sendo medidas com ADCP modelo M9 (SonTek), para a construção da curva chave da seção.

Descarga de fundo: a descarga de fundo está sendo medida com amostradores do tipo Halley-Smith, posicionados em três verticais de cada seção de monitoramento. O material retido no equipamento será quantificado, e caracterizado por suas frações granulométricas.

Coleta e análises de parâmetros de qualidade de água: as coletas de água para a obtenção da carga de sedimentos e nutrientes são realizadas por integração vertical adotando o método de igual incremento de descarga (IID). Os equipamentos utilizados para as coletas são o DH48, DH49 e o AMS8, selecionados de acordo com as características hidráulica da seção.

A área amostrada está localizada na região hidrográfica do rio Paraguai, na parte alta das sub-bacias dos rios formadores do Pantanal, com ênfase nos rios com empreendimentos hidrelétricos em operação ou previstos. Na figura 1 são exibidos os pontos de coleta de com dados secundários e pontos de coleta dos dados coletados pelo projeto.

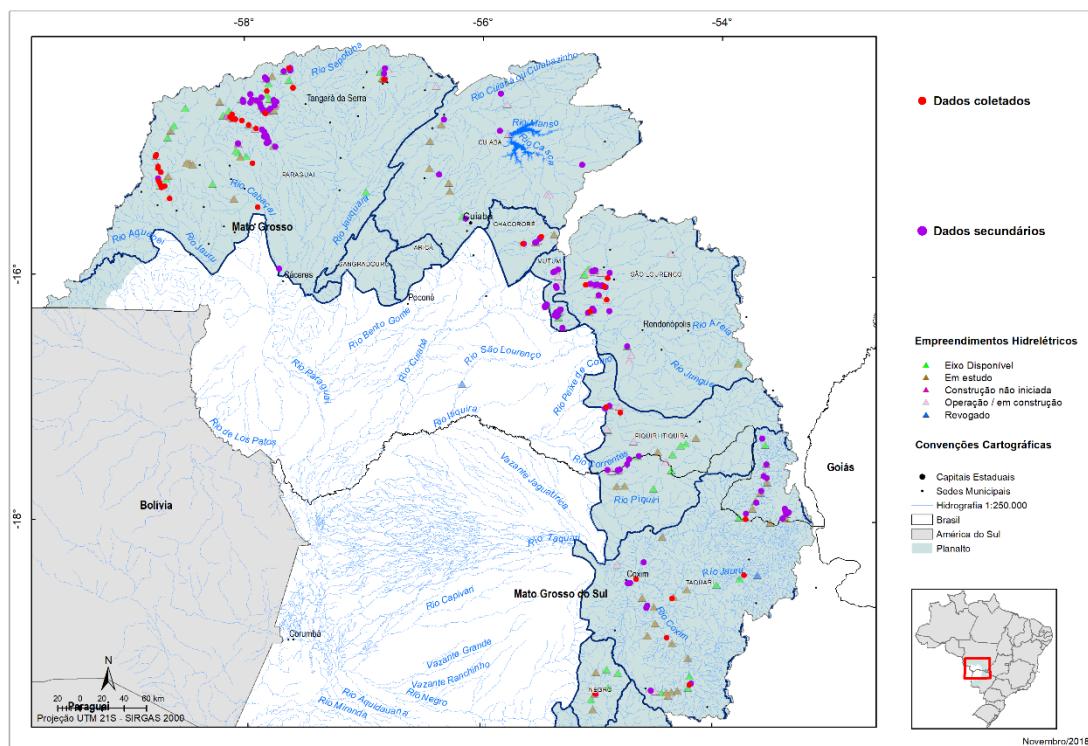


Figura 1. Localização dos pontos de amostragem de dados secundários e dados coletados, na bacia do rio Paraguai.

Escala espacial: a área de estudo compreende a bacia do rio Paraguai, nas Sub-bacias dos rios Jauru, Cabaçal, Sepotuba, Alto Paraguai, Cuiabá, São Lourenço, Itiquira, Correntes, Negro e Taquari. Os estudos devem abranger a área onde estão aproximadamente 160 empreendimentos hidrelétricos, entre construídos e previstos, distribuídos em aproximadamente 45 trechos de rios, nos principais afluentes do rio Paraguai. Estão sendo estudados aproximadamente 28 reservatórios em operação.

Escala temporal: foram previstas uma ou duas coletas no período seco e mais 10 ou 12 coletas no período de chuvas, entre de outubro e março. A frequência será a mesma nos empreendimentos previstos e em operação, exceto na bacia do rio Taquari, onde não serão amostrados empreendimentos em operação.

Parâmetros analisados

Dentre os parâmetros de qualidade de água e sedimentologia disponíveis nos relatórios de monitoramento foram considerados o transporte de sedimentos suspensos e do leito e de nutrientes, além da turbidez, como os possíveis indicadores do modelo multicritério, o qual integrará as informações de todas as áreas. Outras variáveis podem ser ainda incluídas como indicadores caso apresentem variação significativa.

As variáveis analisadas nos dados coletados são principalmente a vazão, sedimentos suspensos, turbidez, cor, nitrogênio e fosforo total na água, nitrogênio e carbono particulados (retidos no filtro), Sílica (dissolvido) e Fe total. Também estão sendo analisados nutrientes dissolvidos como nitrato, amônia, ortofosfato, oxigênio dissolvido, pH, Condutividade, temperatura da água. A amostragem é feita à montante e à jusante, em condições as mais similares possíveis, para fins de comparação. Tanto a coleta de dados como as análises em laboratório estão sendo feitas pelas equipes da UFMT e Embrapa Pantanal.

A análise da água está sendo realizada seguindo as metodologias descritas em APHA (2005) para cátions e ânions, Sílica (Si) e Ferro total (Fe T). O carbono orgânico particulado e o nitrogênio orgânico particulados são realizadas em CNHS, ambos na Embrapa Pantanal. Análises de cátions e ânions são feitas em cromatográfica líquida, cromatógrafo marca DIONEX. Nitrogênio total são analisados segundo Wetzel e Likens

(1991) e Valderrama (1981), por meio do sistema de injeção em fluxo. Fósforo total e ortofosfato são analisados segundo Mackereth et al. (1978) e Wetzel e Likens (1991). As análises de sedimento (concentração de sedimentos em suspensão, descarga sólida em suspensão, descarga sólida de leito e granulometria de sedimentos de leito) seguem os mesmos procedimentos usados pelo CPRM baseados em GUY (1969) e CARVALHO, 2008.

Análise estatística dos dados

O efeito do reservatório sobre cada parâmetro de qualidade de água e hidrossedimentológico, será calculado pelo teste pareado, não paramétrico de Wilcoxon. Este teste compara se as medidas de posição entre duas amostras (montante e jusante) são iguais, a um nível de significância de 5%. Este teste controla possíveis ruídos causado pela variabilidade climática interanual, que poderiam ser atribuídos ao represamento. Sua aplicação vem se mostrando uma opção simples e eficiente para a quantificação das alterações provocadas por reservatórios, mesmo com limitação de dados (Fantin-Cruz, et al., 2016). Para aplicação preliminar deste teste, foram considerados apenas as séries com no mínimo 5 pares de dados, quando menor o teste não foi aplicado.

Para avaliação da magnitude e direção da variação provocada pelos empreendimentos, foram calculados os desvios percentuais do valor do parâmetro de qualidade de água ou hidrossedimento medido a jusante em relação ao de montante, da seguinte forma:

-Para $P(M) < P(J)$

$$TX = + \left(1 - \left(\frac{P_{(M)}}{P_{(J)}} \right) \right) \times 100$$

- Para $P(M) > P(J)$

$$TX = - \left(1 - \left(\frac{P_{(J)}}{P_{(M)}} \right) \right) \times 100$$

Onde: TX é a taxa de variação em relação a condição de montante (natural ou controle), expresso em porcentagem (%); $P_{(J)}$ é o valor do parâmetro medido no ponto de jusante;

e $P_{(M)}$ o valor do parâmetro medido no ponto de montante. A taxa de variação poderá ser positiva, negativa, ou neutra, de acordo com um aumento, diminuição ou estabilidade no valor do parâmetro em relação ao montante. Esta padronização faz com que os limites máximos de variação fiquem entre +100% e -100%. Estas equações foram utilizadas por Fantin-Cruz et al. (2016) em análises semelhantes.

A partir da relação entre a taxa de variação e as características dos empreendimentos (volume, vazão, altura da barragem, posição da tomada d'água, entre outros) serão avaliados os cenários de alteração potencial do transporte de substâncias na bacia. Esses modelos para avaliação de cenários ainda estão em discussão pela equipe.

A estimativa da produção anual de sedimentos será feita com base nos dados existentes de descarga líquida e concentração de sedimentos levantados na Secretaria de Estado de Meio Ambiente (SEMA), ou obtidas durante a coleta de dados, ou ainda estimadas por modelagem hidrossedimentológica. Com a produção de sedimentos da bacia, as características morfométricas e hidráulicas dos reservatórios serão calculadas a vida dos reservatórios a partir das curvas de retenção de Churchill ou Brune, conforme descrito em Carvalho (2008).

Resultados

Até o presente momento foram organizados e analisados de forma preliminar, ainda não conclusivo, os dados existentes nos relatórios de monitoramento copiados na SEMA em áreas próximas a 28 empreendimentos em operação. Na tabela 1 encontra-se um resumo dos parâmetros analisados e dos resultados da análise dos dados secundários, representados por valores médios.

Tabela 01. Média dos parâmetros de qualidade de água, em concentração, e cargas de nitrogênio, fosforo total, ferro total e sólidos em suspensão nos rios com reservatórios. Valores são dados de estações a montante e a jusante dos reservatórios.

Sub_bacia	Empreendimento hidrelétrico	Latitude	Longitude	Corpo d'água	Vazão	Temperatura água	pH	Condutividade elétrica	Turbidez	Cor	Fósforo total	CARGA PT	Fosfato total	Nitrogênio total	CARGA nitrogênio total	Nitrato	N_amo niacal		
Jauru	Antonio Brennand	-15,04389	-58,74901	Rio Jauru	58,59	25,69	5,83	4,58	4,29	18,42	0,06	307,4	0,02	0,53	2698,2	0,88	0,14		
	Ombreira	-15,13357	-58,73401	Rio Jauru	62,31	24,52	6,17	5,48	7,64	43,22	0,04	206,1	0,02	0,41	2207,4	0,84	0,10		
	Jauru	-15,23556	-58,72778	Rio Jauru	72,60	25,42	6,33	6,37	6,76	26,10	0,04	264,8		1,04	6520,2	0,21	0,24		
	Indiavai	-15,26095	-58,72140	Rio Jauru	63,24	26,20	6,35	10,35	5,65	27,43	0,05	257,3	0,02	0,54	2974,2	0,49	0,02		
	Salto	-15,28734	-58,71123	Rio Jauru	65,61	25,20	6,61	5,59	4,09	30,79	0,05	283,4	0,10	0,13	736,9	0,55	0,09		
	Figueirópolis	-15,39258	-58,63776	Rio Jauru	74,72	25,80	7,19	33,55	4,93	18,66	0,03	184,9		0,13	868,6				
Sepotuba	Juba I e II	-14,76084	-58,04590	Rio Juba	34,59	25,22	6,12	5,09	3,86	16,51	0,05	151,9	0,00	0,36	1087,6	1,11	0,36		
	Graca Brenand	-14,79296	-57,96721	Rio Juba	59,35	25,67	6,44	5,19	4,37	18,18	0,05	246,7	0,04	0,68	3507,6	1,26	0,21		
	Pampeana	-14,49010	-57,55280	Rio Juba	54,86	25,68	6,48	7,25	4,80	28,39	0,08	369,8	0,04	0,62	2938,7	1,12	0,18		
Paraguai	Rio do Sapo	-14,61669	-57,74603	Rio do Sapo	6,45	26,58	6,76	9,95	3,31	10,00	0,01	5,6		0,79	441,9	0,19	0,06		
	Alto Paraguai	-14,50694	-56,40250	Rio Paraguai	5,04	24,05	7,07	56,35	3,63	16,71	0,05	21,8	0,04	1,08	468,0	0,97	0,06		
	Santana	-14,37726	-56,82950	Rio Santana	11,34	23,86	6,77	23,64	6,16	21,43	0,04	38,3		0,37	363,4	1,08	0,21		
	Diamante	-14,34681	-56,79522	Rio Santana	7,28	25,53	7,09	39,54	12,77	85,85	0,14	85,7	0,02	1,60	1005,3	1,44	1,77		
Cuiaba	Casca II e III	-15,35904	-55,46216	Rio Casca	11,83	23,25	5,82	7,96	19,80	79,95	0,10	104,6	0,11	1,25	1275,1	1,31	0,03		
	Santa Cecilia/M	-15,97849	-55,35994	Córrego Mestre	1,12	23,00	7,40	15,86	5,55	7,43	0,04	3,7		0,65	63,1	1,79	0,70		
	São Tadeu	-15,73960	-55,53355	Rio Aricá-Mirim	5,80	23,50	6,85	12,98	4,21	10,11	0,10	47,7		0,36	180,7	0,91	0,21		
	Rondonópolis	-16,68528	-54,67056	Rib. Ponte de Pedra	24,34	24,30	5,84	5,97	13,18	51,30	0,19	390,3		0,86	1801,7	0,13	0,29		
São Lourenço	José Gelázio	-16,70802	-54,75123	Rib. Ponte de Pedra	23,75	24,11	5,71	5,78	10,98	47,84	0,30	605,4		0,74	1517,7	0,07	0,21		
	Poxoréu	-15,83599	-54,40882	Rio Poxoréu	20,02	25,49	6,68	23,07	43,09	186,34	0,03	46,1	0,08	0,86	1489,9	0,86	0,10		
	Sete Quedas Altas	-16,30456	-55,06002	Corrégo Ibo		23,91	6,07	13,51	6,83	15,46	0,04			0,32			0,05		
	Pequi	-16,00325	-55,11539	Córrego Saia Branca		26,08	5,84	3,15	8,11	18,21	0,05		0,00	0,76		0,11	7,30		
	Sucupira	-15,99232	-55,08780	Córrego Saia Branca	12,94	23,86	6,64	12,04	6,75	15,26	0,05	50,7		0,39	436,0	0,52	9,48		
	Embauba	-15,98250	-55,08278	Rio Tenente Amaral	2,02	25,69	7,55	27,97	10,16	24,89	0,05	9,1	0,25	0,11	19,2	0,05	17,95		
	São Lourenço	-16,21760	-54,94444	Rio São Lourenço	96,24	25,71	6,53	15,51	39,72	47,74	0,09	778,9		0,42	3471,4	0,12	0,06		
	Piquiri	-17,09065	-54,83074	Rio Itiquira	72,41	25,40	6,60	9,47	21,35	51,91	0,05	286,4		1,04	6489,7	0,07	0,13		

Tabela 01. Continuação.

Sub_bacia	Empreendimento hidrelétrico	Latitude	Longitude	Corpo d'água	Cloreto	Sulfato	Sódio	Magnesio	Cálcio	Potássio	Sílica	Fe total	CARGA Fe total	Fe diss	solidos em suspensão	CARGA SST		
Jauru	Antonio Brenna	15,04389	-58,74901	Rio Jauru	2,95	1,69	0,45	0,09	0,22	0,40	3,42	0,13	645,8	0,06	28,35	143525,6		
	Ombreira	-15,13357	-58,73401	Rio Jauru	2,87	0,21	0,25	0,09	0,10	0,10	0,84	0,17	931,9	0,08	30,85	166076,7		
	Jauru	-15,23556	-58,72778	Rio Jauru	8,78	3,89	0,24	1,13	1,52	0,20	3,14	0,45	2813,4		19,34	121305,1		
	Indiavai	-15,26095	-58,72140	Rio Jauru	1,12	12,04	1,80	0,45	1,82	1,25	2,48	0,21	1139,0	0,07	45,88	250664,2		
	Salto	-15,28734	-58,71123	Rio Jauru	2,93	1,34	0,33	1,68	0,92	25,52	1,40	0,12	707,4		12,20	69183,0		
	Figueirópolis	-15,39258	-58,63776	Rio Jauru								0,09	606,3		9,86	63648,1		
Sepotuba	Juba I e II	-14,76084	-58,04590	Rio Juba	5,52	3,05							0,07	196,0	0,05	11,08	33115,4	
	Graca Brenand	-14,79296	-57,96721	Rio Juba	5,07	2,98	0,24	0,45	0,58	0,15	2,50	0,07	368,4	0,06	16,20	83073,7		
	Pampeana	-14,49010	-57,55280	Rio Juba	4,90	3,79	0,19	0,10	0,10	0,11	4,88	0,11	509,2	0,08	22,23	105379,5		
	Rio do Sapo	-14,61669	-57,74603	Rio do Sapo								0,11	62,7		10,00	5575,8		
Paraguai	Alto Paraguai	-14,50694	-56,40250	Rio Paraguai	3,01	8,08	0,15	1,95	6,51		5,25	0,39	170,7	0,08	17,96	7816,4		
	Santana	-14,37726	-56,82950	Rio Santana	5,31	0,73		3,39	3,36	0,87	3,52	0,12	117,6		9,64	9446,8		
	Diamante	-14,34681	-56,79522	Rio Santana			1,93		3,70	3,30	0,92	1,96	1230,3		15,43	9707,4		
	Casca II e III	-15,35904	-55,46216	Rio Casca	2,71	13,19	0,25	0,10	0,99	0,10	14,50	0,94	956,6	0,21	43,25	44211,7		
Cuiaba	Santa Cecilia/M	-15,97849	-55,35994	Córrego Mestre								0,12	11,7	0,03	1,43	137,9		
	São Tadeu	-15,73960	-55,53355	Rio Aricá-Mirim	4,90	2,83	0,55	1,05	1,64	0,26	1,70	0,11	55,4		3,17	1588,0		
	Rondonópolis	-16,68528	-54,67056	Rib. Ponte de Pedra		0,03						0,45	946,3	0,37	12,39	26044,4		
	José Gelázio	-16,70802	-54,75123	Rib. Ponte de Pedra		0,02						0,40	829,0	0,39	12,16	24956,5		
São Lourenço	Poxoréu	-15,83599	-54,40882	Rio Poxoréu	3,22	2,65	0,40	0,10	2,57	0,10	24,00	2,04	3520,9	0,16	61,95	107161,0		
	Sete Quedas Altas	-16,30456	-55,06002	Corrégo Ibo	3,62	1,17	0,18	1,43	3,23			1,51			3,81			
	Pequi	-16,00325	-55,11539	Córrego Saia Branca								0,15			59,59			
	Sucupira	-15,99232	-55,08780	Córrego Saia Branca								0,12	136,3		18,03	20152,9		
	Embauba	-15,98250	-55,08278	Rio Tenente Amaral	14,20							0,24	41,3	0,27	30,56	5333,6		
	São Lourenço	-16,21760	-54,94444	Rio São Lourenço	3,04	5,95	0,60	2,20	1,70	1,03	5,03	0,72	5948,3		42,28	351546,6		
	Piquiri	-17,09065	-54,83074	Rio Itiquira	1,55	1,23	0,34	2,37	5,36	1,37	0,09	0,36	2224,5		20,37	127431,8		

A coleta de dados em campo está em andamento, foram realizadas 5 campanhas de campo, no período seco e início do período chuvoso, e os dados estão em fase de análise laboratorial. As taxas de variações dos parâmetros de qualidade de água e hidrossedimentologia serão calculadas após a conclusão dos trabalhos de campo e análises de laboratório. A taxa de variação será analisada por análises estatísticas, sendo importante o maior número possível de amostras para a robustez da análise.

REFERENCIAS

- ABBOTT, M.; REFGAARD, J.C. Distributed hydrological modeling. Heidelberg: Springer, 1996. 336 p.
- ANA Agência Nacional de Águas. Hidroweb. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br> Acesso em: 02 out. 2017a.
- ANA Agência Nacional de Águas. Arquivos Digitais. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp?TocItem=4100> Acesso em: 02 out. 2017b.
- ANA Agência Nacional de Águas. Manual Operativo do Programa “Produtor de Água”. Brasília, 65 p., 2008.
- ANA Agência Nacional de Águas. Plano de Recursos Hídricos do Paraguai – PRH Paraguai. Agencia Nacional de Águas, Brasilia: ANA, 2018.
- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington, APHA, pp. 1268. 2005
- ARAUJO, L.A.N.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.39, n.8, p.771-777.
- ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; SRINIVASAN, R.; WILLIAMS, J.R.; HANEY, E.B.; NEITSCH, S.L. Soil and water assessment tool input/output file documentation version 2012. Disponível em: <<http://swat.tamu.edu/media/69296/SWAT-IO-Documentation-2012.pdf>>
- ARNOLD, J. G.; SRINIVASAN, R.; MUTTIAH, R. S.; WILLIAMS, J. R. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1. Journal of the American Water Resources Association, v. 34, n. 1, p. 1, 1998.
- ASSINE, M.L.; SOARES, P.C. Quaternary of the Pantanal, West-central Brazil. Quaternary International, v. 114, p. 23-24. 2004.
- BARBEDO, A.G.A. Estudo Hidrossedimentológico na Bacia do Alto Paraguai – Pantanal. 2003. 107f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003.
- BALDISSERA, GISELE CRISTINA. Aplicabilidade do modelo de simulação hidrológica SWAT (Soil and Water Assessment Tool), para a bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT. Cuiabá-MT, Brazil: Universidade Federal do Mato Grosso, 2005.
- BITTELLI, M.; TOMEI, F.; PISTOCCHI, A.; FLURY, M.; BOLL, J.; BROOKS, E.S.; ANTOLINI, G. Developement and testing of a physically based, three-dimensional model of surface and subsurface hydrology. Advances in Water Resources, Southampton, v. 33, p. 106-122, 2010.
- CALHEIROS, D.F.; OLIVEIRA, M.D. O rio Paraguai e sua planície de inundação: o Pantanal Mato-Grossense. Ciência e Ambiente, n. 14. p. 113-130. 2010.
- CALHEIROS, D.F.; OLIVEIRA, M.D.; PADOVANI, C.R. Hydro-ecological Processes and Anthropogenic Impacts on the Pantanal Wetland. In: Ioris, A.A.R. (ed.) Tropical Wetland

Management: The South-American Pantanal and the International Experience. Farnham, Surrey: Ashgate, 2012. p. 29-57.2012

CARVALHO, N. O. Hidrossedimentologia: Prática. 2 ed. Rio de Janeiro: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, Eletrobrás, 600p. 2008.

COOPER, M.; MENDES, L.M.S.; SILVA, W.L.C.; SPAROVEK, G. A national soil profile database for Brazil available to international scientists. *Soil Science Society of America Journal*, v.69, p.649-652. DOI: 10.2136/sssaj2004.0140.

CRUZ, Rúbia Fantin. Pequenas Centrais Hidrelétricas com diferentes arranjos e seus impactos sobre a qualidade da água na Bacia do Alto São Lourenço. (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, UFMT. 2018.

FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S.K. Effects of a diversion hydropower facility on the hydrological regime of the Correntes River, a tributary to the Pantanal floodplain, Brazil. *Journal of Hydrology*, v. 531, n.3, p. 810-820. 2015.

FANTIN-CRUZ, I. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. *Hydrobiologia*, 768:223-238. 2016.

FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S; PELLEGRIN, L. A.; LIMA, I. B. T. de. Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <http://www.cpap.embrapa.br/publicacoes/> download.php?arq_pdf=COT61

FUNDAÇÃO ELISEU ALVES. Elaboração de estudos de avaliação dos efeitos da implantação de empreendimentos hidrelétricos na região hidrográfica do Rio Paraguai e para suporte à elaboração do Plano de Recursos Hídricos da RH-PARAGUAI. Parceria Agência Nacional de Águas – ANA. Contrato 062/16. Vigência 2017-2020. Projeto em andamento.

GADM - Global Administrative Areas. Database of Global Administrative Areas Version 2.8. 2012. Disponível em <http://www.gadm.org> Acesso em: 02 out. 2017.

GUY, H. P. Laboratory theory and methods for sediments analysis. Washington: USGS/United Stats Government printing office, Book 5 Laboratory analysis, Chapter C1. 1969.

GUERREIRO, M. J.; MARTINS, C. Parametrização das variáveis climáticas necessárias para o uso do modelo SWAT. 2004. 6p. Disponível em <https://bdigital.ufp.pt/handle/10284/566> Acesso em 15/04/2015.

HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; CALHEIROS, D.F.; MELACK, J.M. An anoxic event and other biogeochemical effects of the Pantanal wetland on the Paraguay River. *Limnology and Oceanography*, v.42, p.257-272. 1997.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Bases Cartográficas Contínuas. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2016/shapefile/ Acesso em: 02 out. 2017.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/> Acesso em: 02 out. 2017.

LABREN - Laboratório de Modelagem e Estudos de Recursos Renováveis de Energia / CCST Centro de Ciência do Sistema Terrestre / INPE Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Atlas brasileiro de energia solar 2^a ed. INPE. 2017.

LOAGUE, K; Van der KWAAK, J. Physics-based hydrologic response simulation: platinum bridge, 1958 Edsel, or useful tool. *Hydrological Processes*, Chichester, v. 18, p. 2949–2956, 2004.

MACKERETH, J. F. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. Water analysis: some revised methods for limnologists. *Freshwater Biological Association*, n. 36, 121 pp. 1978.

MARQUES, J. D. D. O.; LUIZÃO, F. J.; LUIZÃO, R. C. C.; NETO, A. Variação do carbono orgânico em relação aos atributos físicos e químicos do solo ao longo de uma topossequência na Amazônia central. In *Anais do VIII Congresso de Ecologia do Brasil*. 2007.

MINGOTI, R.; SPADOTTO, C. A.; MORAES, D. A. C. Suscetibilidade à contaminação da água subterrânea em função de propriedades dos solos no Cerrado brasileiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira (Online)*, v. 51, p. 1252-1260, 2016.

MINGOTI, R.; VETTORAZZI, C. A. Relative reduction in annual soil loss in micro watersheds due to the relief and forest cover. *Engenharia Agrícola*, v. 31, p. 1202-1211, 2011

NEITSCH, S. L., ARNOLD, J. G., KINIRY, J. R., WILLIAMS, J. R. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute. 2011.

OLIVEIRA, S.R. de M.; ZURMELY, H.R.; LIMA JÚNIOR, F.A. de; SANTOS, H.G. dos; MEIRELLES, M.P.S. Sistema de informação de solos brasileiros. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2008. 8p. (Embrapa Informática Agropecuária. Comunicado técnico, 93).

OLIVEIRA, V. A. Diagnóstico dos usos da água e do solo na bacia do ribeirão Ponte de Pedra (Mato Grosso) e seus efeitos sobre a qualidade da água. (Dissertação) Mestrado em Recursos Hídricos, UFMT, Cuiabá. 2016.

OLIVEIRA, M.D., CALHEIROS, D.F., HAMILTON, S.K. Balanço de massa de solutos dissolvidos e particulados na planície do Pantanal (Rio Paraguai), Brasil. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*) (no prelo).

PADOVANI, C. R.; GALDINO, S.; VIEIRA, L. M. Dinâmica hidrológica e de sedimentação do Rio Taquari no Pantanal. In: GALDINO, S.; VIEIRA, L. M.; PELLEGRIN, L. A. (Ed.). Impactos ambientais e socioeconômicos nas Bacia do rio Taquari - Pantanal. Corumbá: Embrapa Pantanal, p.153-162. 2005.

PCBAP - Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP: diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF: PNMA, 1997. p.127-307. v.2, t.1.

PEREIRA FILHO, I.A. et al. Cultivo do Milho. Brasília: Embrapa Milho e Sorgo, 2015. (Embrapa Milho e Sorgo. Sistema de Produção, 1). Disponível em: <https://goo.gl/p91CHq>

POLIVANOV, H.; CASTRO, A.C.J.; ANTUNES, F.S.; CAMARA, L.C.A. Estudo de um perfil podzólico e de brunizém da Zona Oeste do Estado do Rio de Janeiro. Anuário do Instituto de Geociências, Vol. 13, pp. 17-29, 1990. Disponível em: <<https://revistas.ufrj.br/index.php/aigeo/article/view/5905/4502>>.

SANTOS, R.D. dos; CARVALHO FILHO, A. ; NAIME, U. J.; OLIVEIRA, H.; MOTTA P. E. F.; BARUQUI, A. M.; BARRETO, W.O.; MELO, M. E. C. C. M.; PAULA, J. L.; SANTOS, E. M. R.; DUARTE, M. N.

Pedologia. In: PCBAP - Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai - PCBAP: diagnóstico dos meios físico e biótico - meio físico. Brasília, DF: PNMA, 1997. p.127-307. v.2, t.1.

SEMMELMANN, F. R; BORGES, A.; RISSO, A.; BORDAS, M.; LOPES, M S. Balanço Preliminar de sedimento no Pantanal da bacia do Alto Paraguai-BAP, Brasil. In: Simpósio sobre recursos naturais e socioeconômicos do Pantanal: Manejo e Conservação, 2, 1996, Corumbá, MS. Anais. Corumbá, MS, p.79-87. 1996.

SILVA, M. M. da Dinâmica espaço-temporal das áreas variáveis de afluência da bacia do córrego do Cavalheiro. Piracicaba, 2012. Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2012.

SOUZA FILHO, E.E. As barragens na bacia do rio Paraguai e a possível influência sobre a descarga fluvial e o transporte de sedimentos. Bol. Geogr. Maringá, v. 31, n. 1, p. 117-133. 2013.

VALDERRAMA, J. C. The simultaneous analyses of TN and TP in natural waters. Marine Chemistry, v. 10, p. 109-112. 1981

ZANI, H.; ASSINE, M.L.; SILVA, A.; CORRADINI, F.A.; KUERTEN, S.; GRADELLA, F.S. Geoformas deposicionais e feições erosivas no pantanal mato-grossense identificadas por sensoriamento remoto. Geografia, v. 34, p. 643-654. 2009.

ZEILHOFER, P.; LIMA, E.B.N.R.; LIMA, G.A.R. Spatial patterns of water quality in the Cuiabá river basin, central Brazil. Environmental Monitoring Assessment, v. 123, n. 1-3, p. 41-62. 2006.

ZEILHOFER, P.; MOURA, R.M. Hydrological changes in the northern Pantanal caused by the Manso dam: Impact analysis and suggestions for mitigation. Ecological Engineering, 35, p. 105-117. 2009.

ZEILHOFER, P.; FERNANDES, D.C.; OLIVEIRA, M.D.; DORES, E.F.G.C.; LIMA, G.A.R.; FANTIN-CRUZ, I. Temporal patterns of water quality in the Pantanal floodplain and its contributing Cerrado upland rivers: implications for the interpretation of freshwater integrity. Wetlands Ecology and Management, v. 24, n. 6, p. 697-716. 2016.

WETZEL, R.G.; LIKENS, G.E. Limnological Analyses. Springer-Verlag, New York, 342 pp. 1991.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 1978. 58 p. (USDA. Agriculture Handbook, 537).

EQUIPE

Marcia Divina de Oliveira –Embrapa Pantanal

Ibraim Fantin Cruz –UFMT

Rafael Mingoti – Embrapa Territorial

Peter Zeilhofer –UFMT

Wilkinson L. Lopes - UNEMAT

Stephen K Hamilton- MSU, USA

Marcelo Luiz de Souza - ANA

Daniela Maimoni Figueiredo -UFMT

Debora F. Calheiros – UFMT/Embrapa

Eliana Dores –UFMT
Rubia Fantin Cruz –Aquanálise/UFMT
Cristóvão Fernandes Scapulatempo, UFPR

Colaboradores, bolsistas

Marcel Medinas de Campos - doutorando, UFMT
Isabelle Caroline Ribeiro Sais – bolsista Unicamp e Embrapa Territorial
Jacqueline Kayser- doutoranda UFMT
Patricia D'Angol - mestrandra UFSC
Rachel Nishimoto - Engenheira Ambiental
Wener Moreno – bolsista Embrapa Pantanal
Lucas Olegário Bueno - bolsista UFMT

Apoio logístico

Nilmara Reis Sales de Oliveira- UFMT
Josias Oliveira – Embrapa Pantanal
Valdomiro Lima e Silva – Embrapa Pantanal/IMASUL
Antonio A. Sobrinho – Embrapa Pantanal
Hernandes Monteiro - Embrapa Pantanal
Maria Davina Santos – Embrapa Pantanal
Egidia do Amaral – Embrapa Pantanal
Valdeci Antônio Antônio de Oliveira - Mega Consultoria e Hidrologia
Fundação Eliseu Alves