

Em relação às cargas de nitrogênio total transportadas no leito, o rio Taquari se destaca com 7,47kg/dia, seguido pelos rios Vermelho/Jauru-MT, Formoso, Itiquira, São Lourenço e os afluentes do rio Taquari e o rio Sepotuba, em menor proporção (Figura). É importante mencionar a importância do rio Formoso no transporte de leito de COP, PT e NT para o rio Sepotuba e também a importância do próprio rio Taquari na bacia do rio Taquari. Não há dados disponíveis do NT no leito para o rio Cuiabá.

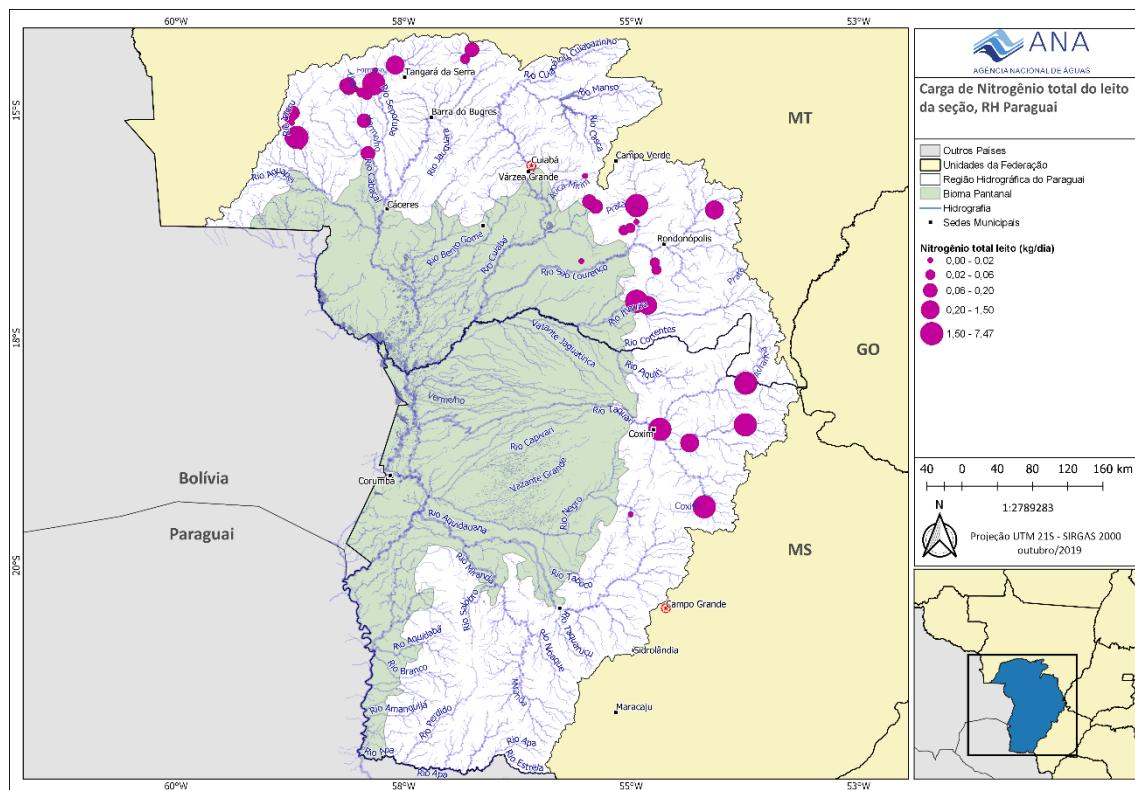
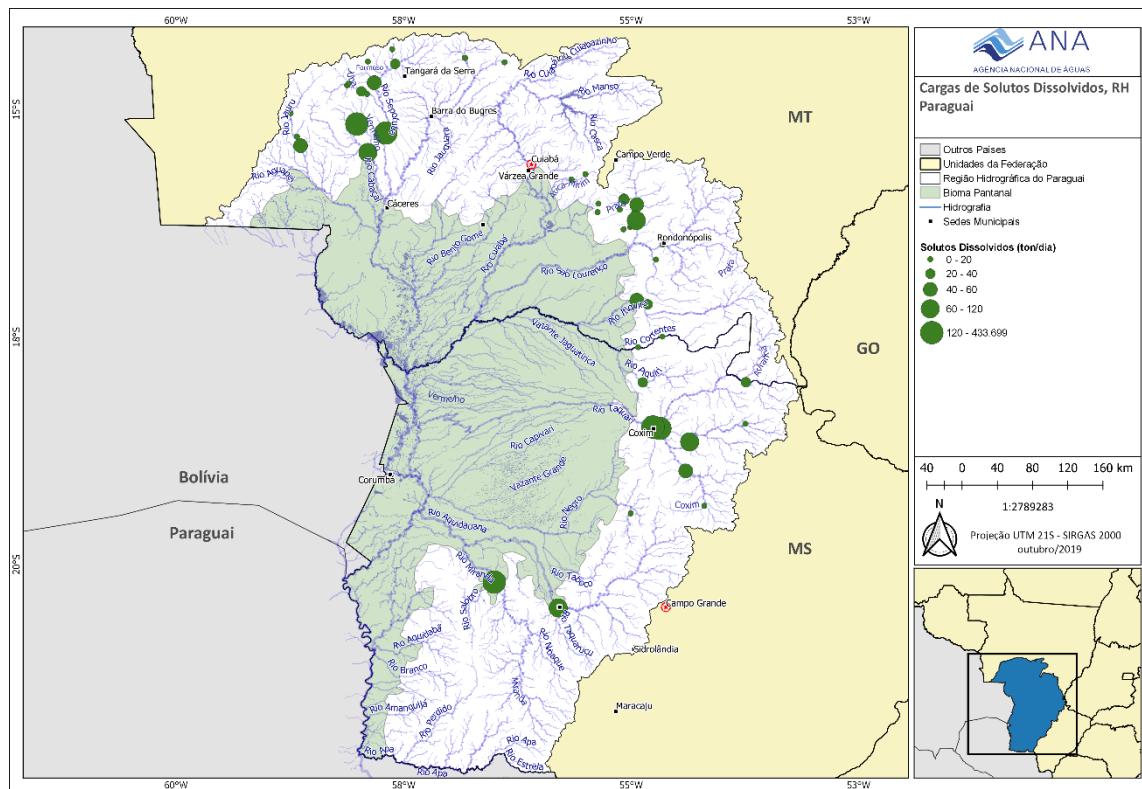


Figura 33. Mediana da carga de nitrogênio total (kg/dia) transportado no leito dos rios com empreendimentos hidrelétricos em operação ou previstos na RHP.

Solutos dissolvidos

O transporte de solutos dissolvidos (Na, K, Ca, Mg e Cl) foi maior nos rios Taquari e Miranda. Para o rio Cuiabá não há dados de solutos dissolvidos disponíveis. Ressalta-se que os rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru, na porção baixa, representam fontes importantes de solutos dissolvidos no norte da bacia, onde os rios, em geral, têm águas mais pobres em nutrientes e íons. A menor contribuição entre os principais formadores da RHP foi do rio Correntes (Figura 34).



5.2. Impactos dos barramentos no transporte de materiais nos rios da RHP

Taxas de variação

Sedimentos em suspensão e do leito

De acordo com as comparações entre estimativas de cargas a jusante e montante dos barramentos, os resultados indicaram tendência de retenção de sedimentos em suspensão nos nos EHs em operação na RHP, como mostra a Figura 35.

Na cascata de barragens do rio Jauru, no reservatório mais a montante, da PCH Antônio Brennand, ficaram retidos 10,6%, que representa uma carga de 5,8 ton./dia de sedimentos. Imediatamente a jusante, na PCH; 36,6% (carga de 20,5 ton./dia) foram retidos no reservatório da UHE Jauru e 17,8% (carga de 13,2 ton./dia) na PCH Ombreiras. Na PCH Figueirópolis houve liberação de 18% da carga de sedimento transportada ou 20 ton./dia e na PCH Indiaí+Salto não houve variação entre montante e jusante. Apesar de haver tendência à retenção, ao final da cascata observou-se liberação de sedimento em suspensão de 26,7%, representando uma carga de 19 ton./dia.

No rio Juba as taxas de variação foram pequenas, menores do que 4%, exceto a jusante da PCH Pampeana, onde se observou retenção de 28,3% do SS em suspensão transportado, carga de 20 ton./dia. Sendo assim, na cascata do rio Juba houve retenção de 17% do sedimento transportado, correspondendo a 9,8 ton./dia.

Entre 10 e 30% do sedimento em suspensão fica retido nas PCHs Sete Quedas Altas (23,8%, 1,9 ton./dia), Rondonópolis (21,4%, 9,9 ton./dia), São Tadeu I (19,3%, 0,5 ton./dia) e Diamante+Santana (11,8%, 3,5 ton./dia). A liberação de sedimento a jusante foi observada na PCH Eng. José Gelázio (11,7%, 4,6 ton./dia) e, em menor proporção (<6%), a jusante de Água Prata, com menos de 1,0 ton./dia.

Os rios São Lourenço e Itiquira, na seção a montante dos reservatórios, tem vazões semelhantes (Figura 22) e são transportadas quantidades semelhantes de sedimento em suspensão e do leito (Figura 24 e Figura 25). Os dois reservatórios retêm sedimento em suspensão, sendo que na PCH São Lourenço há retenção de 62% ou 156,2 ton./dia e na UHE Itiquira a retenção é de 20% ou 31,8 ton./dia. Além disso, a PCH São Lourenço retém 7,4 ton./dia da carga do leito (99,9%), porém Itiquira libera 8,8 ton./dia da carga do sedimento do leito, correspondendo à 31% (Figura 35).

Quanto ao sedimento transportado no leito em outras PCHs, a taxa de retenção também foi alta (acima de 75%), porém a carga retida foi menor, a exemplo da retenção nos reservatórios das PCHs Água Prata (1,5 ton./dia), Ombreiras (1,1 ton./dia) e PCH Juba I (0,4 ton./dia) e liberação nas PCHs Indiavaí+Salto (95%), Pampeana (58%) e Antônio Brennand (35%), que liberam no máximo 0,3 ton./dia (Figura 36).

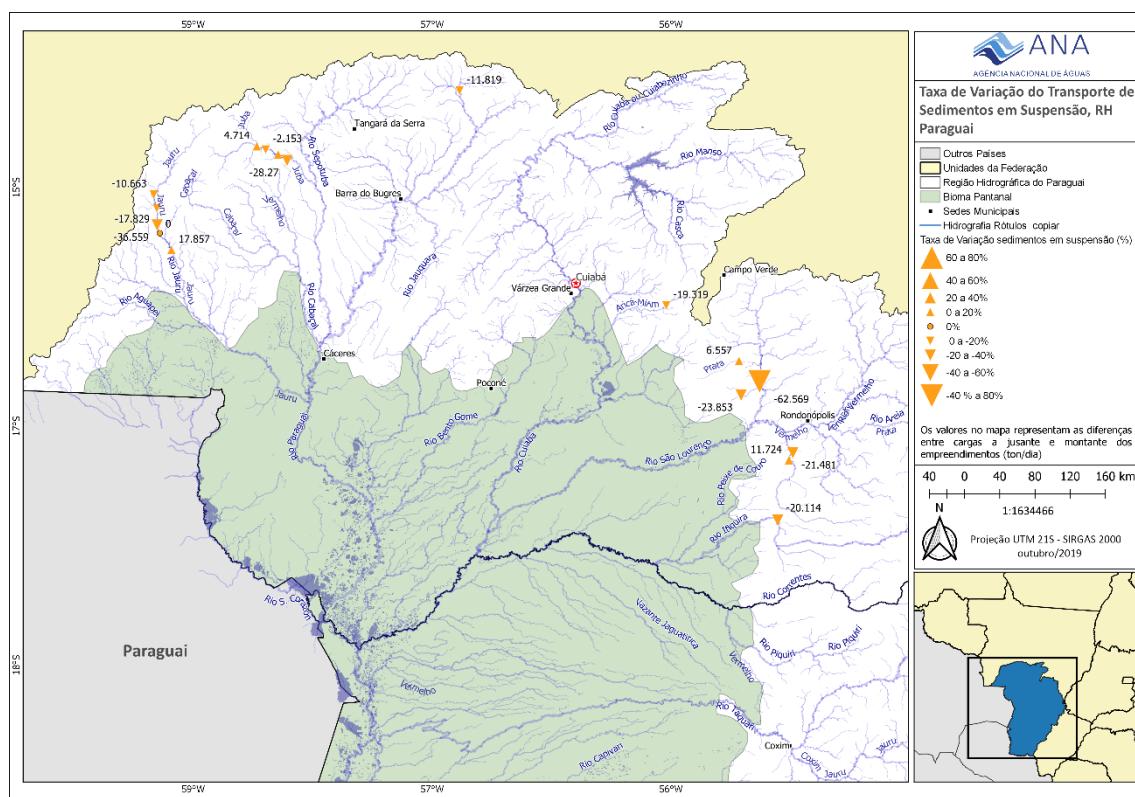


Figura 35. Taxa de variação no transporte de sedimentos em suspensão e carga (valores no mapa).

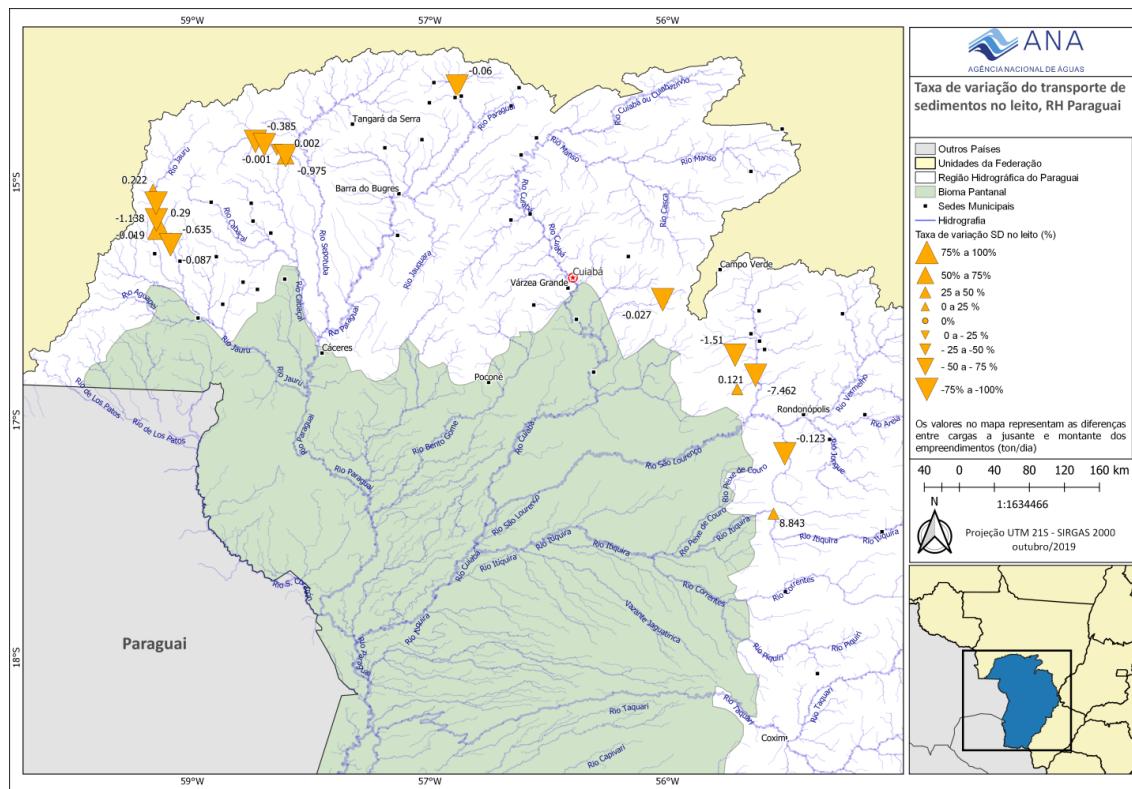


Figura 36. Taxa de variação no transporte de sedimentos do leito (%) e carga (valores no mapa).

Carbono orgânico particulado em suspensão e no leito

O transporte de carbono também mostrou tendência à retenção, sendo que somente em quatro reservatórios há liberação da carga em suspensão e em cinco da carga de leito (Figura 37). A maior carga de COP em suspensão retida foi observada no reservatório da PCH São Lourenço (1.461kg/dia, 12%).

No rio Jauru há redução de até 23% do COP transportado em suspensão em todos os reservatórios, exceto na PCH Ombreiras, onde se observou liberação de 7,8%. Sendo assim, 24 % do COP em suspensão transportado pelo rio Jauru, em torno 717,5 kg/dia, fica retido nos reservatórios. No rio Juba os dois primeiros reservatórios liberam COP e os dois últimos retêm, com taxas inferiores a 10%, sendo que no final a cascata libera 1,1% do COP em suspensão, equivalente a 30 kg/dia. Nos demais reservatórios da RHP há retenção de COP em suspensão em torno de 10%, exceto na UHE Itiquira, que libera 3,9% (carga de 256,9 kg/dia) da carga transportada em suspensão. Nos demais reservatórios a variação é menor do que 8%.

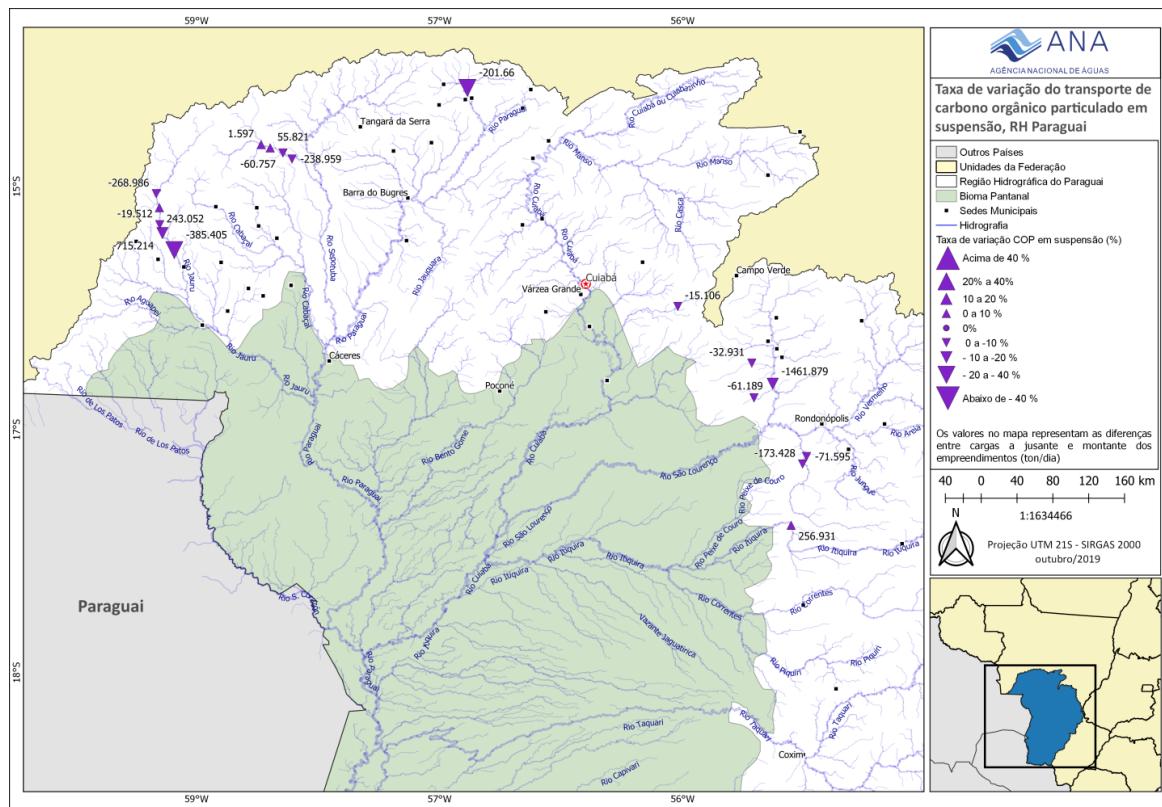
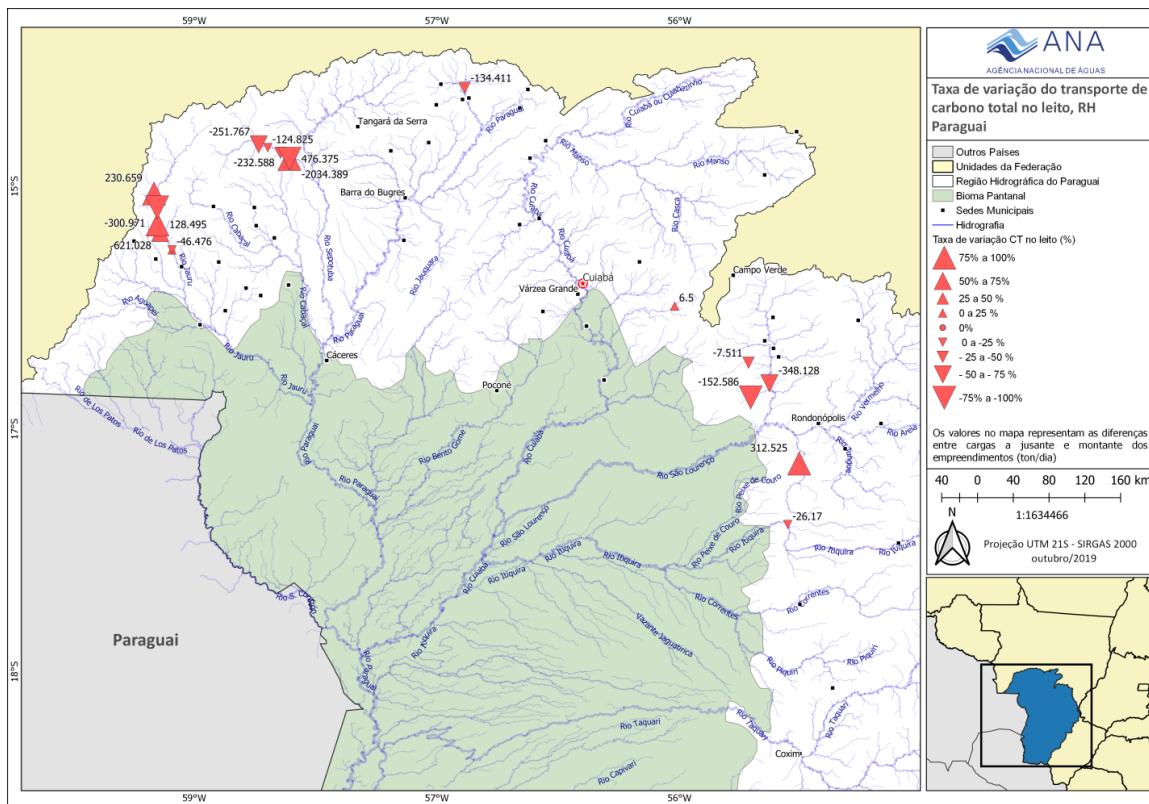


Figura 37. Taxa de variação no transporte de COP em suspensão (%) e carga (valores no mapa).

Quanto ao transporte do leito (Figura 38), foi observada retenção de carbono total (CT) na PCH São Lourenço (62,2%), com carga retida de 348 kg/dia, seguido pela PCHs Sete Quedas Altas (80,3%) e Diamante+Santana (41,6%), cujas cargas são de 152,6 e 134,4 kg/dia. É importante ressaltar um aumento no transporte de CT do leito a jusante da PCH Eng. José Gelázio da Rocha (77%, carga de 312,5 kg/dia) e, em menor importância, na PCH São Tadeu I (12,2%, 6,5 kg/dia).

No rio Jauru a tendência é de liberação do CT do leito a jusante dos reservatórios, principalmente nos reservatórios das PCHs Antônio Brennand (80%, 230 kg/dia), Jauru (94,2%, 128,5 kg/dia) e Indiavaí+Salto (61,3%, 621 kg/dia). Porém, foi observada retenção nas PCHs Ombreiras (79%, carga de 300,9 kg/dia) e Figueirópolis (1,1%, carga de 46,5 kg/dia). No balanço da cascata estimou-se que ficam retidos apenas 4% do CT, em torno de 7 kg/dia.

Nos reservatórios do rio Juba são retidos CT nas PCHs Juba I (61,5%, 251,7 kg/dia), Juba II (13,0%, carga de 124,8 kg/dia) e Graça Brennand (35,7%, 232,5 kg/dia). Somente no reservatório da PCH Pampeana foi observada liberação (79%, carga 476,4 kg/dia). No balanço da cascata estimou-se que ficam retidos apenas 83% do CT, em torno de 2.034 kg/dia.



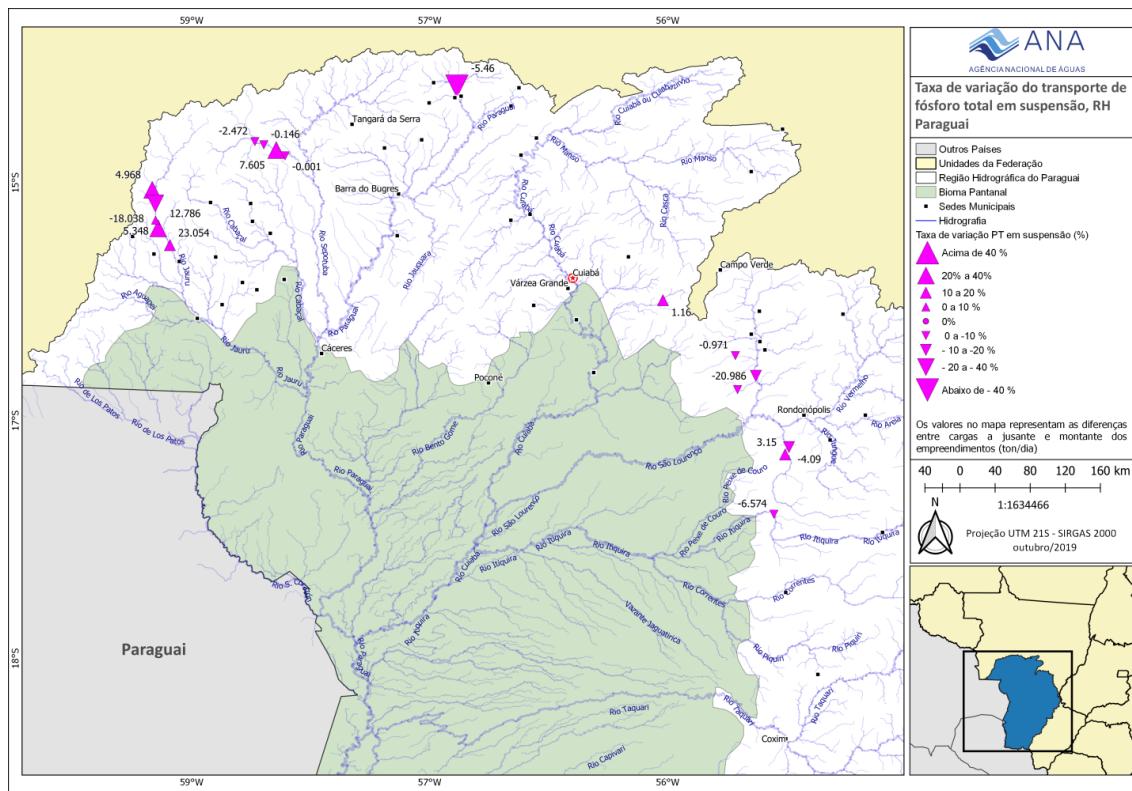


Figura 39. Taxa de variação no transporte fósforo total em suspensão (%) e carga (valores no mapa).

Quanto ao transporte de fósforo total no leito (Figura), observou-se retenção no reservatório da PCHs São Lourenço (98,4%, 0,25 kg/dia) e liberação no reservatório da UHE Itiquira (63,2%, 0,44 kg/dia). No rio Jauru há retenção na PCH Figueirópolis (99,6 %, 0,5 kg/dia) e liberação na PCH Indiavaí+Salto (99,5%, 0,3 kg/dia). No rio Juba, observou-se retenção em Juba II (97,0%, 0,1 kg/dia) e liberação nas PCHs Graça Brennand (93,2%, 0,2 kg/dia). Nos demais reservatórios, embora a taxa de variação seja alta, a quantidade retida ou liberada é inferior a 0,1 kg/dia.

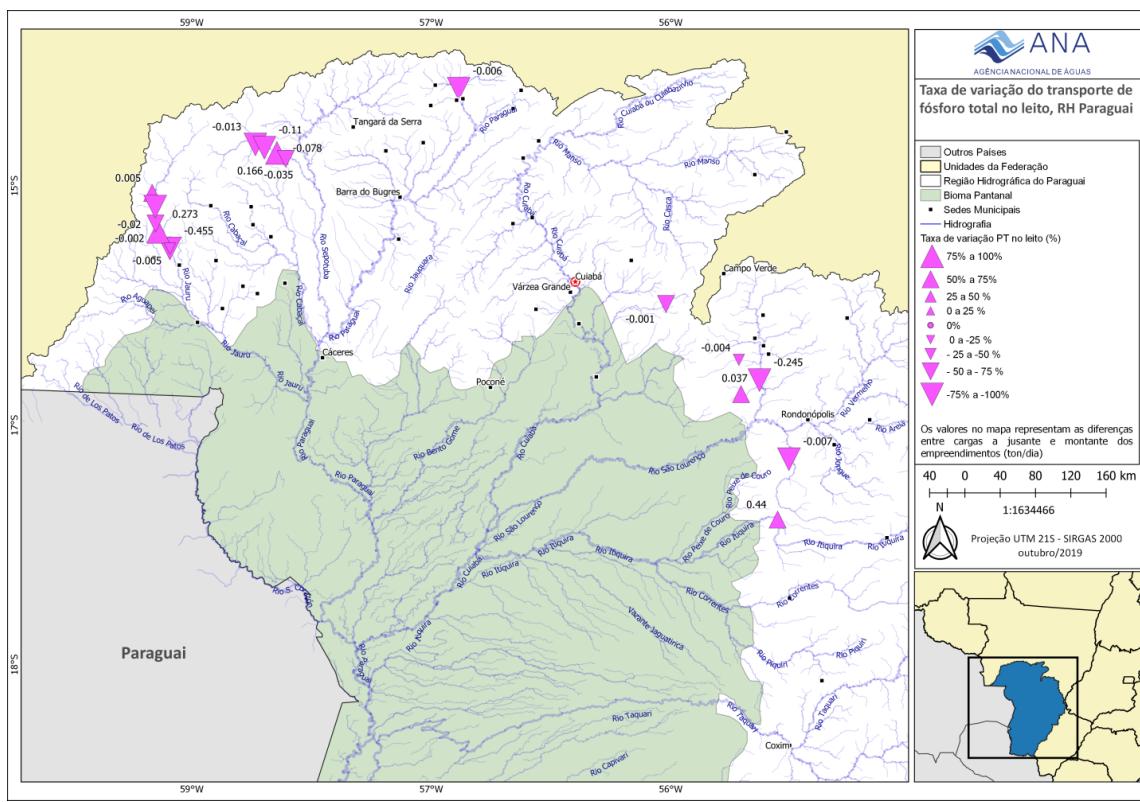


Figura 40. Taxa de variação no transporte fósforo total no leito (%) e carga (Taxa de variação no transporte fósforo total em suspensão (%)) e carga (valores no mapa).

Nitrogênio total em suspensão e no leito

As taxas de variação do nitrogênio total em geral foram baixas, apenas em 7 empreendimentos as taxas foram superiores a 10% (

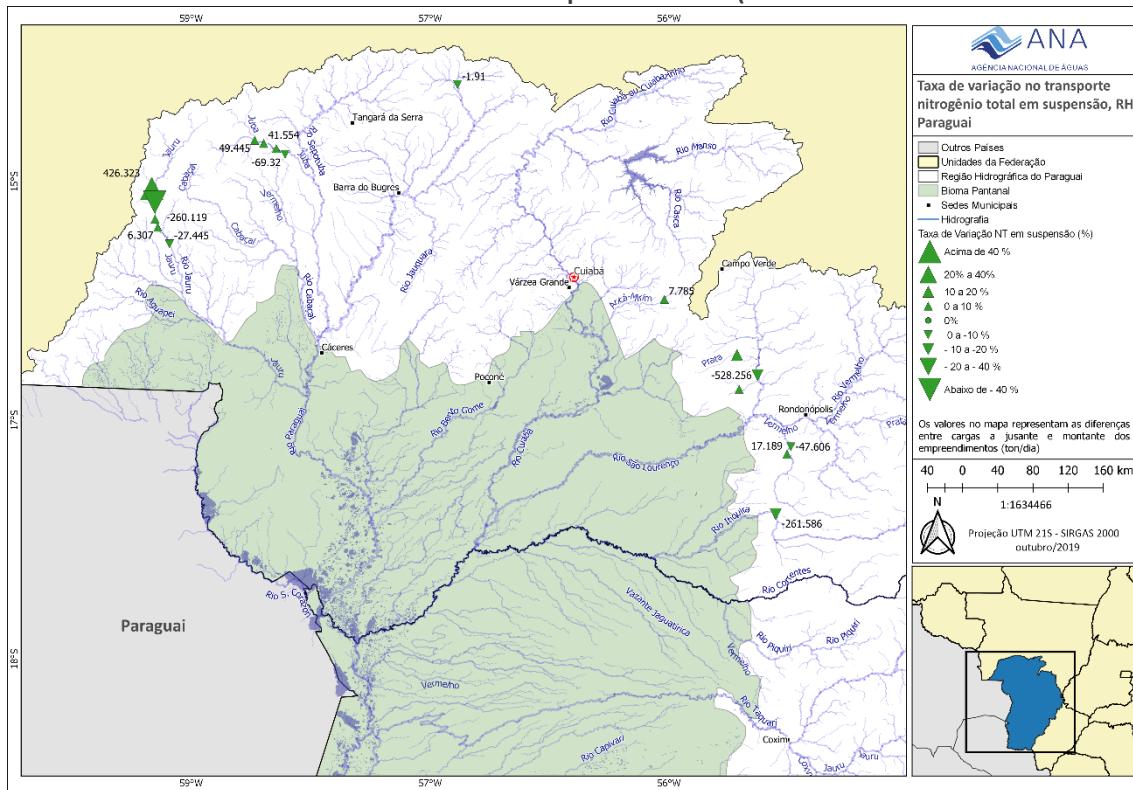


Figura). Retenções foram observadas nas PCHs São Lourenço (18%, 528 kg/dia), na UHE Itiquira (11%, ou 261 kg/dia) e Ombreiras (26% %, ou 260 kg/dia). E aumento de NT a jusante foram observados principalmente na PCH Água Prata (12%, ou 29 kg/dia) e Antonio Brennand (4,5%, ou 426,3 kg/dia).

No rio Jauru predomina a liberação de NT nas PCHs Antônio Brennand (44 %, 426 kg/dia), Jauru (6%, 83 kg/dia) e na PCH Indiavaí+Salto (0,8%, 6,3 kg/dia). Nas PCHs Ombreiras e Figueirópolis há retenção de 26% e 2%, cargas 260 kg/dia e 27 kg/dia, respectivamente. No balanço da cascata há liberação de 37% do NT, com carga liberada de 321 kg/dia.

No rio Juba há liberação nas PCHs Juba I (8,4%, 49 kg/dia), PCHs Juba II (6%, 41 kg/dia), Graça Brennand (2%, 14 kg/dia) e retenção somente em Pampeana (5%, 69 kg/dia). Na cascata do rio Juba se observou liberação de 12% ou 118 kg/dia.

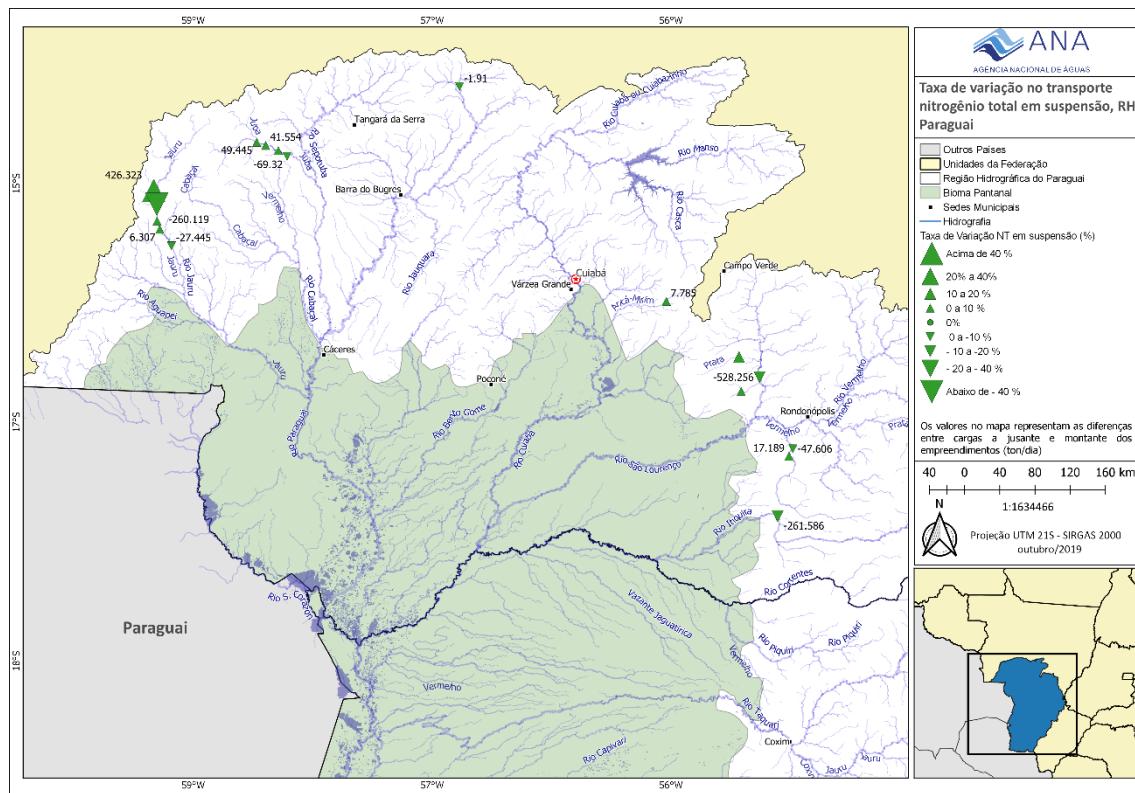


Figura 41. Taxa de variação no transporte nitrogênio total em suspensão (%), RH Paraguai.

As taxas de variação nas cargas de NT do leito são maiores que nas cargas em suspensão e com tendência a redução a jusante dos reservatórios dos EHs avaliados (Figura). Na PCH São Lourenço registrou-se a maior carga de NT do leito retida, de 1,4 kg/dia, com 99,6% do sedimento de leito sendo retido. Na PCH Itiquira ocorre o contrário, 56% do material transportado pelo leito é liberado a jusante, o que corresponde a 0,8 kg/dia de NT a jusante. Na PCH Água Prata e Diamante+Santana há retenção de 89% do material transportado, com carga de 0,3 e 0,1 kg/dia. Nas PCHs São Tadeu e Sete Quedas Altas as taxas de variação e a carga retida são muito pequenas.

Retenções também foram observadas nos quatro reservatórios do rio Juba, com 0,4, 0,02, 0,2 e 0,5 kg/dia, respectivamente de montante para jusante. Nos reservatórios do rio Jauru, registrou-se retenção em Ombreiras (94%, 0,3 kg/dia) e Figueirópolis (99,2%, 0,4 kg/dia) e liberação em Antônio Brennand (59,6%, 0,1 kg/dia) e Indiavaí+Salto (99,5%, 0,3 kg/dia). No reservatório da UHE Jauru, apesar da alta taxa de variação, praticamente não há alteração no transporte de leito.

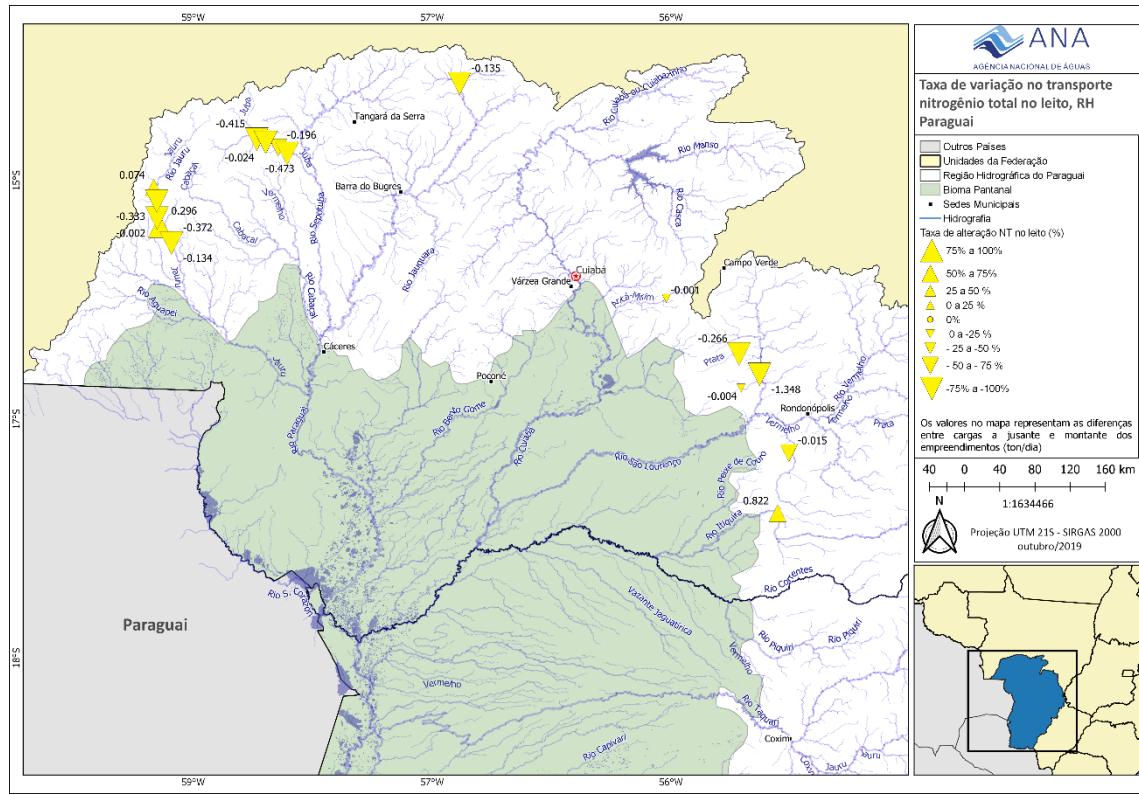


Figura 42. Taxa de variação no transporte nitrogênio total no leito (%) e carga (valores no mapa).

Nitrogênio dissolvido

As taxas de variação do nitrogênio dissolvido indicam tendência a aumentos a jusante (

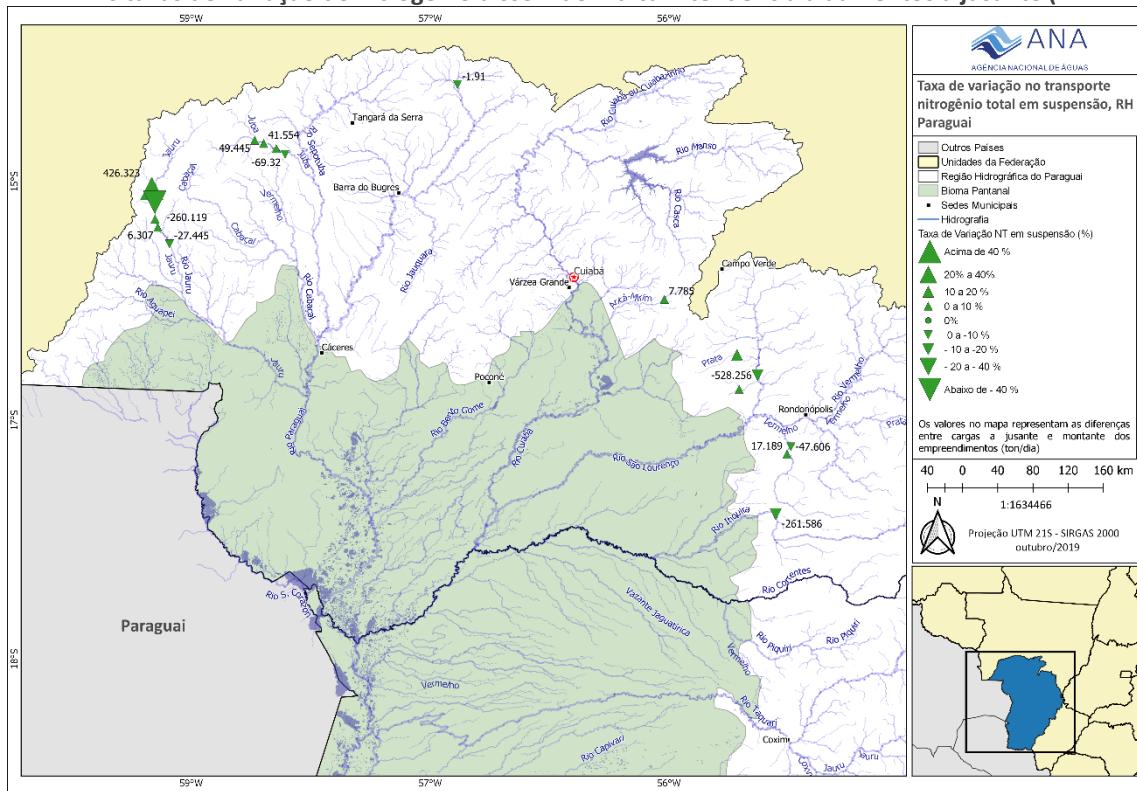


Figura). Aumento de ND em torno de 28% foram observados a jusante das PCH Água Prata e Juba II. E retenções foram observados principalmente nas PCHs São Lourenço (41%) e Figueirópolis (32%).

No rio Jauru predomina a liberação de ND nas PCHs Antônio Brennand, Ombreiras, Jauru e PCH Indiavaí+Salto, e somente na PCH Figueirópolis houve retenção de 32% de ND. No balanço da cascata houve liberação de 12,6% do ND. No rio Juba também houve aumento de ND com retenção somente em Pampeana em 15% das cargas de ND transportada. E na cascata do rio Juba se observou retenção de 20% do ND transportado.

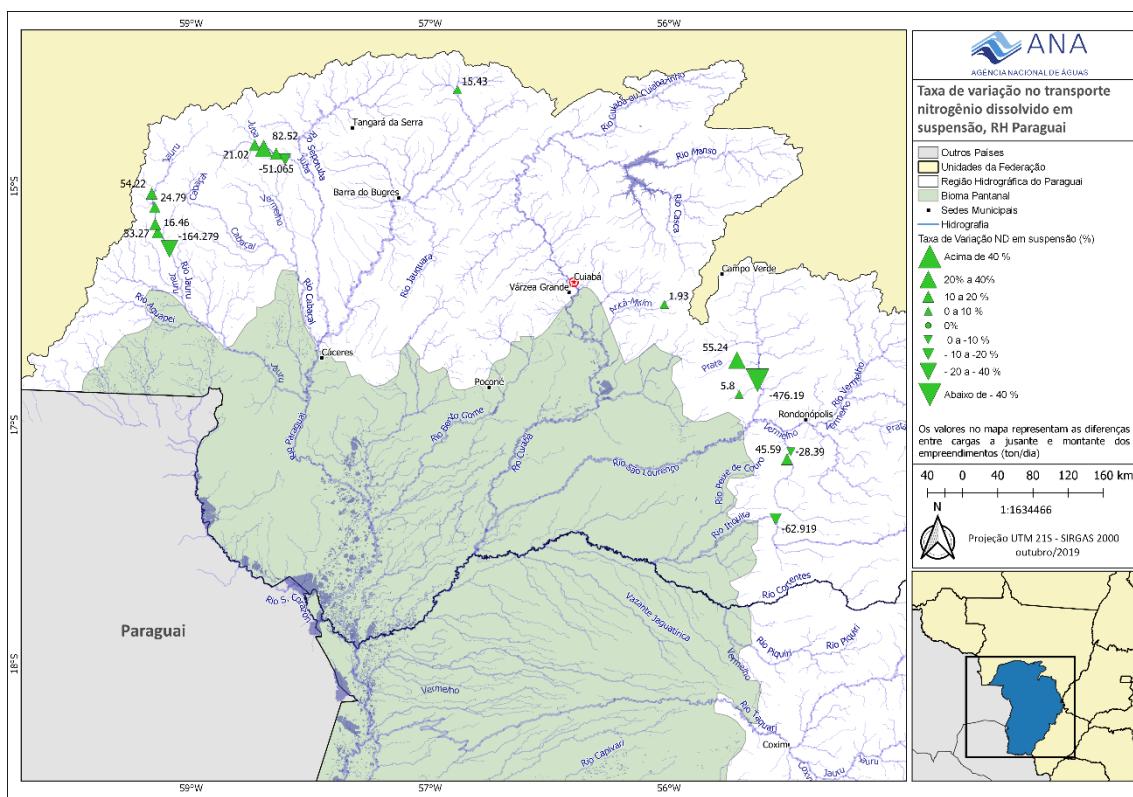


Figura 43. Taxa de variação do transporte de nitrogênio dissolvido, RH Paraguai.

Solutos dissolvidos

Para os solutos dissolvidos (SD), observou-se tendência de aumento à jusante, em apenas 7 reservatórios houve redução da carga a jusante (Figura 44), sendo que as taxas de retenção foram menores que 23%. Aumentos a jusante foram observados nas cascatas de cascatas de reservatórios dos rios Jauru (60%, 22,7 ton./dia) e Juba (39%, 5,9 ton./dia), o que seria esperado pois as substâncias dissolvidas não tendem a sedimentar com os sólidos em suspensão.

No rio Juba, a jusante da PCH Juba I, registrou-se um aumento de 32% no transporte de SD (carga liberada de 4,3 ton./dia) e a jusante de Juba II retenção de 5,7% do SD, sendo retidos 0,9 ton./dia. No reservatório da PCH Graça Brennand foram liberados 14% dos SD ou 2,4 ton./dia e na PCH Pampeana a carga praticamente não variou. No rio Jauru houve retenção de SD nos reservatórios da PCH Antônio Brennand (22,6%, 2,2 ton./dia) e da UHE Jauru (13% e 4,4 ton./dia) e aumento de SD a jusante das PCHs Ombreiras (29%, 6,0 ton./dia), Indiavaí+Salto (19%, 8,8 ton./dia) e, principalmente, na PCH Figueirópolis (29%, 16,3 ton./dia). Na estimativa da cascata do Juba, estima-se que são liberados 38,7% dos SD, o que equivale a 5,9 ton./dia, e na cascata do Jauru são liberados 60,2% dos SD, o que equivale a 22,7 ton./dia.

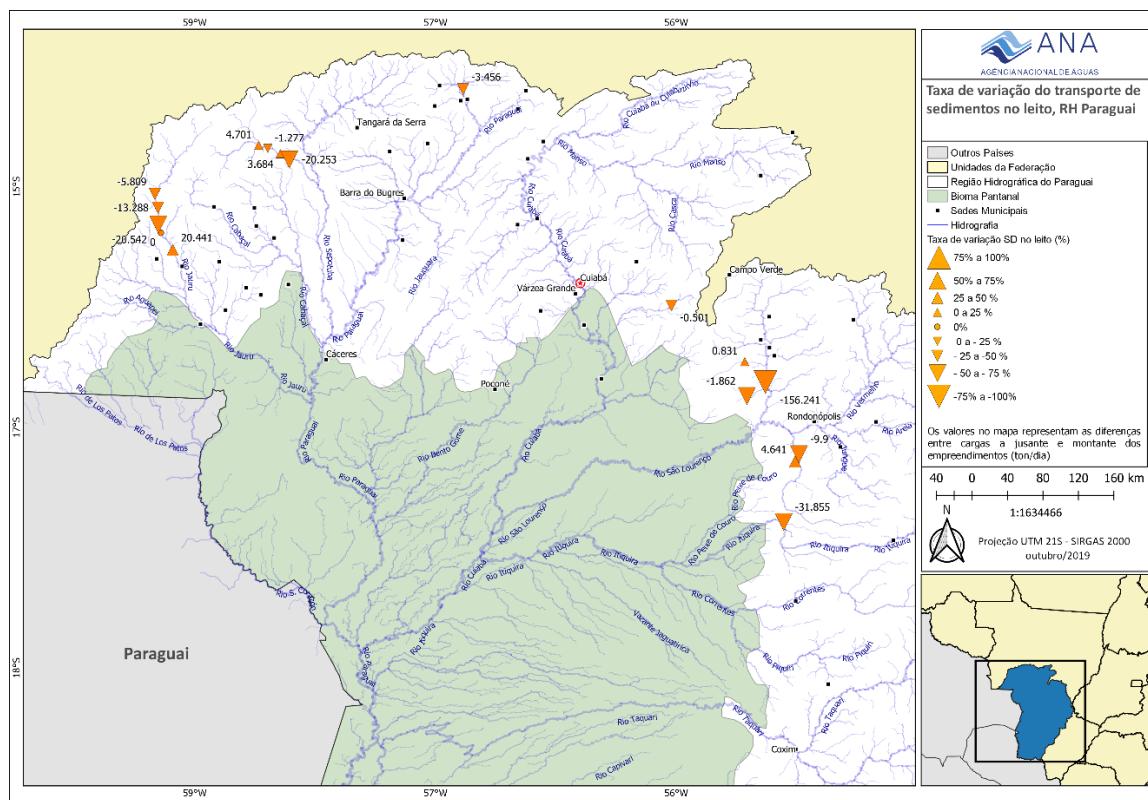


Figura 44. Taxa de variação no transporte de solutos dissolvidos (%) e carga (valores no mapa).

Classificação das alterações

Para a quantificação das taxas de alteração no cenário atual com EHs foram utilizadas as faixas percentuais descritas na Tabela 12, independentemente de ser retenção ou liberação, quantificando a alteração nos parâmetros sedimento, fósforo, carbono, condutividade elétrica, para os compartimentos de suspensão e leito. O nitrogênio apresentou uma faixa diferenciada, um pouco mais ampla, devido à sua maior variação no ambiente. No relatório do produto 2 do projeto ANA/FEA foram descritos os níveis de impacto adotado para cada indicador.

Foi utilizado o símbolo “seta” para representar as taxas de alteração, sentido para cima indica liberação (\uparrow) e sentido para baixo indica retenção (\downarrow). A cor verde indica *baixa* taxa de alteração, amarelo *média* e vermelho *alta*.

Tabela 11. Critérios para quantificação das taxas de alteração por parâmetro, em porcentagem.

Critério	Sedimentos, solutos dissolvidos, fósforo, carbono	Nitrogênio
Baixo	0 - 10	0 - 15
Médio	10 - 20	15 - 25
Alto	> 20	> 25

No transporte de leito a alteração foi alta (taxa de variação > 20%) para todos os parâmetros analisados, em cada PCH pelo menos 2 parâmetros de leito tiveram alteração alta, e predomina a retenção. Aumento no transporte de leito a jusante foi observada nas PCHs Antônio Brennand, Indiavaí+Salto e Itiquira. Em quase todas as PCHs, o PT mostrou relação direta com o sedimento, sendo retido ou liberado com o sedimento (Tabela).

No transporte em suspensão, de maneira geral, predomina alteração pequena a média (taxa de variação < 20%), sem padrão dominante entre retenção e liberação (Tabela e Tabela). Para o fósforo total em suspensão a alteração foi de baixa a alta, sem padrão dominante entre retenção e liberação. Já no transporte de carbono predomina a retenção, mas com alteração pequena. A alteração no transporte nitrogênio, NT e ND, também foi de pequena a média, com liberação de nitrogênio na maioria dos reservatórios. O transporte de solutos dissolvidos também foi pouco alterado, ocorrendo liberação na maioria dos reservatórios.

A manutenção da mesma carga de solutos dissolvidos, e incrementos eram esperados, sendo as variações dentro do observado. Para o nitrogênio, os aumentos do NT superiores a 20% podem ter origem na entrada de pequenos tributários, água subterrânea e também da decomposição do material orgânico acumulado. E pode ser resultante também do manejo dos reservatórios pela usina geradora, como no estudo de caso do Ribeirão Ponte de Pedra, cuja lavagem do canal de derivação culminou com o aumento de nitrato a jusante (Figura 65). Aumentos de nitrogênio na maioria das vezes são acompanhados de aumentos em sedimentos (Tabela 12), o que sugere influência da operação da usina.

Para melhor visualização das variações mais importantes, na Tabela 9 estão mostradas apenas PCHs com ocorrência de alteração alta, > 20%. As alterações altas foram observadas principalmente na retenção. As PCHs com mais alterações altas foram Água Prata, São Lourenço, Diamante+Santana, Juba I e Juba II, Antônio Brennand, Ombreiras e Figueirópolis. Nas cascatas do Juba e do Jauru as alterações também foram altas para quase todos os parâmetros analisados.

Tabela 12. Quantificação das taxas de variação (TX em %) das cargas em suspensão (SS, NT, ND, PT e SD) e do leito (SS, NT, PT e CT), por parâmetro, nos empreendimentos hidrelétricos (EH) em operação na RHP. Sedimento em suspensão= SS, nitrogênio total= NT, fósforo total= PT, carbono orgânico particulado= COP, carbono total= CT e solutos dissolvidos= SD. O símbolo “seta” indica a direção da taxa de variação, para cima indica liberação (\uparrow) e para baixo indica retenção (\downarrow). A cor verde indica Baixa alteração, amarelo Média e vermelho Alta alteração.

EH	Matriz	TX SS (%)	TX NT (%)	TX ND (%)	TX PT (%)	TX COP (%)	TX CT (%)	TX SD (%)
Água Prata	Suspensão	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow		\downarrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	
Sete Quedas Alta	Suspensão	\downarrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow		\downarrow
	Leito	\uparrow	\downarrow		\uparrow		\downarrow	
São Lourenço	Suspensão	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow		\uparrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	
Eng. José Gelázio	Suspensão	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow		\downarrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\uparrow	
Rondonópolis	Suspensão	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow		\uparrow
Itiquira (I e III)	Suspensão	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow	\uparrow		\uparrow
	Leito	\uparrow	\uparrow		\uparrow		\downarrow	
Diamante+Santana	Suspensão	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow		\uparrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	
Juba I	Suspensão	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow		\uparrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	
Juba II	Suspensão	0	\uparrow	\uparrow	0	\uparrow		\downarrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	
Graça Brennand	Suspensão	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow		\uparrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	
Pampeana	Suspensão	\downarrow	\downarrow	\downarrow	0	\downarrow		\downarrow
	Leito	\uparrow	\downarrow		\downarrow		\uparrow	
Cascata Juba	Suspensão	\downarrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow		\uparrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	
Antônio Brennand	Suspensão	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow		\downarrow
	Leito	\uparrow	\uparrow		\uparrow		\uparrow	
Ombreiras	Suspensão	\downarrow	\downarrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow		\uparrow
	Leito	\downarrow	\downarrow		\downarrow		\downarrow	

Jauru	Suspensão	↓	↑	↑	↑	↓		↓
	Leito	↓	↓		↓		↑	
Indiavaí+Salto	Suspensão	0	↑	↑	↑	↓		↑
	Leito	↑	↑		↑		↑	
Figueirópolis	Suspensão	↑	↓	↓	↑	↓		↑
	Leito	↓	↓		↓		↑	
Cascata Jauru	Suspensão	↑	↑	↓	↑	↓		↑
	Leito	↓	↓		↓		↓	

Tabela 13. Empreendimentos com altas taxas de variação nas cargas de sedimento (SS), nitrogênio total (NT), fósforo total (PT) e carbono orgânico particulado em suspensão (COP) e carbono total do leito (COP e CT)

EH	Matriz	SS	NT	PT	COP e CT
Água Prata	Suspensão	↓	↓		
	Leito	↓	↓	↓	↓
Sete Quedas Alta	Suspensão	↓			
	Leito	↑	↑	↓	
São Lourenço	Suspensão	↓			↓
	Leito	↓	↓	↓	↓
Eng. José Gelázio da Rocha	Suspensão		↑		
	Leito	↓	↓	↓	↑
Rondonópolis	Suspensão	↓		↓	
Itiquira (Casas de Forças I e II)	Suspensão	↓			
	Leito	↑	↑	↑	
Diamante + Santana I	Suspensão	↓		↓	↓
	Leito	↓	↓	↓	↓
Juba I	Suspensão	↑	↓		
	Leito	↓	↓	↓	↓
Juba II	Suspensão	↑	↑		↓
	Leito	↓	↓	↓	
Graça Brennand	Suspensão		↑		
	Leito	↓	↓	↓	↓
Pampeana	Suspensão	↓			↑
	Leito	↑	↓		↑
Cascata Juba	Suspensão	↑	↓		
	Leito	↓	↓	↓	↓
Antônio Brennand	Suspensão	↓	↑	↑	
	Leito	↑	↑	↑	↑
Ombreiras	Suspensão	↑	↓	↓	
	Leito	↓	↓	↓	↓
Jauru	Suspensão	↓			
	Leito	↓	↓	↓	↑
Indiavaí+Salto	Suspensão		↑		
	Leito	↑	↑	↑	↑
Figueirópolis	Suspensão	↑	↓		↓
	Leito	↓	↓	↓	
Cascata Jauru	Suspensão	↑	↑	↑	↓
	Leito	↓	↓	↓	

5.3. Evolução do assoreamento em reservatórios hidrelétricos em operação na RHP

A construção de barragens em sistemas fluviais tende a aumentar a seção transversal do rio e reduzir a velocidade de escoamento da água que adentra ao reservatório, o que provoca a sedimentação da carga em suspensão e a interrupção do transporte de leito por arrasto, de forma a reduzir a capacidade de transporte de sedimentos pelo rio, causando assim o assoreamento do reservatório, e potencialmente, uma perturbação no equilíbrio geomorfológico do canal a jusante.

Como observado no item anterior (Tabela 12 e Tabela 13), a maioria dos reservatórios analisados retém mais que 20% do sedimento de fundo transportado pelos rios. Entre os EHs analisados na RHP, oito apresentam visível processo de assoreamento que pode ser observado em imagens de satélite ao longo do tempo (discutido abaixo), com a formação de depósitos de sedimentos em forma de deltas arenosos no início da área de remanso do reservatório do rio principal ou em afluentes, quais sejam: São Lourenço, Itiquira, Cambará, Casca II, Pequi, Sete Quedas Altas, Jauru, Juba II e Ponte de Pedra. Destes, Cambará, Jauru, Juba II, Pequi e Ponte de Pedra não possuem estruturas hidráulicas para a passagem de sedimentos (descarregadores de fundo) o que acelera o processo de retenção de sedimento.

Os rios São Lourenço e Itiquira, na seção a montante dos reservatórios, transportam quantidades semelhantes de sedimento em suspensão, sendo que São Lourenço transporta quase o dobro do sedimento de leito comparado ao rio Itiquira (Figura 24). Os dois reservatórios retêm sedimento em suspensão, a PCH São Lourenço retém 62%, ou 156 ton./dia, e a UHE Itiquira retém 20%, ou 32 ton./dia. São Lourenço ainda retém 7,5 ton./dia da carga do leito, porém Itiquira libera 8,8 ton./dia da carga do sedimento (Figura 25).

O reservatório da UHE Itiquira retém menos sedimento em suspensão que os reservatórios da PCH São Lourenço e libera em torno de 95% da carga de leito. Essa liberação de sedimento pode estar relacionada ao fato de que ao longo dos 17 anos de existência do reservatório o sedimento foi sendo depositado e ocupou todo o volume útil do reservatório, que passou a mobilizar o sedimento acumulado para jusante pela passagem pela barragem e pelo acionamento do descarregador de fundo. O reservatório da PCH São Lourenço, apesar de apresentar acelerado assoreamento, atua de forma eficiente na retenção de sedimentos e nutrientes devido seu porte, sendo 21 vezes maior que o Itiquira, e sete anos mais novo que o reservatório da UHE Itiquira.

No rio São Lourenço, essa associação entre alto transporte de sedimento e alta taxa de retenção de sedimento em suspensão e leito (156,2 mais 7,46 ton./dia) resulta no assoreamento que já pode ser observado nas imagens de satélite na PCH São Lourenço, com formação de depósitos de sedimentos em delta no início do reservatório (Figura 45).

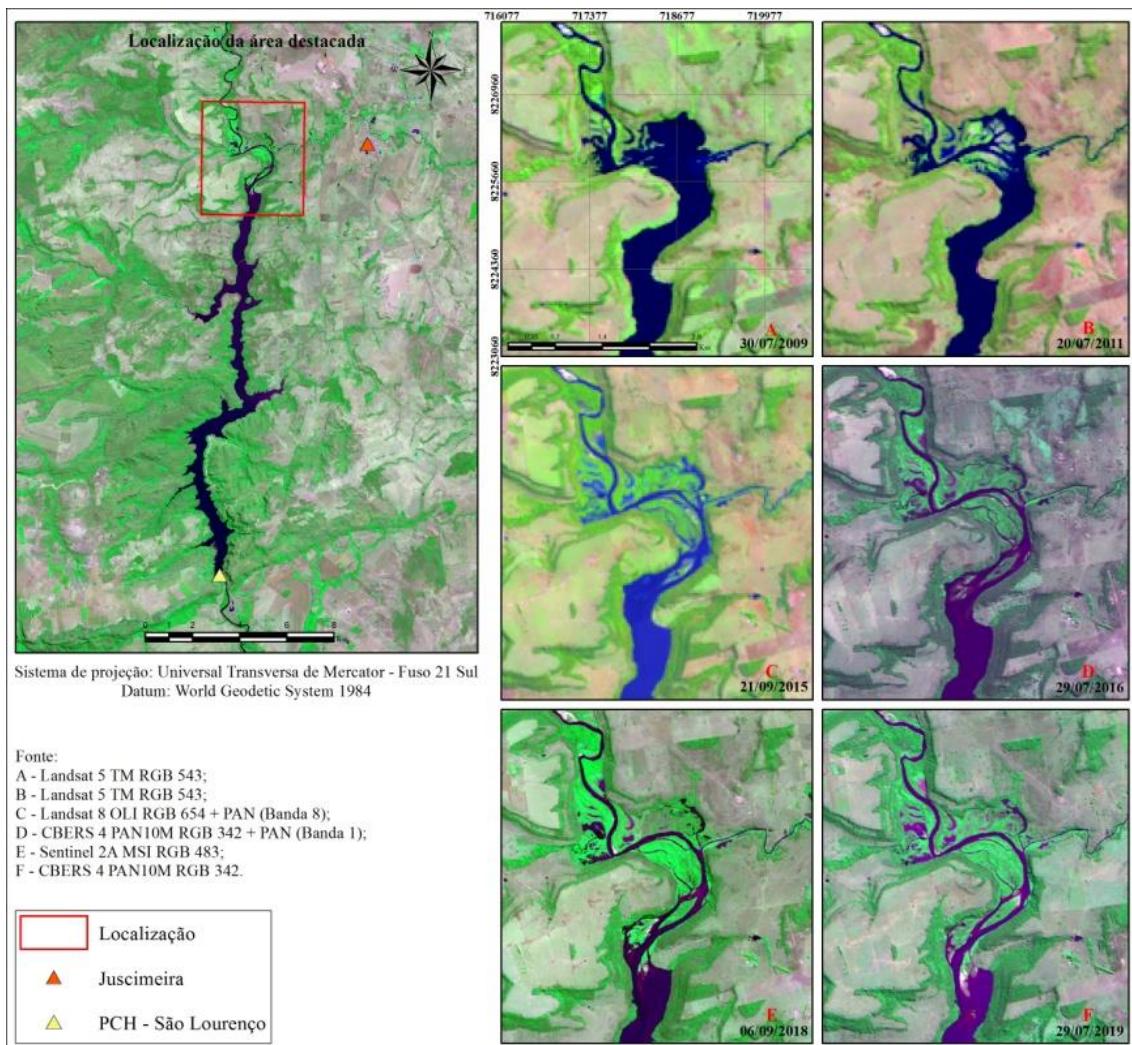


Figura 45. Imagens de satélite multitemporais da PCH São Lourenço mostrando a evolução do processo de assoreamento.

A UHE Itiquira retém menos sedimento em suspensão do que a PCH São Lourenço e libera em torno de 95% da carga de leito, ou 8,84 ton./dia a jusante (Figura 46). Esta liberação de sedimento pode estar relacionada ao fato de que, ao longo dos 17 anos de existência do reservatório, o sedimento foi sendo depositado e ocupou todo o volume útil do reservatório, que passou a mobilizar o sedimento acumulado para jusante pela passagem pela barragem e pelo acionamento do descarregador de fundo. A PCH São Lourenço, apesar de apresentar acelerado assoreamento, atua de forma eficiente da retenção de sedimentos e nutrientes devido ao seu porte, 21 vezes maior do que o reservatório da UHE Itiquira.

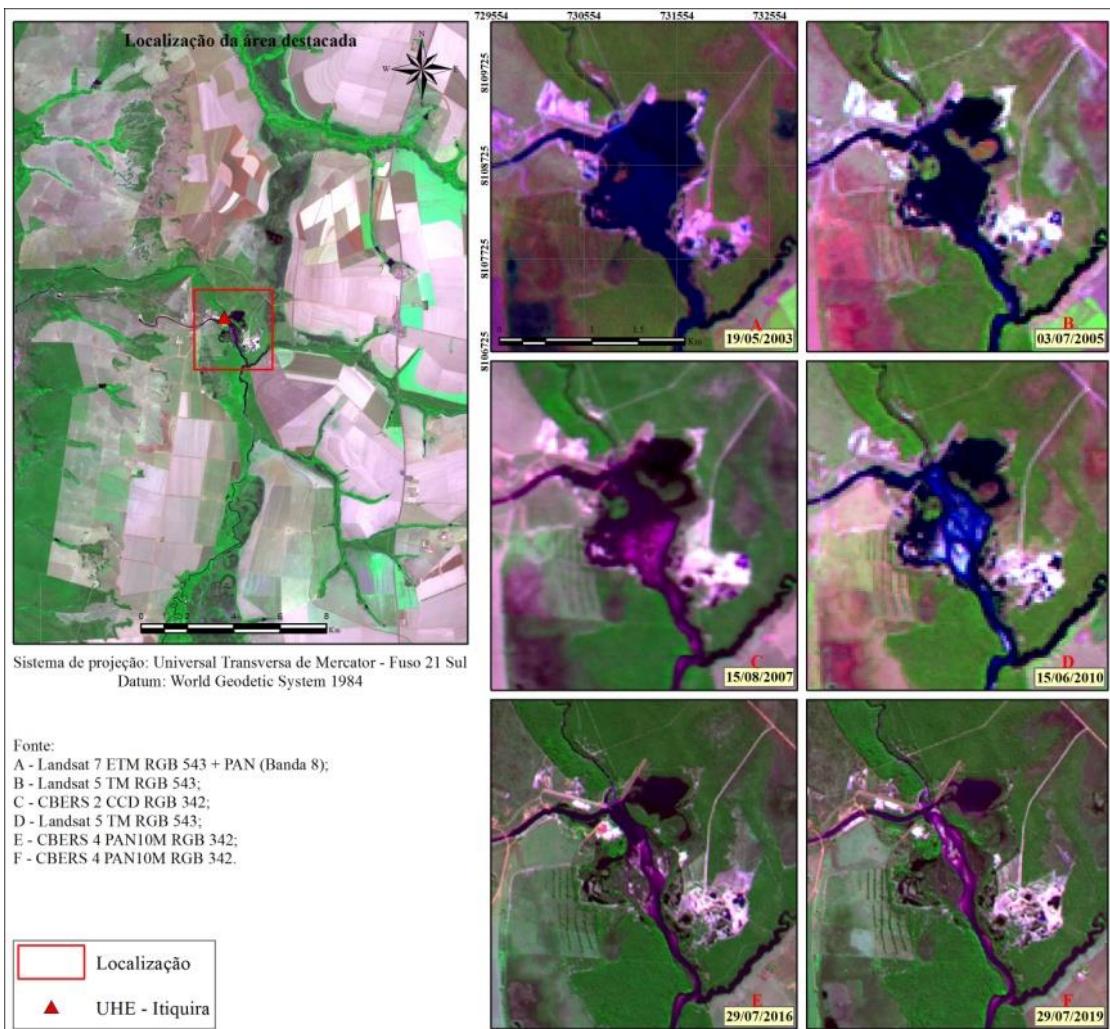


Figura 46. Imagens de satélite multitemporais da UHE Itiquira mostrando a evolução do processo de assoreamento.

Sobre a UHE Jauru, em operação desde 2002, 36,6% da carga mediana transportada fica retida no reservatório, com carga de 20,5 ton./dia retidas (Figura 47). A área com assoreamento evidente ocorre no Córrego Pé de Serra, afluente da margem esquerda do reservatório, não havendo deposições evidentes no curso principal do rio Jauru.

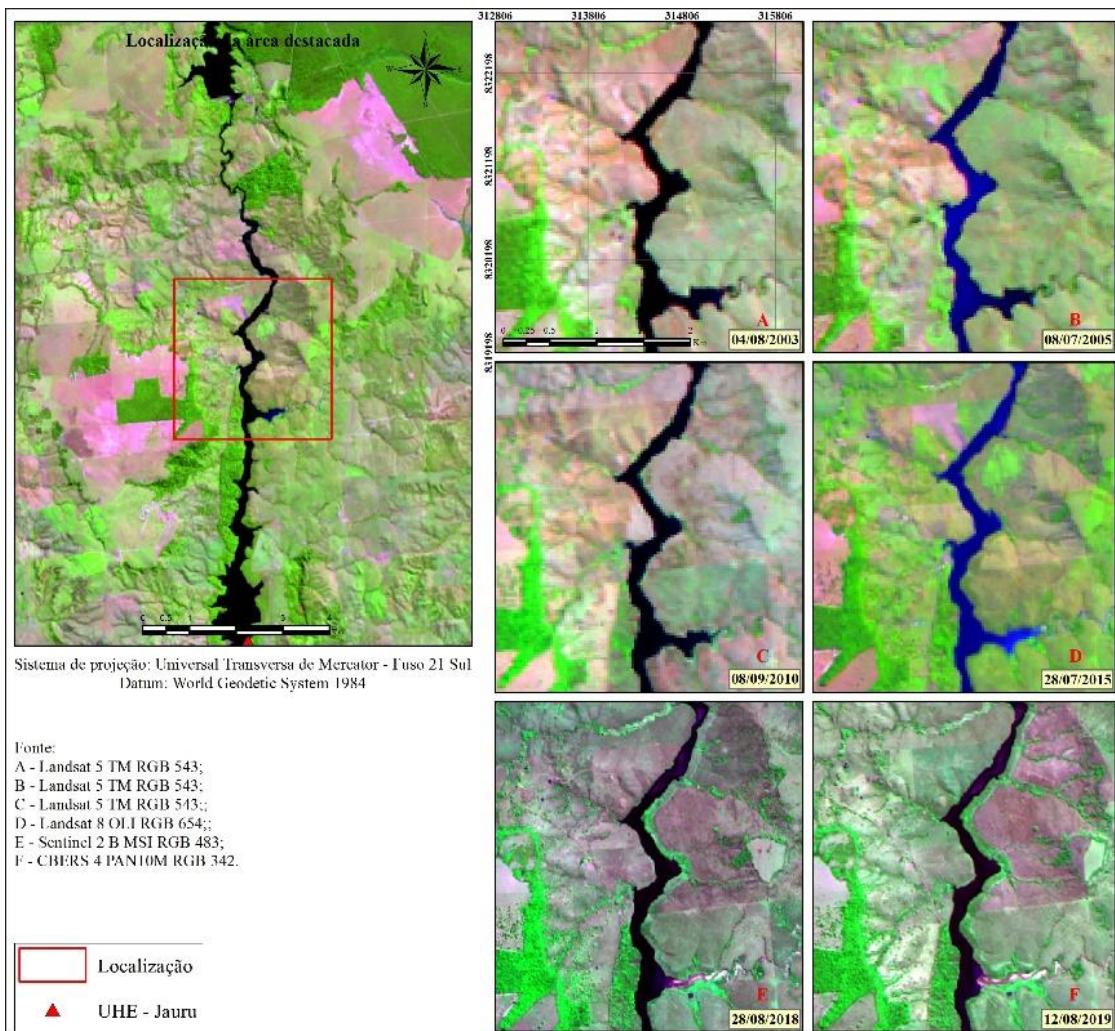


Figura 47. Imagens de satélite multitemporais da UHE Jauru mostrando a evolução do processo de assoreamento.

No rio Juba, o assoreamento é causado pela afluência do Córrego Toco no reservatório da UHE Juba II (Figura 48). As pequenas cargas de sedimentos em suspensão e do leito, transportadas pelos rios Jubinha e Juba a montante da UHE Juba I, tem baixo potencial de causar assoreamento em curto prazo.

Os rios Ibó e Dois Córregos, que formam o reservatório da PCH Sete Quedas Altas, apresentam deposições evidentes com avanço acelerado em curto espaço de tempo (Figura 49).

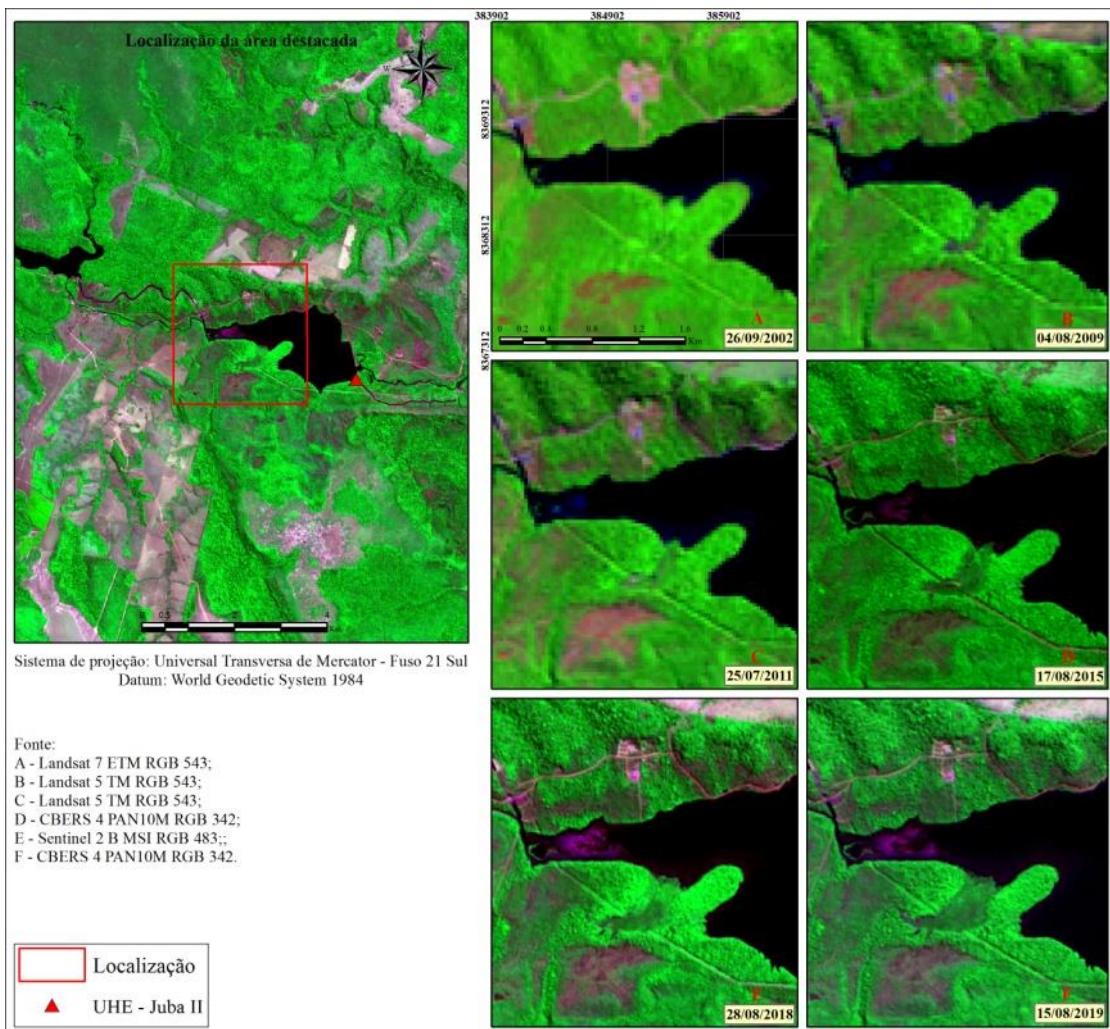


Figura 48. Imagens de satélite multitemporais da UHE Juba II mostrando a evolução do processo de assoreamento.

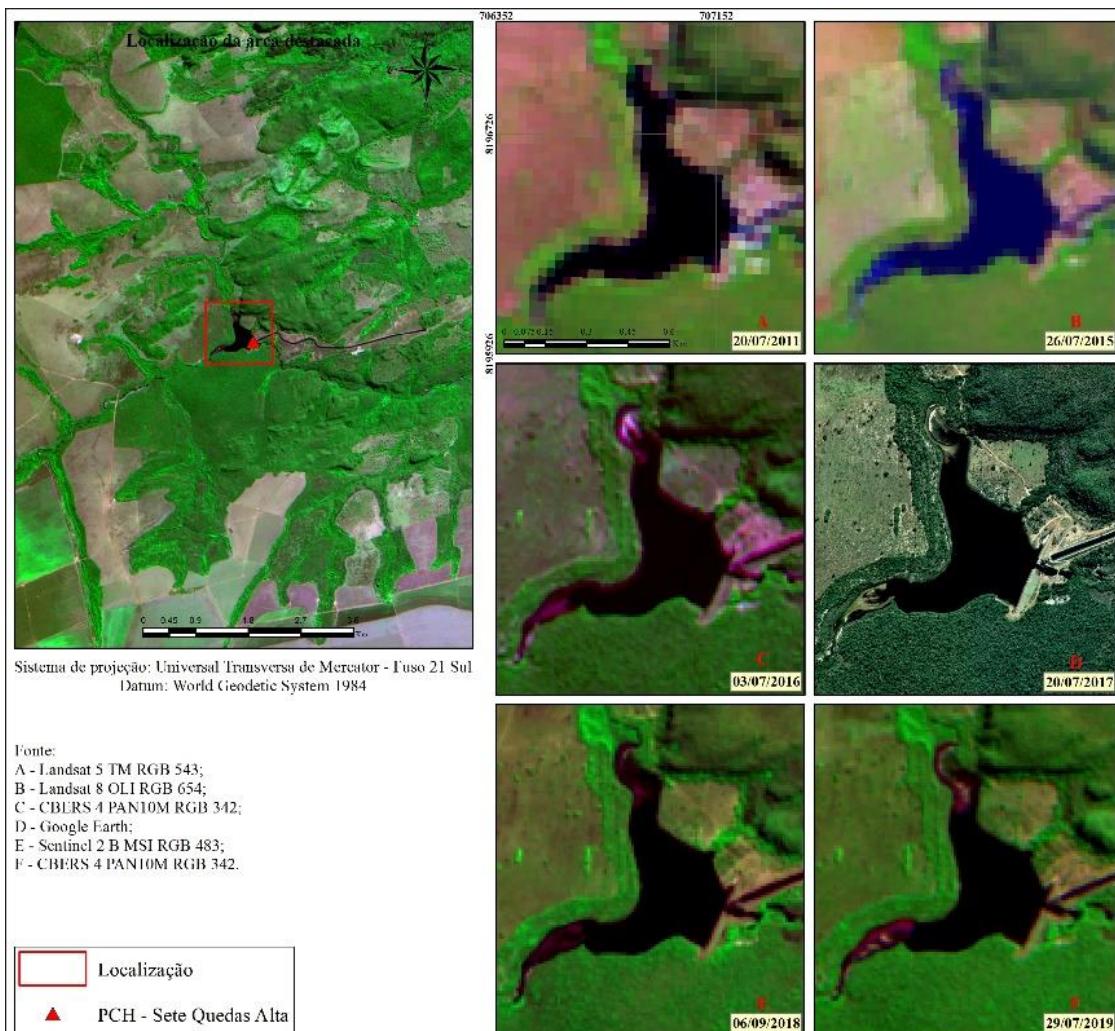


Figura 49. Imagens de satélite multitemporais da PCH Sete Quedas Altas mostrando a evolução do processo de assoreamento.

A UHE Ponte de Pedra, em funcionamento desde 2005, apresenta pequenas áreas de deposição de sedimento no início do remanso do reservatório (Figura 50), sendo que a partir de 2017 este empreendimento foi favorecido pela instalação da PCH Santa Gabriela a montante, que poderá reter parte do sedimento e reduzir o aporte para a UHE Ponte de Pedra.

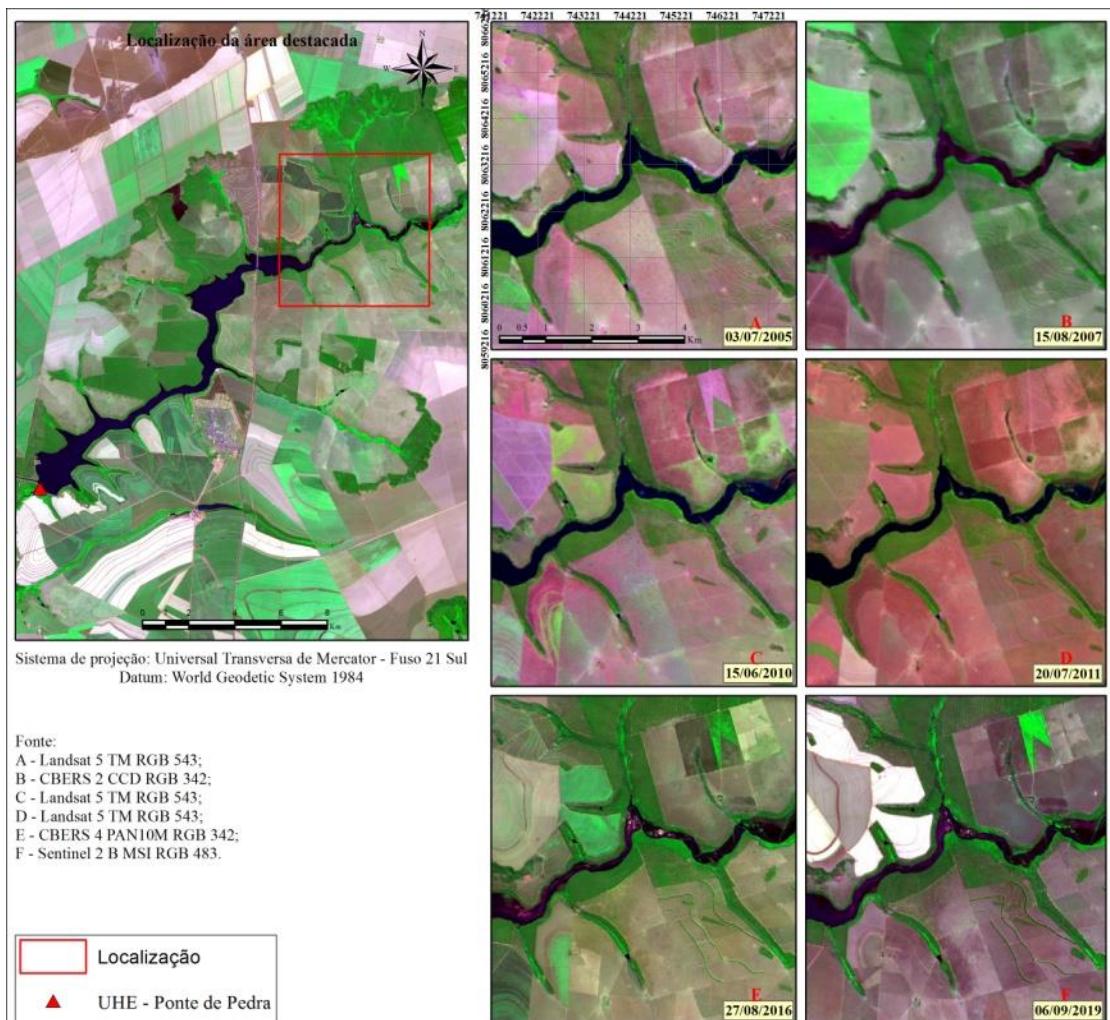


Figura 50. Imagens de satélite multitemporais da UHE Ponte de Pedra, rio Correntes, mostrando a evolução do processo de assoreamento.

As PCHs Cambará e Pequi no rio Tenente Amaral e a PCH Casca II no rio Casca possuem pequenos reservatórios ($<12,4 \times 10^5 \text{ m}^3$) e, consequentemente, pequena capacidade de acúmulo de sedimento. A interpretação visual das imagens indica que o assoreamento nos empreendimentos do rio Tenente Amaral pouco altera o fluxo de sedimento para jusante, devido à proximidade dos bancos de sedimentos da barragem (Figura 51 e Figura 52).

Na PCH Casca II, as evidentes áreas de depósitos de sedimento observadas em 2014, não estão visíveis em 2017, da mesma forma que as áreas visíveis em 2018 não estão evidentes em 2019 (Figura 53). Considerando que as imagens foram adquiridas no período de estiagem, essa variabilidade temporal nas áreas de deposição, sugere que este empreendimento efetua o manejo dos sedimentos.



Figura 51. Imagens de satélite multitemporais da PCH Cambará mostrando a evolução do processo de assoreamento.

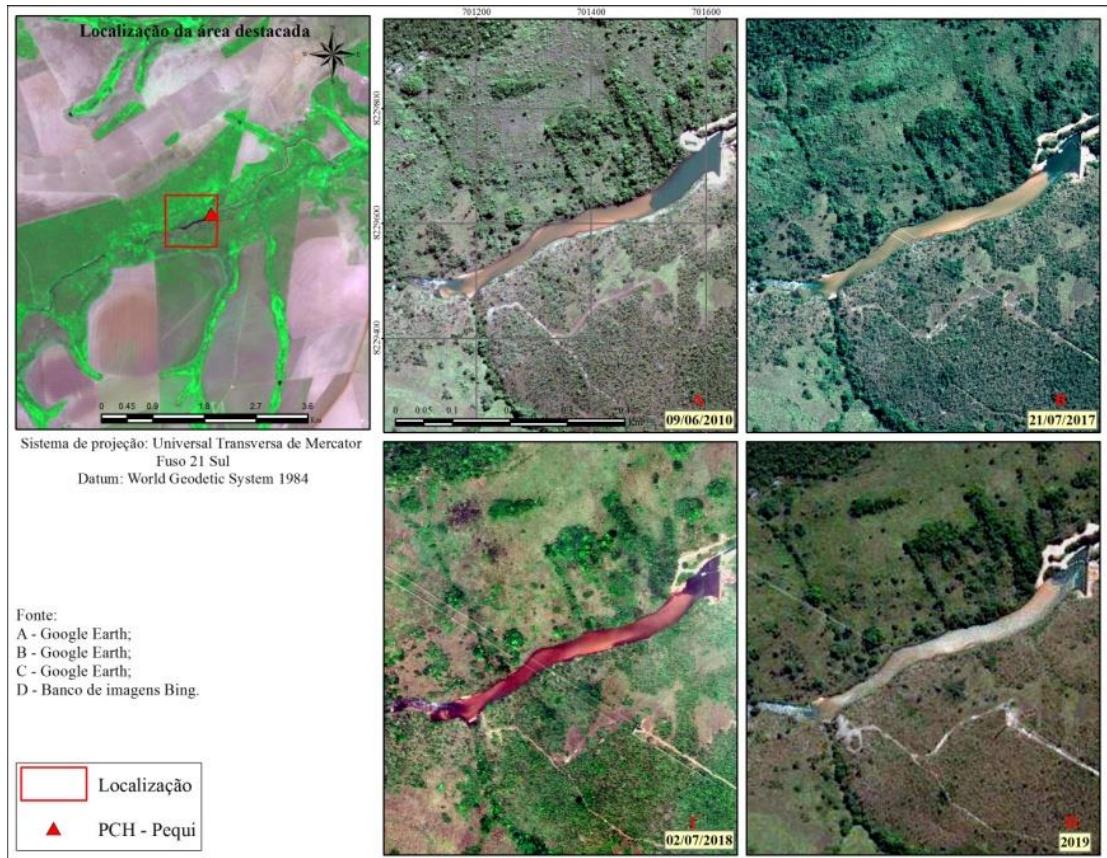


Figura 52. Imagens de satélite multitemporais da PCH Pequi mostrando a evolução do processo de assoreamento.

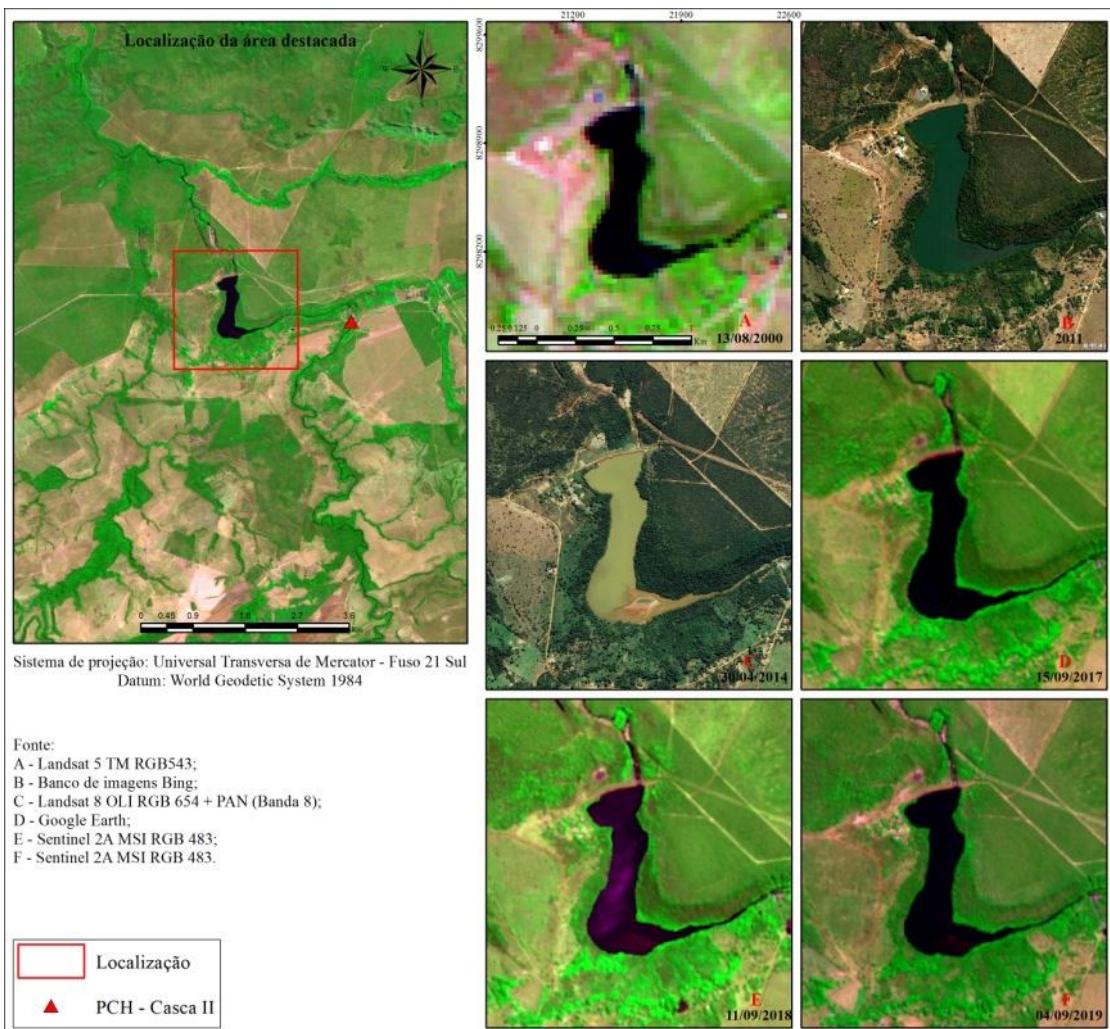


Figura 53. Imagens de satélite multitemporais da PCH Casca II mostrando a evolução do processo de assoreamento.

Avaliação do efeito do descarregador de fundo e da posição da tomada d'água na sedimentação

A avaliação do efeito do descarregador de fundo indicou que há tendência de que em empreendimentos com descarregadores de fundo ocorra maior passagem de sedimentos e nutrientes transportados no leito, minimizando o efeito na retenção destes elementos no reservatório. Apesar do efeito não comprovado estatisticamente pelo teste de Mann-Whitney (para probabilidades menores que 5%), observou-se uma consistente redução nas medianas das taxas de retenção de sedimentos e nutrientes em empreendimentos com esta estrutura (

Figura).

O melhor desempenho no favorecimento no transporte de leito foi registrado para a carga de fósforo total, onde reservatórios com descarregadores de fundo apresentam retenções mediana de -6,2% enquanto que sem essa estrutura o valor foi de -90,7%, ou seja, uma aumento de 84,5% no fluxo de fósforo para jusante (

Figura a). Este parâmetro foi seguido pelo carbono orgânico particulado, com aumento mediano no fluxo de sedimento de 76,3% (de -92,1% para -16,8%), nitrogênio total de 64,6% (de -88,5% para -

23,9%), sedimentos de leito de 34,6% (de -78,9% para -44,4%) e carbono orgânico total de 27,2% (-22,7% para 4,4%) (

Figura c - e).

Vale destacar que a presença do descarregador de fundo não garante o fluxo de sedimentos pelo leito, principalmente para médios e grandes reservatórios, uma vez que sua área de atuação é restrita, a exemplo da PCH São Lourenço, que mesmo possuindo descarregador de fundo reteve mais de 98% da carga de sedimentos, fósforo total e nitrogênio total, o que pode ser atribuído ao seu comprimento (21,5km) e volume ($1006 \times 10^5 m^3$). Por outro lado, em reservatório pequenos em rios com alta carga sedimentar, o descarregador de fundo não garante a manutenção do volume útil como, por exemplo, da UHE Itiquira (comprimento de 1,5 e volume de $48 \times 10^5 m^3$), que se encontra em avançado estágio de assoreamento, sendo que seu recorrente uso tem mobilizado maior carga de sedimentos de para jusante do que o aporte que entra no reservatório.

A posição vertical da tomada d'água na barragem não influencia nos padrões de variação da taxa de transporte de sedimentos e nutrientes em suspensão (

Figura 54. Avaliação do efeito do descarregador de fundo sobre o transporte no leito de fósforo total (a), carbono total (b), nitrogênio total (c), sedimentos (d).

Tabela). A partir destes resultados, pode-se supor uma mistura vertical completa sem a ocorrência de estratificações persistentes, decorrentes dos reduzidos tempos de retenção hidráulica na maior parte do tempo (<10 dias).

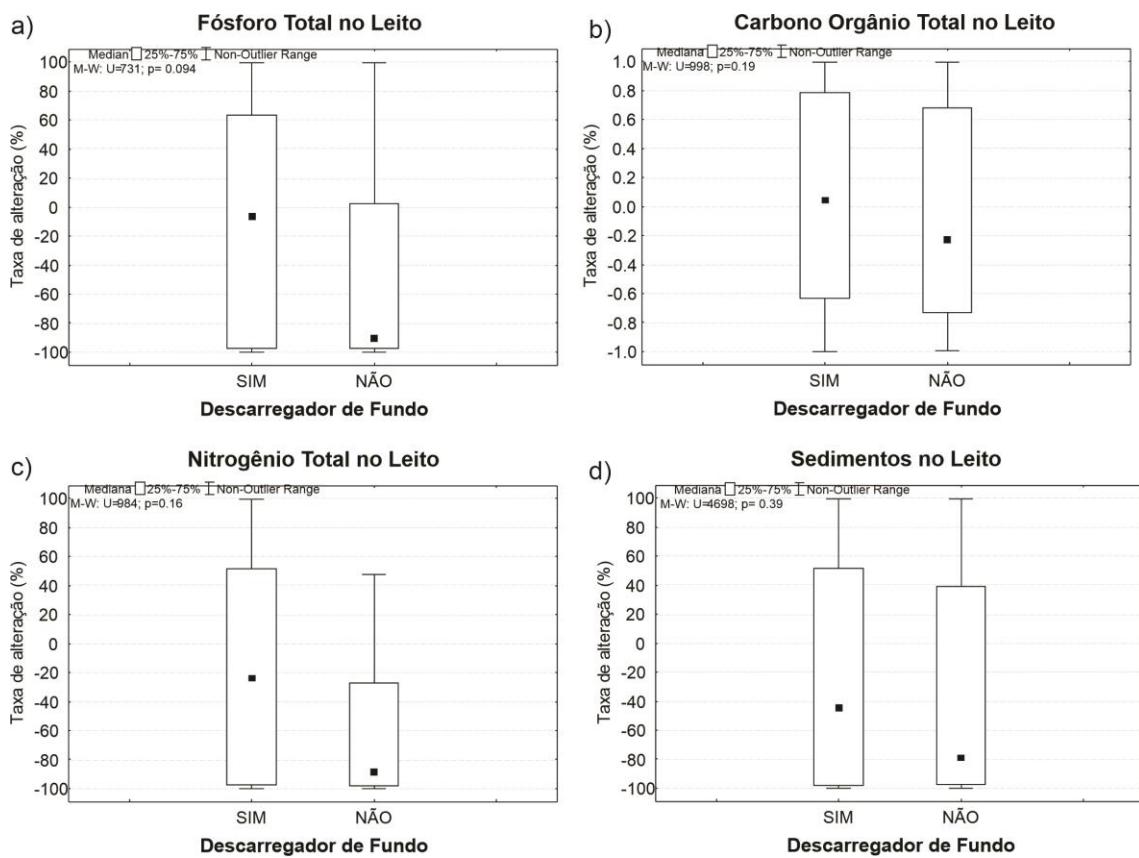


Figura 54. Avaliação do efeito do descarregador de fundo sobre o transporte no leito de fósforo total (a), carbono total (b), nitrogênio total (c), sedimentos (d).

Tabela 14. Avaliação do efeito da posição vertical da tomada d'água na variação do transporte em suspensão para jusante do reservatório.

Parâmetros	Superficial	Profundo	Mann-Whitney (U/Z)	p
Sedimentos em suspensão (%)	0 (-39,1/20.0)	0 (-47,9/17,8)	4747/1.18	0.23
Fósforo total (%)	0 (-17.4/15.4)	-2.8 (-37,8/18,8)	4811/0.73	0.46
Nitrogênio total	1,9 (-15.5/27,8)	-5,8 (-28,6/19,7)	4367/1.88	0.58
Nitrogênio orgânico total (%)	-7,2 (-36.3/26.6)	-7,7 (-28,2/22,02)	4740/-0.29	0.76
Carbono orgânico total (%)	-6,1 (-24,2/17,8)	-5.9 (31,2/7,4)	4563/0.73	0.46

A variabilidade nas taxas de alteração mostrou a ocorrência de eventos de retenção e liberação de sedimentos e nutrientes no mesmo reservatório ao longo do ano hidrológico amostrado. Embora os grandes reservatórios sejam considerados eficientes sumidouros de sedimentos e nutrientes, não existem evidências robustas sobre os padrões de retenção em EHs

a fio d'água. Duas hipóteses podem explicar os padrões observados, os pequenos volumes dos reservatórios associados ao controle das vazões e o aumento da decomposição da matéria orgânica no fundo do reservatório.

Conforme demonstrado no Produto 10 e no item 5.2.5 do presente relatório, os EHs podem causar alterações significativas no regime de vazões a jusante em escala subdiária. Desta forma, pode-se supor que os reservatórios também oscilam entre períodos de retenção e liberação de água para jusante, o que também seria refletido no transporte de sedimentos e nutrientes. Vale destacar que o rebaixamento abrupto no nível do reservatório e, consequentemente, o aumento da velocidade de escoamento, pode remobilizar o material retido no leito para jusante.

Os resultados mostram que reservatórios, mesmo que pequenos, são eficientes na retenção de sedimento transportado pelo leito, porém difere do padrão encontrado em grandes barragens, onde a retenção é permanente (VOROSMARTY et al., 2003). Neste estudo, foram registrados episódios de liberação de sedimentos para jusante, ou seja, a carga de saída foi maior que o de entrada, incluindo empreendimentos sem descarregadores de fundo. Estes episódios podem estar associados à operação de descarregadores de fundo, quando este existir e ao rebaixamento acelerado no nível do reservatório causado pelo aumento na vazão turbinada, remobilizando os sedimentos depositados em reservatórios com barragens pequenas (<2m) ou ainda em avançado estágio de assoreamento.

Como demonstrado, a operação de descarregadores de fundo favorece o transporte de sedimentos para jusante, mas sua área de influência é restrita. Kondolf et al. (2014), analisando a eficiência da operação de descarregadores de fundo na liberação de sedimentos retidos no reservatório, constatou que esta estrutura é eficiente apenas em reservatórios com tempo de retenção inferior a 0,4 dias (divisão entre a capacidade de armazenamento pela vazão média anual afluente). Desta forma, entre os 35 empreendimentos hidrelétricos em operação, 16 atenderiam a esta condição, sendo que destes, apenas sete possuem descarregadores de fundo.

Para o transporte de sedimentos em suspensão, apenas a PCH São Lourenço apresentou um efeito consistente, as demais oscilaram em episódios de retenção e liberação de sedimentos, com frequência de ocorrência muito próxima a 50% para cada uma das fases.

Nas PCHs Eng. José Gelázio da Rocha, Graça Brennand, Figueirópolis e Juba foi observado um aumento no transporte de sedimentos para jusante, com valores medianos superiores aos registrados pelas cargas de leito retidas nestes EHs. Este padrão pode estar associado aos fatores mencionados acima para o transporte de leito, mas também aos aportes não quantificáveis ao reservatório, como pequenos rios e riachos não monitorados.

O aumento no transporte de sedimentos em suspensão não compensa a retenção de leito, uma vez que cada tipo de transporte tem funções ecossistêmicas distintas. O sedimento grosso transportado pelo leito pode ser visto como o formador da maioria dos leitos de rios e, por isso, a redução em seu fornecimento induz à erosão no canal fluvial (KONDOLF, 1995). Os sedimentos finos são importantes para a estruturação de algumas formas fluviais, como as planícies de inundação, onde o acúmulo de sedimentos em áreas de várzea ocorre com acúmulo vertical, além disso, desempenha o papel de transportar nutrientes e contaminantes adsorvidos em partículas de argila (OWENS, 2005).

5.4. Variações de curto prazo na hidrologia e da qualidade da água em EHs em operação: estudo de caso no Ribeirão Ponte de Pedra

A seguir são apresentados os resultados do monitoramento de alta frequência (curto prazo, horas) efetuado no Ribeirão Ponte de Pedra, a montante e jusante das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis. Os resultados de pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido não foram apresentados, pois tiveram variações pouco expressivas no período monitorado.

Vazão

Na Figura 55 está apresentado o resultado da vazão turbinada, vertida e defluente, medida na PCH Eng. José Gelázio da Rocha pela Engie Brasil (empreendedor), com frequência horária.

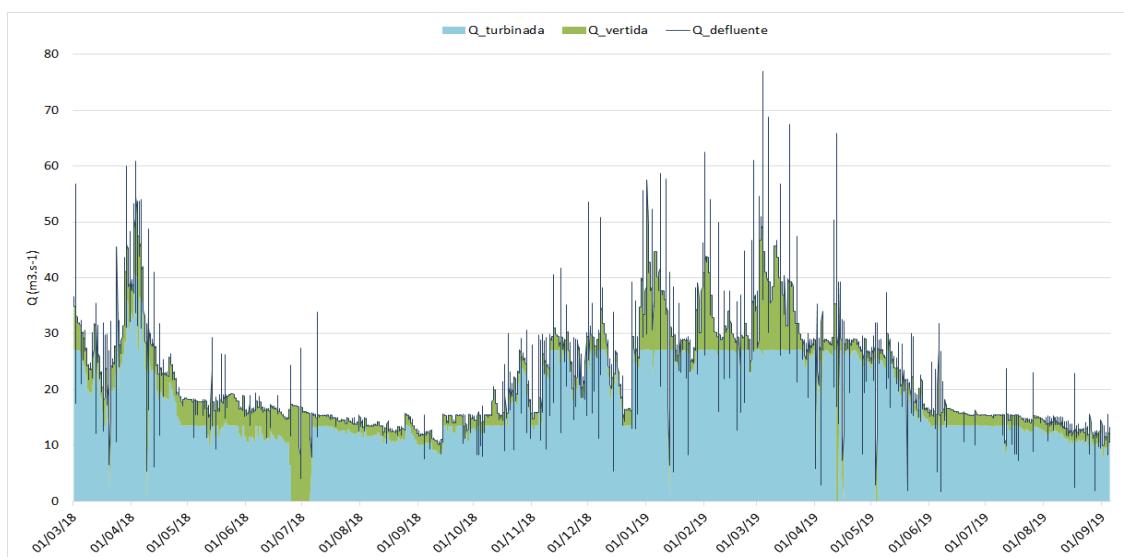


Figura 55. Vazões defluentes, turbinada e vertida em resolução de 1h da PCH Eng. José Gelázio da Rocha disponíveis para o período da operação da REMAPP - “Rede de monitoramento ambiental multifuncional do sistema Planalto-Pantanal” (março 2018 a setembro 2019). Fonte: ENGIE.

Temperatura da água

A temperatura da água do ribeirão Ponte de Pedra, em condições típicas, oscilou entre cerca de 18 e 28 °C, que correspondem aos dados horários mensurados no período de 24/03/2018 a 06/09/2019. A dinâmica térmica da água acompanhou as condições climáticas da região, que apresenta sazonalidade bem definida em relação à temperatura e à precipitação, assim como fenômeno da friagem, onde ocorrem reduções acentuadas da temperatura por alguns dias (Figura 56).

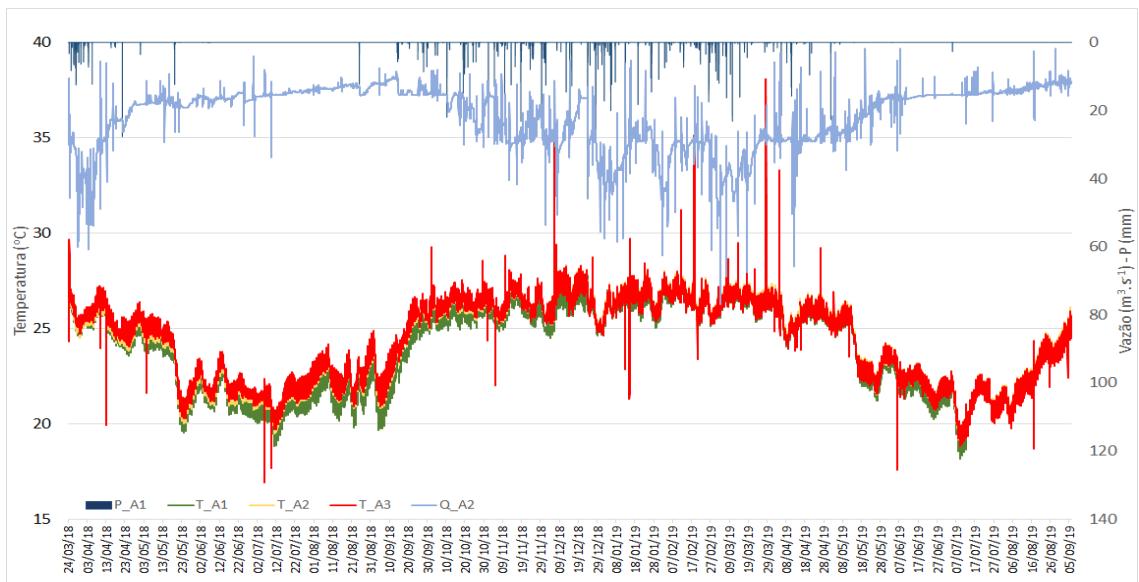


Figura 56. Temperatura da água medida em frequência horária nas estações A1 (montante PCHs), A2 (jusante PCH Eng. José Gelázio) e A3 (jusante PCH Rondonópolis). No eixo secundário estão apresentadas a vazão ($Q \text{ m}^3/\text{s}$) e a precipitação ($P \text{ mm}$).

A temperatura no gradiente longitudinal do ribeirão Ponte de Pedra aumentou a jusante (A2/A3) das PCHs, principalmente no período seco (Figura 57 e Figura 58). No período chuvoso (Figura 57), no qual foram registradas as maiores vazões, houve maior semelhança térmica entre os pontos monitorados (09/12/2018 a 08/05/2019), condição favorecida pelo menor tempo de residência da água nos reservatórios e canais de adução. No entanto, as menores temperaturas continuaram sendo registradas em A1, mas com menor amplitude em relação ao período seco (Figura 58). A partir do dia 18/05/2019 as diferenças térmicas entre os pontos de coleta voltaram a ser ampliadas, com o início do período seco e a redução da vazão, condição que favorece o maior tempo de permanência da água do trecho monitorado.

As possíveis influências das PCHs na troca da temperatura da água se referem ao ganho de temperatura pela ampliação da lâmina d'água dos reservatórios, especialmente na primeira PCH (Eng. José Gelázio da Rocha), e aos canais de adução das duas usinas, que são revestidos por lona escura impermeável e sem sombreamento na maior parte do percurso. Adicionalmente, a redução da lâmina d'água no trecho de vazão reduzida também pode ter contribuído para o ganho de calor, considerando a formação do leito natural rochoso do trecho percorrido.

Durante o período chuvoso, podem ser observados picos de temperatura que superam a temperatura típica em até cerca de 2°C (exemplo, 07/03/19, 13/03/19), que correspondem com alterações expressivas da vazão defluente da PCH Eng. José Gelázio da Rocha (Figura 57).

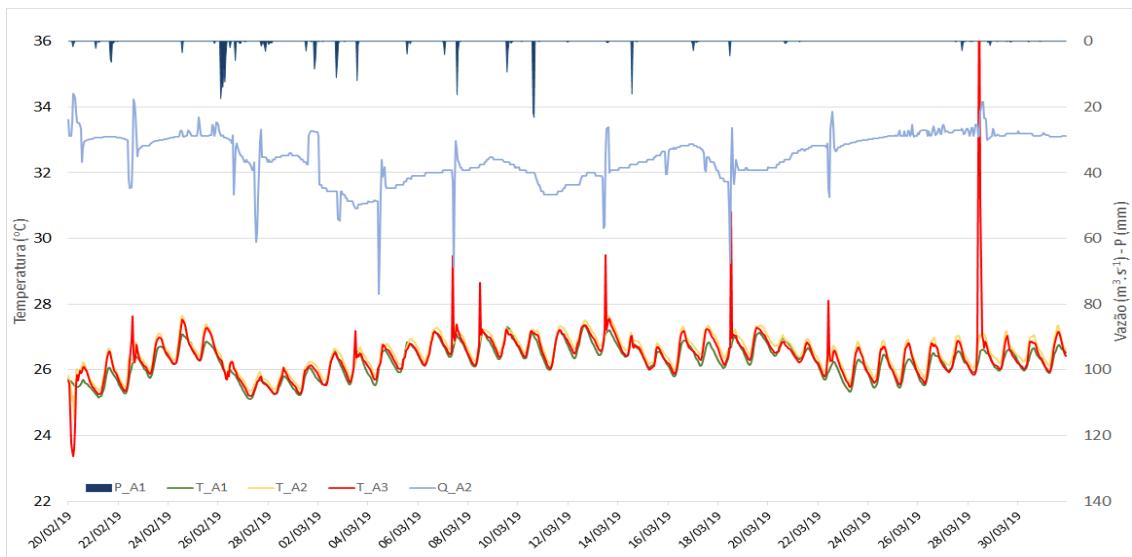


Figura 57. Temperatura da água medida em frequência horária no Ribeirão Ponte de Pedra, no trecho sob influência das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis, entre 20/02-31/03/2019 (período chuvoso). No eixo secundário estão apresentadas a vazão ($Q \text{ m}^3/\text{s}$).

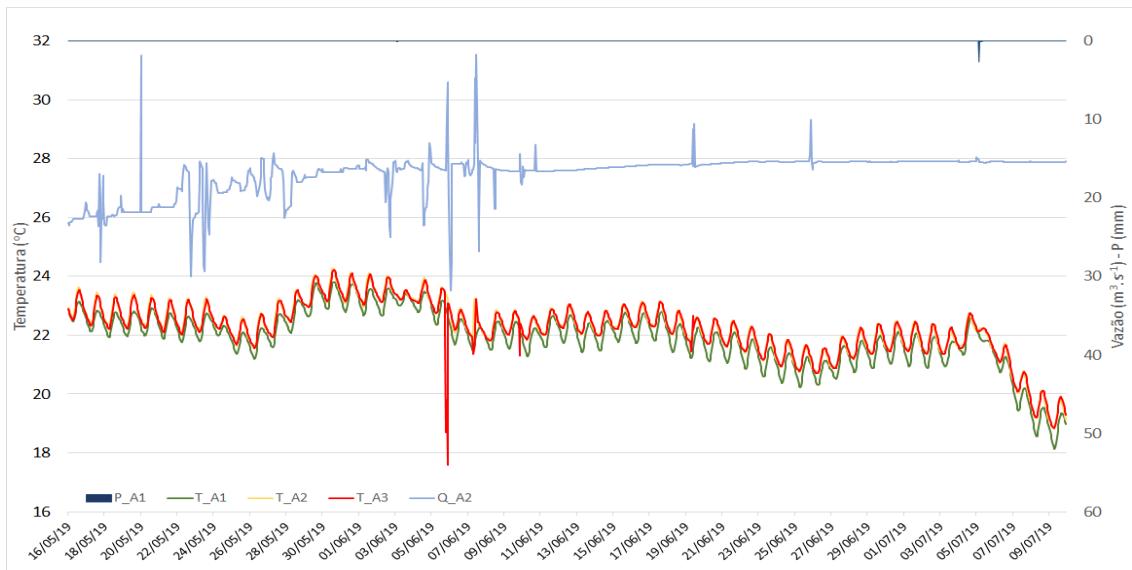


Figura 58. Temperatura da água medida em frequência horária no Ribeirão Ponte de Pedra no trecho sob influência das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis entre 16/05-10/07/2019 (época de seca). No eixo secundário estão apresentadas a vazão ($Q \text{ m}^3/\text{s}$) e a precipitação ($P \text{ mm}$).

Nitrato

Em condições típicas, as concentrações de nitrato da água do ribeirão Ponte de Pedra oscilaram entre 0,08 e 0,70 mg/L (Figura 59). Os resultados se assemelham aos obtidos no monitoramento pela Engie Brasil, entre 2008 e 2017 (0,006 e 0,44 mg/L, média de 0,1 mg/L) e em laboratório privado (0,14 e 0,44 mg/L) e dados primários deste estudo (0,15 mg/L), mas na estação A3 foram observados picos de nitrato até 8 mg/L.

Nos dois períodos sazonais, os maiores resultados de nitrato foram registrados no trecho natural do ribeirão (A1), sugerindo metabolização do nitrato nos reservatórios e canais de vazão reduzida. Eventos pontuais atípicos observados em A3 são frequentemente associados às alterações de curta duração de vazão (Figura 60 e Figura 61), as quais podem estar relacionadas à disponibilização de sedimentos mais ricos em nutrientes como nitrato.

Observou-se aumento de curta duração também durante eventos de intensa precipitação, sem relação com manobras de operação nas PCHs (11/03/19, 14/03/19), porém com magnitudes cerca de 10 vezes inferiores comparadas com as variações de curta duração de maior intensidade.

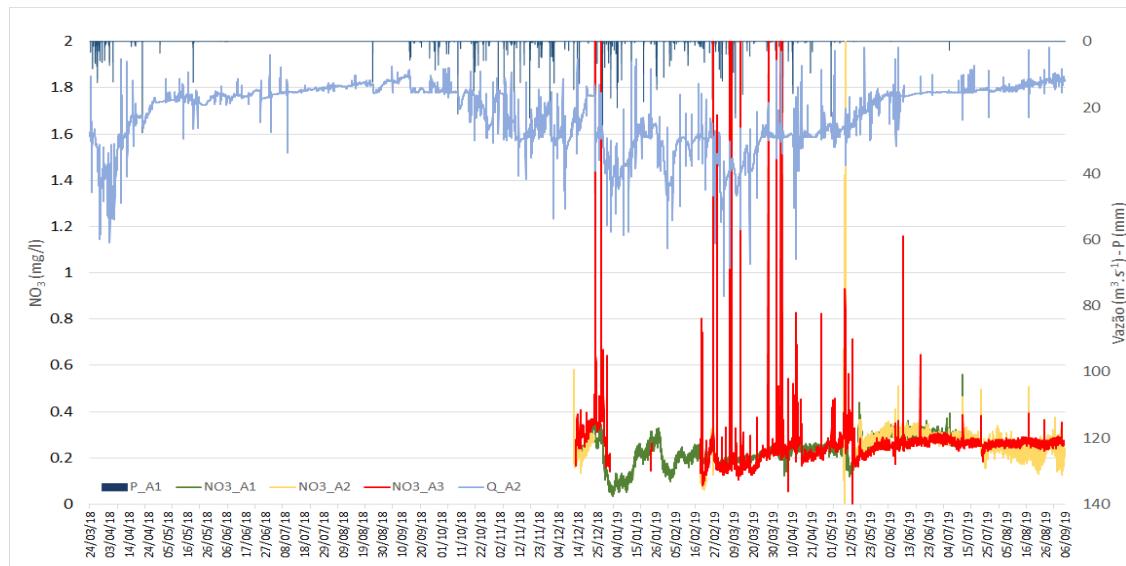


Figura 59. Concentração do nitrato da água medida em frequência horária nas estações A1 (montante PCHs), A2 (jusante PCH José Gelázio) e A3 (jusante PCH Rondonópolis). No eixo secundário estão apresentadas a vazão ($Q \text{ m}^3/\text{s}$) e a precipitação (P mm).

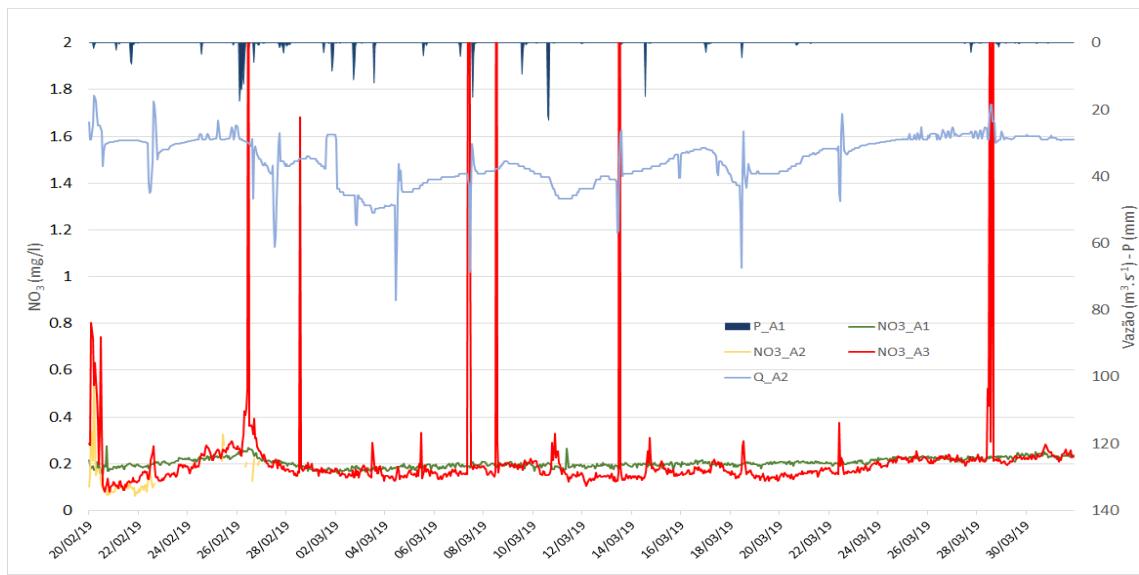


Figura 60. Concentração do nitrato da água medida em frequência horária no Ribeirão Ponte de Pedra no trecho sob influência das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis entre 11/12/2018-19/01/2019 (período chuvoso). No eixo secundário estão apresentadas a vazão (Q m³/s) e a precipitação (P mm).

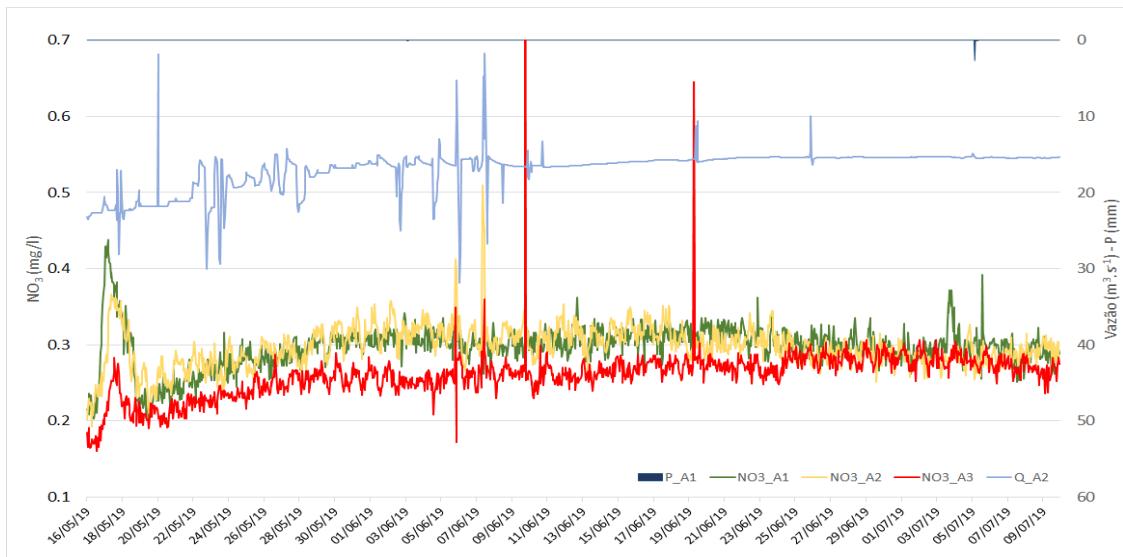


Figura 61. Concentração do nitrato da água medida em frequência horária no Ribeirão Ponte de Pedra no trecho sob influência das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis entre 16/05-10/07/2019 (época de seca). No eixo secundário estão apresentadas a vazão (Q m³/s) e a precipitação (P mm).

DQO-Demanda Química de Oxigênio

Os resultados de DQO, que representa tanto as demandas de oxigênio pelo carbono lável (de rápida decomposição) quanto pelo refratário, indicaram uma redução nas concentrações ao

longo do gradiente do ribeirão Ponte de Pedra, sendo mais expressiva a jusante do primeiro reservatório (A2), com uma pequena reincorporação em A3, mas ainda inferior a A1 (Figura 42).

Os resultados também indicaram uma diferença sazonal, com maiores concentrações no período chuvoso, devido ao aporte superior de materiais alóctones provenientes da área de drenagem (Figura 63 e Figura 64). As concentrações de DQO oscilaram em condições típicas entre 0,5 e 20,0 mg/L, corroborando com o histórico obtido no monitoramento do empreendedor entre 2008 e 2014 (3,0 - 31,0 mg/L).

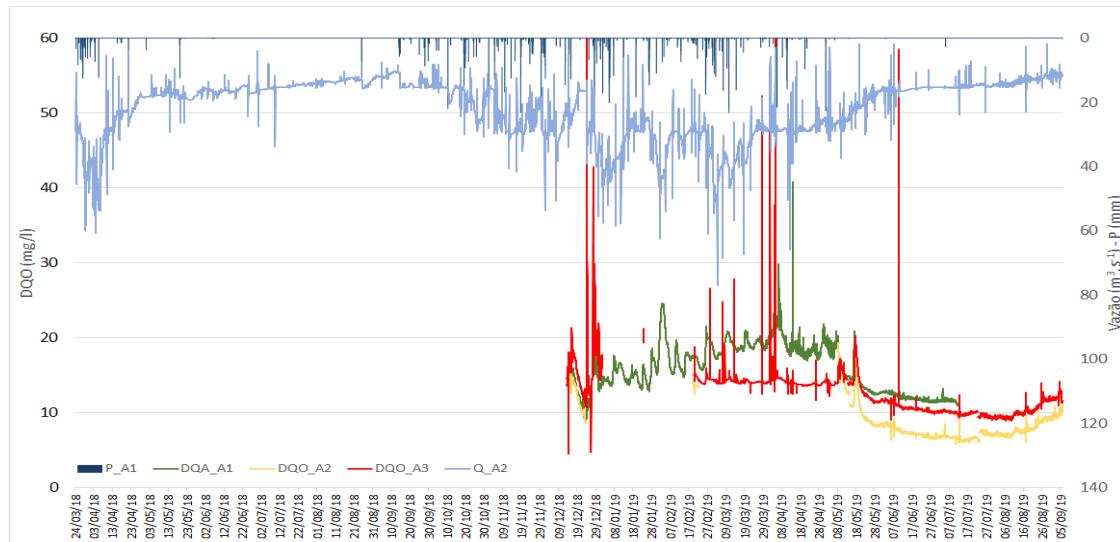


Figura 42. Concentração da Demanda Química de Oxigênio da água medida com frequência horária nas estações A1 (montante PCHs), A2 (jusante PCH José Gelázio) e A3 (jusante PCH Rondonópolis). No eixo secundário estão apresentadas a vazão ($\text{Q m}^3/\text{s}$) e a precipitação (mm).

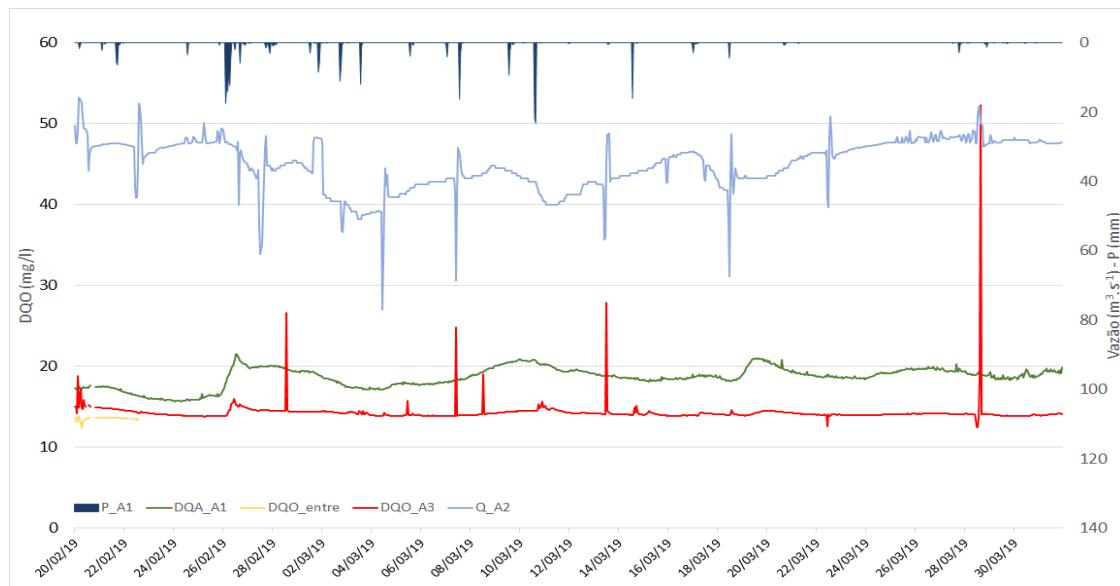


Figura 63. Concentração da Demanda Química de Oxigênio da água medida com frequência horária no Ribeirão Ponte de Pedra no trecho sob influência das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis

entre 11/12/2018-19/01/2019 (período chuvoso). No eixo secundário estão apresentadas a vazão (Q m^3/s) e a precipitação (P mm).

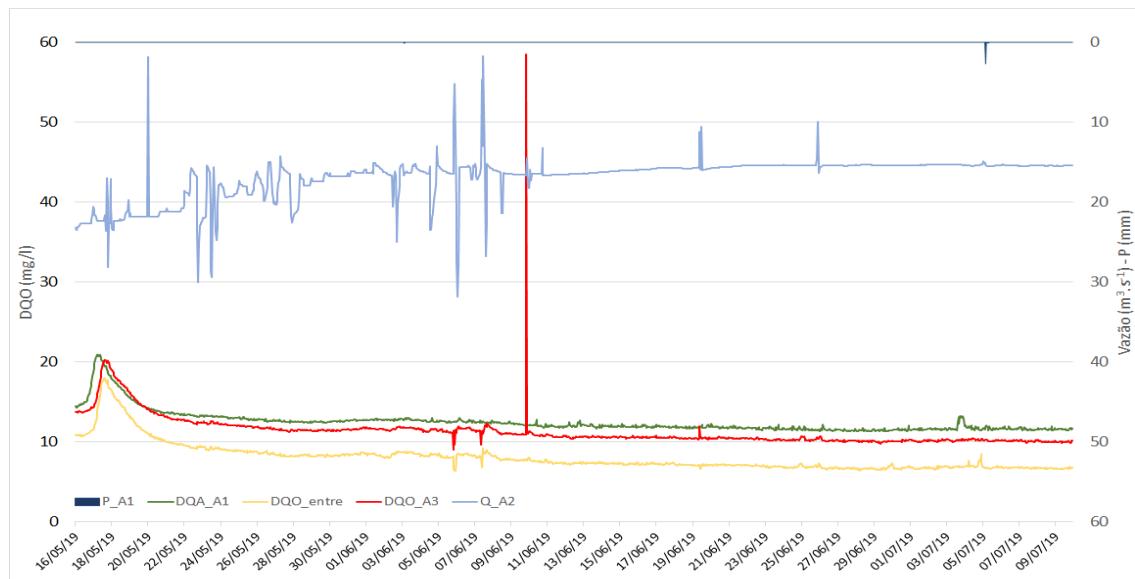


Figura 64. Concentração da Demanda Química de Oxigênio da água medida com frequência horária no Ribeirão Ponte de Pedra no trecho sob influência das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis entre 16/05-10/07/2019 (época de seca). No eixo secundário estão apresentadas a vazão ($\text{Q m}^3/\text{s}$) e a precipitação (P mm).

Variações de vazão e da qualidade da água durante as manobras das PCHs

Como apontado anteriormente, variações pontuais e expressivas da qualidade de água podem ocorrer durante manobras de operação nas PCHs, como p. ex. observado no dia 13/03/2019 (Figura 65). Após ligeiro aumento da vazão afluentes da PCH Rondonópolis (medição às 13:00 hs), causado por uma manobra no reservatório da PCH Eng. José Gelázio a montante, houve uma redução da vazão afluentes na PCH Rondonópolis de cerca de 50% ($\sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$ para $\sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$) por cerca de duas horas (medidas às 14:00 e 15:00 hs).

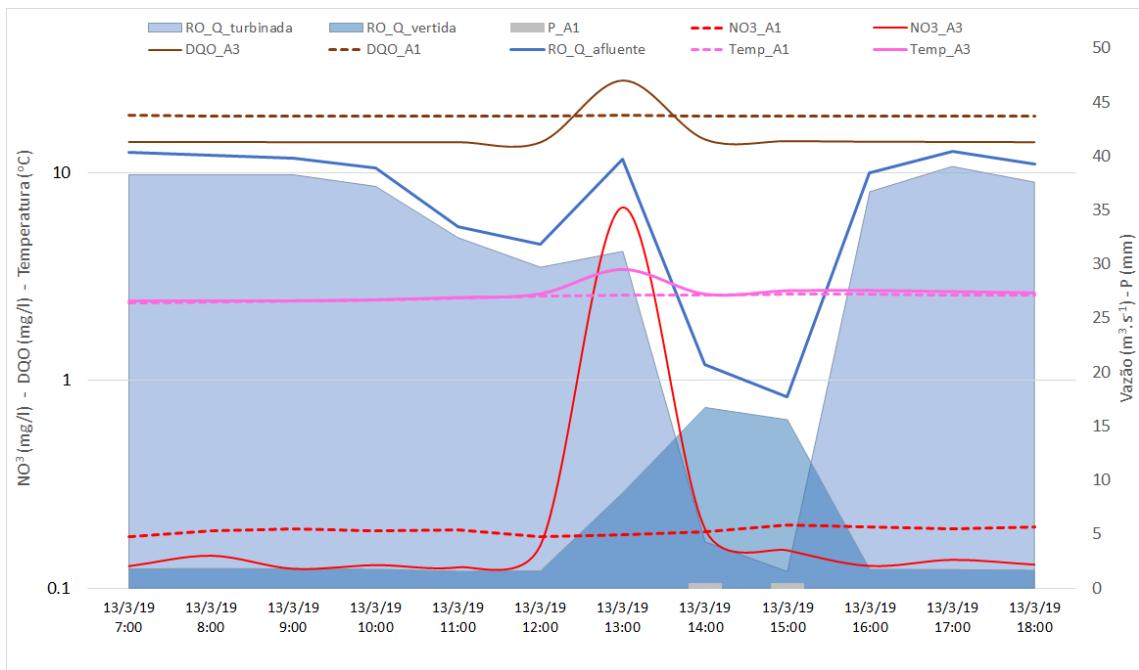


Figura 65. Efeitos de manobras de operação das PCHs Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis sobre o nitrato (NO_3), DQO e temperatura da água do Ribeirão Ponte de Pedra (13/03/2019). Linhas que representam variáveis de qualidade de água tratadas com alisamento para facilitar a interpretação. Estações A1 e A3; Vazão ($\text{Q m}^3/\text{s}$) e precipitação ($P \text{ mm}$).

Durante essas manobras de operação, a vazão turbinada foi reduzida de cerca de 32 m^3/s para abaixo de 5 m^3/s , com aumento vertiginoso da vazão vertida de cerca de menos de 2 m^3/s para mais do que 15 m^3/s . Com o início do desvio da maior parte da vazão para o canal natural, ocorrem mudanças expressivas na qualidade de água. Enquanto as concentrações do nitrato em condição de operação típica (sem variações específicas na relação entre as vazões turbinadas e vertidas nas PCHs) variam predominantemente em uma faixa entre 0,18 a 0,35 mg/l , as mesmas alcançaram na estação A3 concentrações máximas de até 20 vezes maiores (>9 mg/l), sendo que no evento exposto foi de 6,8 mg/L .

Observou-se que na estação a montante das PCHs (A1) não houve nenhuma alteração atípica (com variações específicas na relação entre as vazões turbinadas e vertidas nas PCHs, geralmente inferior à 3hs) das concentrações e não ocorreram chuvas relevantes que pudessem causar tal alteração. Supõe-se que isto ocorreu em função do arraste repentino de matéria orgânica e mineral (deposição seca) no canal natural do Ribeirão Ponte de Pedra. Estes padrões são observados também para o DQO com duplicação dos valores (aumento de cerca de 14 mg/L para cerca de 28 mg/L) e um aumento de cerca de 2,6 $^{\circ}\text{C}$ na temperatura da água, temporariamente em contato com as formações rochosas anteriormente secas e aquecidas neste horário do dia. Após o término das manobras e normalização das vazões, as concentrações de nitrato e DQO e os valores de temperatura (como também de outras variáveis) voltaram aos níveis típicos da época do ano.

5.5. Previsão de alteração no transporte dos rios com empreendimentos hidrelétricos: modelagem de rede neural

A previsão da taxa de variação no transporte de sedimento, fósforo e nitrogênio, para novos empreendimentos, obtida através da modelagem com redes neurais artificiais, foi feita de forma individualizada para cada EH (Figura 66, 67 e 68), sendo o efeito acumulativo analisado no trecho final dos principais rios com EHs previstos (Tabela 15). O critério adotado foi o mesmo mencionado no item 5.2.2 para classificar as alterações como *alta*, *média* ou *baixa*.

Os resultados dessa modelagem mostraram que o sedimento em suspensão ficará retido em 64% dos empreendimentos previstos, com taxas superiores a 30% (Figura 66), o que indica alta alteração no transporte de sedimento dos rios (Tabela 12 e Tabela). Na bacia do rio Taquari, a alteração ficará acima dos 20%, e de 30% nos rios Coxim e Ariranha. A mediana de retenção em cada EH foi em torno de 98 ton./dia, variando entre 18 a 378 ton./dia. Nos reservatórios do rio Cuiabá, a mediana da retenção em cada reservatório previsto foi de 340 ton./dia. As cargas estimadas encontram-se na tabela 2 do anexo I.

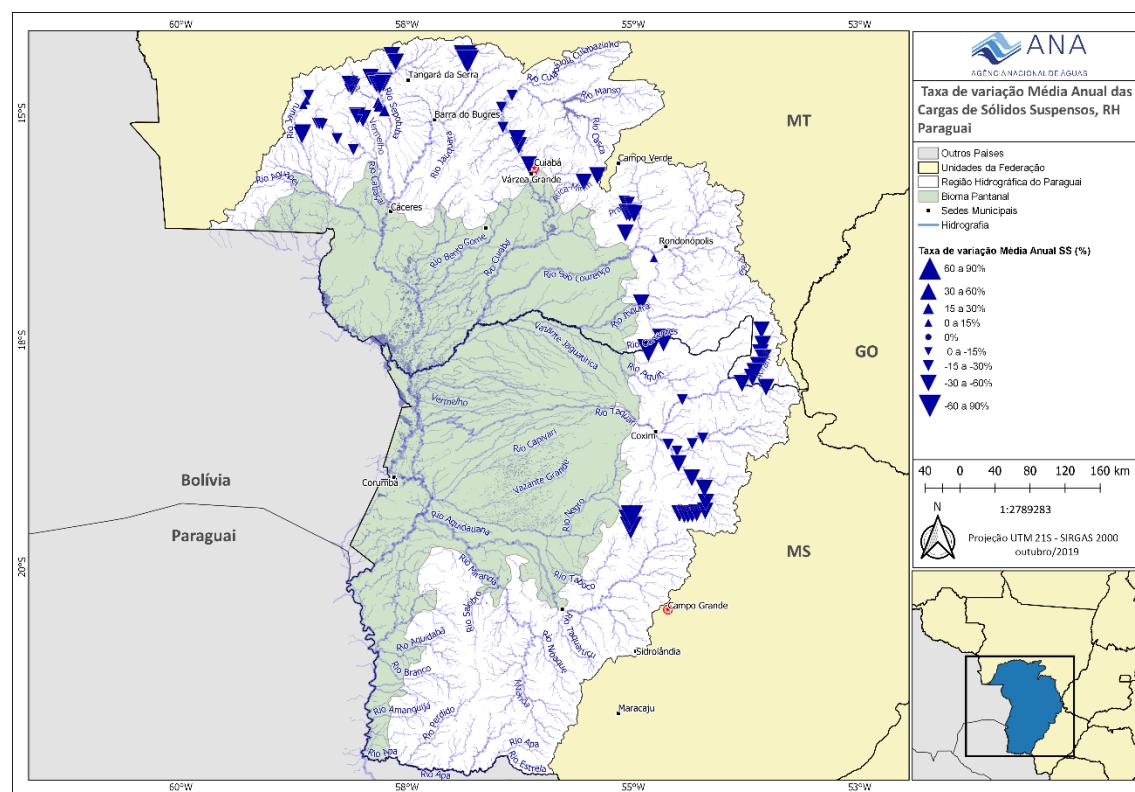


Figura 66. Taxa de variação prevista para o sedimento em suspensão em (%) entre montante e jusante dos empreendimentos hidrelétricos previstos na RHP.

A previsão para o fósforo total também indica alteração alta, com retenção de 30 a 60% do PT em todos os reservatórios das cascatas de PCHs previstas no rio Cabaçal, Cuiabá, Aricá, Correntes e Taquari (exceto duas PCHs no rio Coxim) (Figura 67). A carga a ser retida em cada PCH da sub-bacia do rio Taquari poderá ficar entre 0,3 e 231 ton./dia. No Cuiabá a carga retida mediana será de 1.226 kg/dia em cada PCH, variando de 243 a 1.548 kg/dia, sendo previsto a maior retenção na primeira PCH da cascata.

Na região do Alto Paraguai a alteração indica tendência a aumento do PT transportado a jusante dos novos reservatórios, principalmente na cabeceira do rio Jauru, e tributários do rio Sepotuba (Juba, Formoso e Sapo). Este aumento a jusante também está previsto para reservatórios nos rios da bacia do São Lourenço (exceto T. Amaral) e no rio Itiquira (baixa alteração). No rio Sepotuba, a previsão é de retenção a jusante, assim como na PCH Santana II. Tanto as cargas de fósforo total retidas (1,2 a 24 kg/dia) quanto as liberadas (0,1 a 29 kg/dia) serão pequenas, no entanto, considerando que os rios da região do Alto Paraguai transportam pouco material em suspensão e leito, deve ser dada igual importância às pequenas cargas, retidas ou liberadas, quanto as cargas em bacias com transporte maior, como a do rio Taquari, por exemplo. No rio Correntes, a primeira PCH deverá liberar fósforo e a segunda reter o PT transportado.

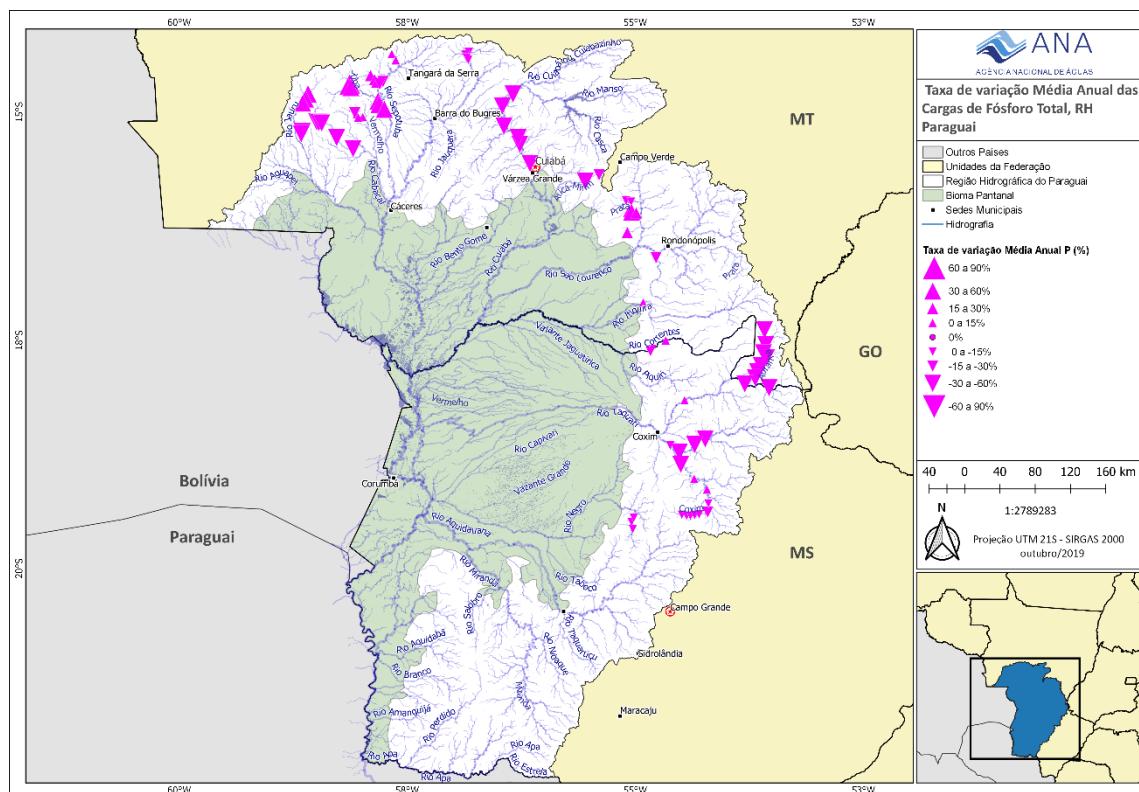


Figura 67. Taxa de variação prevista para o transporte de fósforo total em suspensão (%) entre montante e jusante dos empreendimentos hidrelétricos previstos na RHP.

Assim como para o PT, a previsão de retenção de NT (Figura 68) foi estimada para todos os reservatórios das cascatas de PCHs previstas no rio Cabaçal, nos primeiros reservatórios do rio Sepotuba, nas quatro das seis PCHs previstas no rio Cuiabá, em todos os reservatórios da sub-bacia do rio Taquari, exceto em dois reservatórios do rio Jauru-MS, e no rio Correntes. Em geral, as alterações serão médias.

Nos reservatórios previstos nos tributários do rio São Lourenço e no rio Itiquira predominam o aumento de NT a jusante entre 15 e 30%, classificado como alteração média a alta. As maiores taxas de retenção estão previstas para a bacia do rio Taquari (15 a 30%), com retenção mediana de 191 ton./dia, variando entre 18 a 6.888 ton./dia (Figura 68). No rio Cuiabá a alteração tende a ser baixa, e com retenção, a carga retida em quatro das seis PCHs será de 532 kg/dia e a carga liberada pelas outras duas PCHs será de 473 kg/dia, com um saldo de retenção de NT e PT (Tabela 15).

Na região do Alto Paraguai a tendência será de aumento do NT transportado a jusante dos novos reservatórios, principalmente na cabeceira dos rios Jauru, Caramujo, Juba, Formoso e Sapo. No rio Sepotuba haverá retenção de NT, e no rio Santana também haverá retenção de NT a jusante da PCH Santana II.

De maneira geral, os rios com tendência a aumento de nutrientes a jusante são os de menor vazão e, principalmente, os rios com menor carga de nutrientes transportada, onde as alterações serão altas, maiores que 25%.

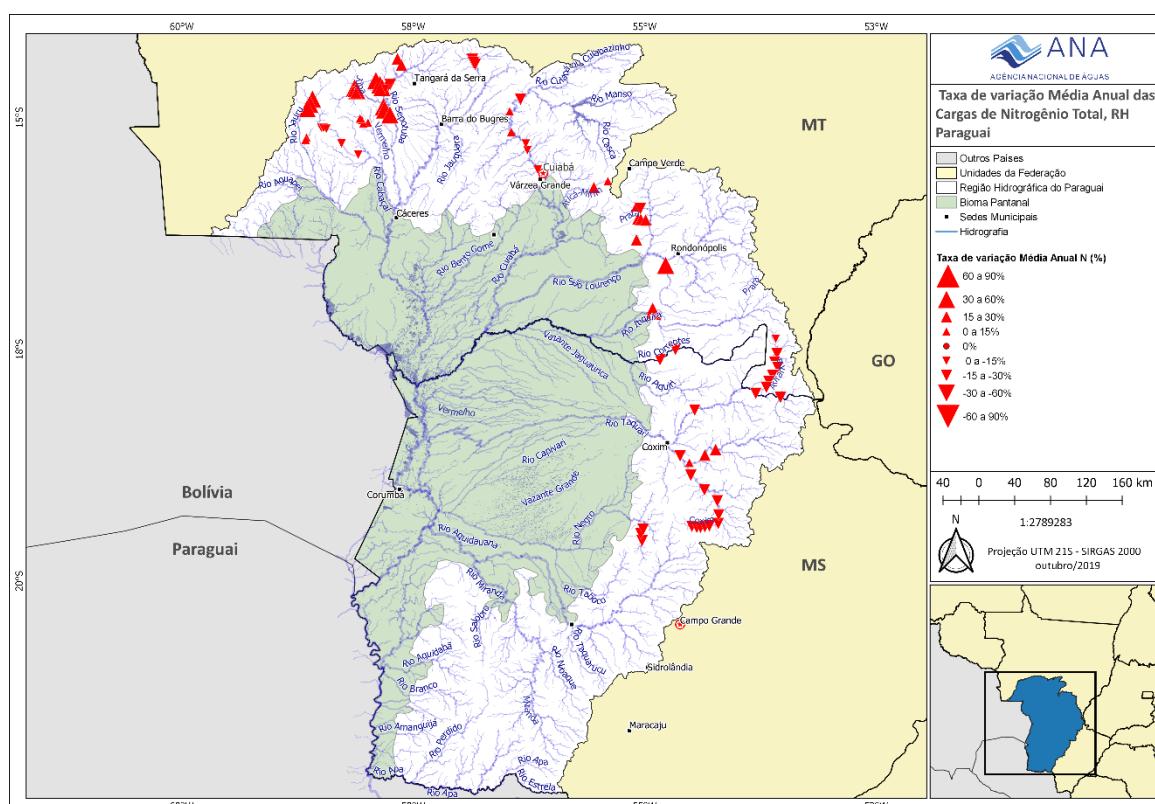


Figura 68. Taxa de variação prevista para o transporte de nitrogênio total em suspensão em (%) entre montante e jusante dos empreendimentos hidrelétricos previstos na RHP.

Cenários atual e futuro para o transporte de sedimento, fósforo total e nitrogênio total em suspensão: análise por exutórios dos principais rios ou sub-bacias

Para os rios onde já existe PCH ou UHE construída próxima a borda do Pantanal se considerou que os efeitos advindos dos novos barramentos serão incorporados ao efeito já observado, como é o caso dos rios Jauru (PCH Figueirópolis), Correntes (UHE Ponte de Pedra) e São Lourenço (PCH São Lourenço). Itiquira seria exceção porque o reservatório está em avançado estágio de assoreamento, ínfima capacidade de armazenamento, não sendo capaz de assimilar efeitos a montante.

Dos rios que mais transportam sedimentos e nutrientes para o Pantanal, os rios Cuiabá e Taquari, ainda estão livres de barramentos, mas as alterações previstas nestas duas sub-bacias serão altas. No rio Cuiabá a previsão é de retenção de 88% do sedimento transportado em

suspensão, bem como 25% do PT e 31% do NT transportados em suspensão pelo rio Cuiabá (Tabela 15). Considerando que os sedimentos no leito estão sendo retidos em taxas superiores a 20% na maioria dos EHs em operação estudados, é esperado que para o rio Cuiabá pelo menos 20% do sedimento transportado pelo leito também fique retido.

Na bacia do rio Taquari, a retenção prevista será de 51% do sedimento em suspensão, 43% de NT e 60% do PT (Tabela 15), ou seja, em torno da metade dos sedimentos e nutrientes ficarão retidos nos reservatórios previstos dos rios Taquari, Coxim e Jauru. Da mesma forma que para o Rio Cuiabá, pode-se considerar que pelo menos 20% do material transportado pelo leito também serão retidos nos reservatórios, caso sejam construídos.

Para esses rios, que são de águas mais turvas, a retirada de sedimentos deixará a água com maior transparência, o que para a comunidade de peixes seria uma alteração muito impactante. Da mesma forma, a retirada de nutrientes deixará as águas empobrecidas, principalmente, as águas do rio Taquari, que já transportam menos nutrientes que as águas do rio Cuiabá. Os rios do Pantanal, exceto rios como Cuiabá, que recebe carga urbana, já possuem águas com menos concentração de nutrientes, principalmente fósforo, em relação a outras bacias brasileiras (OLIVEIRA et al., 2019), tanto que não é comum se observar floração de algas, o que indica que as águas do Pantanal são mais oligotróficas.

Neste sentido, a retirada destes nutrientes poderia afetar a produção das pastagens nativas, que dependem da fertilização natural promovida pelos rios, principalmente na época de cheia, período em que os rios transbordam inundando a planície. Da mesma forma, afetaria a pesca, que depende da produtividade das áreas inundadas. Mesmo que descarregadores de fundo sejam instalados no sentido de liberar sedimentos a jusante, a alteração da dinâmica natural dos sedimentos e nutrientes poderá causar danos irreversíveis em longo prazo.

No rio Sepotuba também haverá alta retenção de sedimentos em suspensão, porém menor em relação ao Cuiabá e Taquari. No rio Cabaçal, a taxa de alteração do PT será de 19% de retenção e o transporte de NT praticamente não será alterado. No rio Sepotuba haverá liberação de PT e NT, maior que 20%. Deve-se considerar ainda que as previsões de liberação de NT podem ter sido influenciadas pelas liberações de nitrogênio nos reservatórios em operação, quando da operação das usinas.

Apesar de que esses resultados ainda poderão sofrer pequenas modificações até a versão final do estudo, essas alterações, incluindo as alterações no transporte do leito, indicam que a construção de reservatórios nos rios Cabaçal, Sepotuba, Cuiabá e Taquari e afluentes deve ser analisada com muito critério, considerando que um possível déficit de sedimento nos leques aluviais desses rios poderá causar mudanças na geomorfologia da planície do Pantanal.

Tabela 15. Taxa de alteração percentual entre o cenário atual e o cenário futuro para rios em sub-bacias com EHs previstos.

Local do exutório	QSS (ton./ano)			NT (Kg/ano)			PT (Kg/ano)		
	QSS Cenário	QSS Cenário	Alteração Percentual (%)	NT Cenário	NT Cenário	Alteração Percentual (%)	PT Cenário	PT Cenário	Alteração Percentual (%)
	Atual	Futuro		atual	Futuro	(%)	atual	Futuro	(%)
Rio Cabaçal	68.063	55.020	-19	871	851	-2	75	61	-19
Rio Sepotuba	78.942	51.424	-35	1.679	2.435	45	61	79	29
Rio Cuiabá	477.584	59.354	-88	2.116	1.459	-31	529	398	-25
Rio Taquari	469.898	230.294	-51	2.220	1.275	-43	286	115	-60

5.4. Análise por sub-bacia

Região do Alto Paraguai

Sub-bacia dos rios Paraguai e Santana

O rio Paraguai, na região de cabeceira onde está instalada a PCH Alto Paraguai, tem pequena vazão ($3,45 \text{ m}^3/\text{s}$, QMLT), condutividade elétrica relativamente alta ($47,3 \mu\text{S}/\text{cm}$) e baixas concentrações de sedimentos em suspensão, nutrientes e solutos dissolvidos, comparado aos outros rios estudados na RHP (Figura 22, 24, 27, 29, 31, 32 e 34), resultando em um pequeno transporte destes nutrientes a jusante da PCH Alto Paraguai. Este empreendimento aumentou o transporte de sedimentos e nitrogênio em suspensão para jusante em 38% (0,4 ton./dia) e 31% (276kg/dia), respectivamente, sem alterações no transporte de fósforo total.

O rio Santana, afluente da margem direita do rio Paraguai, tem vazão maior do que o rio Paraguai na cabeceira ($13 \text{ m}^3/\text{s}$ próximo a foz, QMLT), menor condutividade (em torno de $22 \mu\text{S}/\text{cm}$) (Figuras 22 e 23) e baixo o transporte de sedimentos em suspensão, carbono, nutrientes e solutos dissolvidos (Figura 24, 27, 29, 31, 32 e 34). O transporte de leito também foi pequeno para os parâmetros analisados, tanto no rio Santana como no seu afluente, o rio S. Francisco de Paula (Figura 25, 28, 30 e 33).

No rio Santana, as duas PCHs em operação, Diamante e Santana I, foram analisadas como um sistema em cascata, onde se observou tendência à retenção a jusante da PCH Santana I, principalmente para o PT (54,5%, 5,5 kg/dia), COP (20,0%, 201,7 kg/dia), NT (12,2%, 8,9 kg/dia) e QSS (11,8%, 3,5 ton./dia), transportado em suspensão (Figuras 35, 37, 39 e 41). Também houve redução da carga de todos os parâmetros transportados pelo leito (Figuras 36, 38, 40 e 42), exceto COT, cuja carga retida no reservatório foi de 134,4 kg/dia (43%).

A adição de mais uma PCH no rio Santana, entre as duas em operação, tenderia a reduzir um pouco mais o transporte que já é baixo. No entanto, a modelagem da PCH Santana II demonstrou que apenas 5,4% do QSS (0,9 ton./dia) e 2,5% do PT (1kg/dia) ficarão retidos e haverá aumento de 16% no transporte do NT (51,6 kg/dia). Estas pequenas (<20%) alterações previstas poderão ser mitigadas pela PCH Santana I e não serão sinalizadas a jusante.

Já no seu afluente, o rio São Francisco de Paula (Buriti), as taxas de retenção individuais para as três PCHS previstas serão bem maiores, em torno de 64% para QSS, 18% para NT e 30% para o PT (Figuras 66, 67 e 68), sendo que a carga retida em cada uma, isoladamente, varia em torno de 21,0 ton./dia para o QSS, 105 kg/dia para o NT e 4,8 kg/dia de PT, bem maior do que no rio Santana (Tabela 2 do anexo I). Com isso, estimou-se que os efeitos acumulativos no rio Santana serão altos para QSS e médios para NT e PT, com retenção de 62% da carga de QSS (8.788 ton/ano), 22% de NT (78.785 ton/ano) e 27% de PT (4.075 ton/ano).

A partir dos resultados acima, se observa que novos barramentos podem causar efeitos locais na qualidade da água e sedimentologia, mas é bem provável que tais efeitos não chegarão à planície do Pantanal como mostrado na Figura 69.

Sub-bacia do rio Sepotuba e afluentes (Maracanã, Sapo, Formoso, Juba e Jubinha)

O rio Sepotuba tem importante transporte de substâncias dissolvidas, assim como seus principais tributários, os rios Maracanã, Sapo, Formoso e Juba no contexto da bacia do rio Sepotuba (Figura 34 e Figura 34). Maracanã e Sapo são rios com pequena contribuição ao

Sepotuba, devido às pequenas vazões (Figura 22) e reduzido transporte de sedimentos, tanto em suspensão (<13,0 ton./dia) como do leito (< 0,6 ton./dia), e de nutrientes (<7,0 kg/dia para PT e <225,7 kg/dia para NT) e solutos dissolvidos em suspensão (< 4,0 ton./dia). Estão entre os rios com menor transporte em suspensão e leito dentre os rios estudados na RH do Paraguai (Figura 36, 38, 40 e 42).

No rio Maracanã está em operação a PCH Maracanã e há previsão de dois novos empreendimentos, sendo um em seu curso e outro no afluente. Neste estudo não foram analisados os efeitos da PCH Maracanã sobre o transporte de solutos e nutrientes por ausência de dados. A previsão é de que estes dois empreendimentos irão reter isoladamente 41 a 48 % (0,5 a 5,8 ton./dia) dos sedimentos em suspensão (Figura). Para NT e PT haverá liberação, com taxas em torno de 20% para NT e 10% para PT ou cargas menores que 71 kg/dia (Figuras 67 e 68). Considerando a pequena contribuição do rio Maracanã no transporte de cargas, seus efeitos poderão ser mitigados com projetos de viabilizem o transporte de sedimentos para jusante.

Na foz do rio do Sapo está em operação a PCH Rio do Sapo, com previsão de outras cinco, sendo uma na cabeceira, uma no encontro com o córrego Água Limpa e três no trecho final, à jusante, próximas à PCH em operação. Considerando a instalação desta PCH no exutório deste rio e suas baixas cargas de sedimentos e nutrientes transportadas a jusante (Figura 24, 27, 29, 31, 32 e 34) a previsão é de que a instalação de novos empreendimentos a montante terá pouca influência no aporte de sedimentos e nutrientes para o rio Sepotuba, pois serão amortizados pela PCH Rio do Sapo.

A contribuição do rio Formoso para o Sepotuba em termos de carga de sedimentos e nutrientes é expressiva, sendo que este é um dos principais tributários do rio Sepotuba. O Formoso é um rio com maior importância no transporte de leito (Figuras de 36, 38, 40 e 42) de sedimentos (7,9 ton./dia), fósforo total (1,6 kg/dia), nitrogênio total (2,8 kg/dia) e carbono total (1.450,4 kg/dia), sendo estas cargas maiores que as registradas no próprio Sepotuba a montante da sua confluência, embora o transporte em suspensão tenha sido baixo, com predominância de solutos dissolvidos.

O rio Formoso não tem barramentos, no entanto, estão previstas três EHs nos trechos médio e inferior. A previsão é de que estes empreendimentos retenham cada um, entre 46 e 53% (carga entre 0,7 a 28,1 ton./dia) dos sedimentos em suspensão (Figura 66) e liberem aproximadamente 35% do NT e 22% do PT em cada PCH, com cargas de 151 a 215 kg/dia para o NT e de 3 a 5 kg/dia para PT (Figura 67 e 68).

Os rios Juba e Jubinha se unem e formam o rio Juba, que somado ao rio Formoso, representam boa parte da vazão líquida do rio Sepotuba (Figura 22). O rio Juba tem águas ácidas, com baixa condutividade elétrica e baixo transporte de sedimentos, nutrientes e solutos dissolvidos (Figura 24, 27, 29, 31, 32 e 34). Diferente do Formoso, no rio Juba estão em operação quatro EHs (Juba I, Juba II, Graça Brennand e Pampeana). No balanço da cascata de reservatórios do rio Juba houve retenção de 18% (9,8 ton./dia) do sedimento transportado em suspensão e de 99% do sedimento do leito (0,5 ton./dia). Por outro lado, observou-se aumentos em 12,4% (118 kg/dia) do NT, em 1% (2,0 kg/dia) para PT e 38,6% (5,8 ton./dia) dos solutos dissolvidos a jusante em relação a montante. No transporte de leito, há tendência a retenção de sedimentos, COP e PT, e aumento de NT (Figuras 36, 38, 40 e 42).

Além desses quatro EHs em operação no rio Juba estão previstos outros quatro, sendo somente um deles a jusante da cascata (Figura 2). Os EHs previstos nos rios Juba e Jubinha, a

montante da UHE Juba I, irão reter até 33% (< 9,0 ton./dia) dos sedimentos e os EHs de jusante irão liberar 25% (< 18kg/dia) (Figura 67), o que pode anular o efeito. Para NT a previsão é de liberação entre 30 e 60% (76 e 1292 kg/dia) e para o PT entre 41 e 50% (1,5 e 10,7 kg/dia) para todos os EHs previstos (Figuras 67 e 68). Apesar dos efeitos isolados dos empreendimentos previstos serem altos, a previsão do efeito acumulativo em cascata será pouco expressiva para aqueles que forem instalados a montante dos empreendimentos em operação, no caso dos rios Sapo e Juba.

O rio Sepotuba é um rio de águas limpas, turbidez menor que 10 NTU e condutividade elétrica com mediana abaixo de 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Predomina neste rio o transporte de substâncias dissolvidas, principalmente solutos (SD) e nitrogênio dissolvido, e nitrogênio total. O transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Sepotuba, considerando as três estações de amostragem no trecho médio e inferior e nos tributários, é bastante reduzido, assim como o transporte de COP e PT. O transporte de leito no rio Sepotuba também é baixo (Figura).

O curso principal do rio Sepotuba não possui EHs em operação, mas estão previstos quatro empreendimentos em seu trecho médio, entre a foz do rio do Sapo e a foz do rio Formoso. A previsão do efeito isolado destes empreendimentos é de retenção de até 53% (<30,6 ton./dia) dos sedimentos transportados, 11 a 17% (348a 527 kg/dia) de NT e até 26% (<23,9 kg/dia) de PT em suspensão para cada reservatório (s 66, 67 e 68). Essas taxas indicam alta alteração no transporte do rio Sepotuba a jusante das PCHs previstas. A taxa de retenção no leito também será alta.

No exutório do rio Sepotuba, considerando todos os EHs previstos no rio Sepotuba e nos tributários, a previsão é de alta alteração no transporte de sedimentos e nutrientes. A jusante do rio Juba a retenção de sedimentos prevista será de 35%. Por outro lado, no exutório do rio Sepotuba haverá liberação de NT e PT, com taxas de 45% e 29%, também alta alteração (Figuras 66, 67 e 68).

Sendo assim, se considerou que as PCHs do rio Sepotuba têm alto potencial de causar alteração, principalmente no transporte de carbono, nutrientes e solutos dissolvidos, que poderá chegar ao Pantanal (Figura 69). Alta alteração no transporte de nutrientes poderá alterar a dinâmica de nutrientes, porque a retenção ou liberação não ocorre de forma igual para fósforo e nitrogênio.

Sub-bacia dos rios Cabaçal e Caramujo (ou Vermelho)

Localizado entre os rios Sepotuba e Jauru, o rio Cabaçal tem vazão menor, porém a carga transportada de sedimentos, carbono, nutrientes e solutos dissolvidos é semelhante a estes dois rios, indicando que suas águas são um pouco mais concentradas, principalmente em solutos dissolvidos, como corroborado pela mediana de condutividade elétrica de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 22, 23, 24, 27, 29, 31, 32 e 34). O transporte de leito para sedimentos, nutrientes e carbono no rio Cabaçal e no rio Caramujo é semelhante ao do rio Jauru a montante da cascata de reservatórios (Figura 25, 28, 30 e 33).

O rio Cabaçal é um rio livre de barramento com previsão de seis empreendimentos, sendo quatro na parte alta do rio e dois na porção média alta. Caso sejam instalados estes reservatórios haverá retenção de 23% (em torno de 2.000 ton./ano) de sedimento transportado em cada PCH prevista e de até 6% de NT e PT (em torno de 6 a 8 ton./ano) (Figuras 66, 67 e 68). No seu afluente, rio Caramujo, estão previstos cinco empreendimentos na parte mais alta do

rio. Cada PCH reterá de 9 a 42% da carga de sedimento transportada (229 a 1.214 ton./dia), com liberação de no máximo 10% de nutrientes a jusante. As alterações serão altas para sedimento e baixa para nutrientes, considerando que alterações abaixo de 20% estão dentro das flutuações naturais do ambiente. No exutório do rio Cabaçal, considerando o rio Caramujo, haverá retenção de 22% dos sedimentos em suspensão e do 55% do fósforo transportados, o NT praticamente não sofrerá modificação no rio Cabaçal.

Assim como o rio Sepotuba, o rio Cabaçal tem contribuição direta ao rio Paraguai e, devido à proximidade dos locais com EHs em relação ao Paraguai, são rios com maior potencial de causar alterações que venham a afetar o rio Paraguai. Desta forma, se considerou que esses rios devem ficar livres de barramentos principalmente no seu trecho médio e baixo (Figura 69).

Sub-bacia do rio Jauru (rio Jauru e Vermelho)

O rio Jauru tem seis barramentos ao longo de seu leito, na sua porção média alta, e mais quatro barramentos previstos a montante destes seis (Figura 2). Para caracterizar o transporte no rio Jauru, foram considerados dois trechos: a montante dos barramentos (QMLT 43,3 m³/s) e a jusante do último barramento (QMLT 71,6 m³/s), além de seu afluente, o rio Vermelho (QMLT 8,6 m³/s), que tem suas águas fluindo para o reservatório da PCH Figueirópolis.

A condutividade elétrica do rio Jauru oscila entre 3 e 14 µS/cm, a montante da primeira PCH, e chega a 60 µS/cm próximo à foz com o rio Paraguai, suas águas são claras com turbidez menor que 25 NTU. O transporte de sedimentos em suspensão e do leito no rio Jauru é baixo, assim como COP, nutrientes e SD, comparando com os rios Sepotuba e Cabaçal, também afluentes da margem direita do rio Paraguai (Figuras 24 a 34).

No rio Jauru não se observou um padrão definido de retenção ou liberação a jusante de cada reservatório estudado (Tabela 12). Houve retenção de sedimento em suspensão nas PCHs Antônio Brennand, UHE Jauru e Ombreiras (entre 11 e 37%), e liberação a jusante da PCH Figueirópolis (18%) (Figura 35). Somando-se as cargas retidas nos reservatórios a montante deste, os resultados chegam a 39 ton./dia, superior às 20 ton./dia que foram liberados a jusante de Figueirópolis.

Também foi observada redução de até 24% do COP nas PCHs Indiavaí+Salto (715,2 kg/dia), Figueirópolis (385,4kg/dia) e Antônio Brennand (269,9kg/dia) (Figura 37). Considerando o efeito da cascata, com a entrada a montante da PCH Antônio Brennand e a saída a jusante da PCH Figueirópolis, também ficam retidos 24% do COP em suspensão (717 kg/dia). O fósforo total mostrou tendência a aumentar a jusante, só ficou retido no reservatório da PCH Ombreiras; já o NT foi retido nos reservatórios das PCHs Figueirópolis e Ombreiras (Figuras 39 e 41). Na cascata (montante de Antônio Brennand e jusante de Figueirópolis) houve liberação de 37% do NT e 46% do fósforo total, podendo ser considerada como alta alteração, bem como de 60% dos solutos dissolvidos.

Para os três novos reservatórios previstos na cabeceira do rio Jauru, a previsão é de que haverá, predominantemente, liberação de sedimento, NT e PT, com taxas de liberação de 13% de QSS, 58% de NT, 50% de PT, exceto em um dos reservatórios que poderá reter 26% da carga de sedimento transportado (Figuras 66, 67 e 68). Porém, estes novos reservatórios, uma vez construídos, terão seus efeitos assimilados pelos reservatórios da cascata a jusante (Figura 69).

O rio Vermelho, afluente da margem esquerda do rio Jauru, tem sua foz no reservatório da PCH Figueirópolis, com contribuição importante no transporte de leito, porém a diluição reduz sua influência sobre o rio Jauru, tanto em carga de sedimento quanto de nutrientes. A instalação de reservatórios neste rio poderá reter parte do sedimento (35%) e do fósforo (40%), o que não afetará o transporte no rio Jauru.

Analizando toda a região do Alto Paraguai com os EHs em operação e previstos, nos exutórios dos rios Sepotuba, Cabaçal e Jauru a estimativa é de que haverá retenção de 1.325 a 25.608 ton./ano de sedimento, o que corresponde a uma redução entre 7 e 32% do sedimento que flui em direção ao rio Paraguai, considerada como uma alteração alta, acima de 20% (Figura 69).

Região do rio Cuiabá

Sub-bacia do rio Cuiabá e afluentes (Aricá, Mestre, Caeté)

O rio Cuiabá se destaca pelo maior volume de água no seu trecho médio, logo as cargas tendem a ser mais altas, porém, com baixa concentração de sedimentos (47 mg/L) (Figura 22). O rio Cuiabá pode ser comparado ao rio Taquari quanto ao volume de água, mas o transporte de sedimentos e COP é menor, porém, o transporte de PT e ND são os maiores da RHP (Figuras 24, 27, 29, 31, 32 e 34). O transporte de sedimento do leito foi reduzido no rio Cuiabá, uma vez que o máximo de 4 ton./dia foi medido na estação de Rosário do Oeste, sendo que nos tributários a carga foi menor ainda (Figura 25). Não foi analisado o transporte de PT, NOT e COT no sedimento do leito.

Entre os tributários do rio Cuiabá, está o Aricá, com pequena vazão e baixas concentrações de sedimentos e nutrientes, que contribuem pouco com o rio Cuiabá. Os córregos Mestres e Caeté, que são córregos com vazão menor do que o rio Aricá, contribuem menos ainda ao rio Cuiabá (Figuras 24, 27, 29, 31, 32 e 34). A importância destes rios localmente certamente é maior do que no contexto da bacia do Cuiabá ou da RHP.

Na bacia do rio Cuiabá está em operação a usina com o maior reservatório de geração de energia da RHP (450 km²), o Aproveitamento Múltiplo-APM de Manso, instalada no rio Manso. No rio Cuiabá não há barramentos, mas estão em processo de licenciamento seis PCHs no trecho a jusante do rio Manso e a montante da cidade de Cuiabá.

A previsão do efeito isolado destes empreendimentos pela modelagem de rede neural é de retenção de 26 a 35% (105.280 a 156.608 ton./dia) dos sedimentos transportados, 8 a 18% (171 a 408 kg/dia) do nitrogênio total e 55% (89 a 565 kg/dia) do fósforo total (Figuras 66, 67 e 68). O conjunto das seis PCHs resultaria em retenção de 88% da carga de sedimento, 31% da carga de nitrogênio e 25% da carga de fósforo transportada pelo rio Cuiabá, desde a montante da primeira PCH prevista até a jusante da última, que estará localizada a montante das cidades de Cuiabá e Várzea Grande.

Considerando que o sedimento de leito foi retido em taxas superiores a 20% na maioria dos EHs em operação estudados, é esperado que para o rio Cuiabá pelo menos 20% do sedimento transportado pelo leito também fique retido, bem como 25% e 31% do PT e do NT transportados por este rio.

Considerando que alterações em torno de 20% estariam dentro do natural do ambiente, as seis PCHs previstas no leito principal teriam potencial de causar desequilíbrio na dinâmica de

sedimentos e nutrientes do rio Cuiabá, que poderia se estender ao Pantanal, sendo assim teria alto potencial de causar alteração no Pantanal (Figura 69).

Rio Aricá

O rio Aricá tem pequena contribuição ao rio Cuiabá, com vazão média de 5,5 m³/s (QMLT), e baixas concentrações de sedimento, nutrientes e carbono, que refletem em cargas reduzidas (Figuras 22, 24, 27, 29 e 31). No rio Aricá está instalada a PCH São Tadeu I, cujas cargas retidas ou liberadas foram baixas (< 15%), com pequena variação da carga transportada entre montante e jusante do reservatório (Tabela 12).

Nos rios Aricá e Aricá-Mirim têm duas PCHs previstas na cabeceira, a montante da PCH São Tadeu I em operação. As taxas de alteração causadas pelo reservatório da PCH São Tadeu não passam de 19%, com tendência à retenção, embora com cargas pequenas, principalmente de sedimentos, COP e PT (Figuras 35, 37, 39, 41, 43 e 44). A adição de mais duas PCHs tende a aumentar a retenção de sedimentos e fósforo, mas a alteração no transporte de NT será mínima, com efeitos apenas locais, sem alcance para o Pantanal (Figura 69). Para os córregos Mestre, Rancho Queimado e Caeté não há dados suficientes para avaliar a previsão da taxa de variação.

Região do rio São Lourenço

Sub-bacia do rio São Lourenço (afluentes Poxoréu, Tenente Amaral, Prata, Ibó, Vermelho/Ponte de Pedra)

Os rios Sepotuba, Cabaçal, Jauru, Cuiabá, Taquari e Miranda são afluentes diretos do rio Paraguai, com contribuição em sedimentos, nutrientes, solutos dissolvidos e outras substâncias. Já o rio São Lourenço se junta ao Piquiri, que recebe água do Itiquira e Correntes, e depois ao Cuiabá, já na planície de inundação. Ao adentrar no Pantanal, os rios São Lourenço e Piquiri se abrem num grande leque aluvial (ASSINE; SOARES, 2004; ZANI et al., 2009) onde sedimentos e nutrientes são depositados, chegando em menor quantidade ao rio Cuiabá, e este perde quase metade dos sedimentos entre Porto Cercado e a foz no rio Paraguai (OLIVEIRA et al., 2019).

O rio São Lourenço pode ser comparável aos rios Itiquira e Correntes quanto a QMLT média, em torno de 70 m³/s (Figura 22), porém, transporta maior carga de sedimentos (~300 ton./dia), nutrientes e solutos dissolvidos (Figuras 24, 27, 29, 31, 32 e 34). Cargas ainda mais elevadas (~3 x maior) de sedimentos e nutrientes foram medidas em anos anteriores por OLIVEIRA et al. (2019) no rio São Lourenço, na cidade de São Pedro da Cipa, a montante da PCH São Lourenço. O transporte de sedimentos do leito também é alto, comparável ao do rio Taquari e tributários (Figura 25).

No rio São Lourenço, desde 2009, está em operação a PCH São Lourenço, com potência instalada de 29MW e reservatório com área de 2,9 km², considerado grande para uma PCH que tem sua área limite de 3 km². A PCH São Lourenço se destacou pelas maiores cargas de sedimento, carbono e nutrientes retidas em seu reservatório comparado aos outros 16 reservatórios analisados (Figuras de 35, 37, 39 e 41).

Em torno de 62,5% da carga de sedimentos transportada pelo rio São Lourenço são retidos no reservatório, com mediana de 156,2 ton./dia, que também retém a maior carga de COP, com mediana de 1.461kg/dia (Figura 35 e Figura 37). Também ficam retidos PT, NT, ND no reservatório. Somente solutos dissolvidos (SD) aumentaram a jusante da PCH São Lourenço, mas a taxa de liberação é baixa, de 8,8%, com 4,8 kg/dia (Figura 44).

A redução do pH, turbidez (54%), sólidos suspensos (88%), ferro total (55%), turbidez, oxigênio dissolvido e DQO, principalmente nos períodos de maior tempo de residência, também foi observada por CRUZ (2018) na PCH São Lourenço. No presente estudo foram registradas as maiores taxas de retenção de sedimentos transportado no leito do rio a jusante do reservatório, com mediana de 99,9%, carga de 7,4 ton./dia, mas as cargas PT do leito NT e CT são baixas (Figuras 38, 40 e 42).

PCHs como a São Lourenço estão previstas no rio Taquari, e em seus tributários, e no rio Cuiabá. São rios com características semelhantes em volume de água, transporte de sedimentos e nutrientes, podendo as alterações observadas na PCH São Lourenço ocorrer nos novos reservatórios, e serem até maiores na bacia do rio Taquari, onde o transporte é maior.

Rios Tenente Amaral, Prata e Ibó (tributários da margem direita)

O rio Tenente Amaral deságua a montante do reservatório da PCH São Lourenço, o rio da Prata tem sua foz no reservatório e os rios Ibó e Beleza a jusante do reservatório. São tributários da margem direita, com pequena vazão, menor do que 10 m³/s (QMLT), de águas claras, turbidez menor que 5 NTU, baixa condutividade, em torno de 5 a 10 µS/cm, transporte de sedimento, tanto em suspensão como do leito, muito próximo do não detectável e, nutrientes e solutos dissolvidos entre os menores valores da RHP, exceto no Tenente Amaral, que é um pouco mais elevado (Figuras 24 a 34).

No transporte de leito, destaque para o rio Prata, que contribuiu com até um terço do que transporta o rio São Lourenço (Figuras 25, 28, 30 e 33). De maneira geral, são rios que parecem pouco significativos ao rio São Lourenço, o qual já tem carga de N e P bem maior do que dos tributários a montante do rio Tenente Amaral, sendo que possivelmente atuam como diluidores de suas águas.

Na bacia do rio São Lourenço, além da PCH São Lourenço, existem outras seis em operação, sendo quatro delas na bacia do Tenente Amaral (Figura 2). CRUZ (2018) estudou detalhadamente o complexo de PCHs do rio Tenente Amaral e a PCH São Lourenço e constatou diminuição de 29% na turbidez da água, aumento de nitrogênio Kjeldhal (12%) e fósforo total (42%) a jusante e, diminuição dos sólidos suspensos em 41% e do ferro total em 16%, embora não significativos.

Apesar destas alterações, a autora observou que as PCHs do Complexo Tenente Amaral não influenciaram de forma detectável a qualidade da água do rio Tenente Amaral, devido a pequena área e profundidade dos reservatórios, curto tempo de residência, sucessão de desníveis naturais que promovem intensa oxigenação e baixa disponibilidade natural de íons e nutrientes na água.

Com mais 5 PCHs (duas a montante das existentes no Córrego Saia Branca e mais duas no rio Tenente Amaral, e outra a jusante, à 8km da foz, PCH Mangaba) a previsão de alteração no rio Tenente Amaral a jusante das PCHs em operação ainda é pequena, exceto na PCH Mangaba, que fica no trecho médio do rio Tenente Amaral. Nesta PCH a previsão indica que a carga de NT será retida em 27% (576 kg/dia) e haverá também aumento de 72% da carga de PT, liberando 39 kg/dia (Figuras 66, 67 e 68).

Apesar de não ter potencial de alterar o transporte de sedimentos e nutrientes, existem vários relatos de reduções abruptas da vazão do rio Tenente Amaral resultante da operação das

usinas, prejudicando a geração de energia na PCH Cachoeira da Fumaça e as atividades de contemplação e *rafting* realizadas por operadoras de turismo no mesmo rio, conforme registrado por CRUZ (2018). As mudanças bruscas na vazão também podem ser acompanhadas de alterações na qualidade da água, como observado no monitoramento de alta frequência do ribeirão Ponte de Pedra, descrito no item 5.4 do presente estudo.

No rio Prata está em operação a PCH Água Prata, mais uma em construção e mais duas previstas (Figura 2). Na avaliação das alterações na qualidade da água provocadas pelo barramento da PCH Água Prata, há pequena liberação de sedimentos (< 10%), porém, quase todo o sedimento de leito transportado fica retido em seu reservatório (1,5 ton./dia). Também ficam retidos 43,1% do COP (ou 32kg/dia), 17,8% do NT em suspensão (ou 28,9 kg/dia) e 89% do NT transportado no leito, que corresponde a 0,3 kg/dia (Figuras 35, 37 e 39).

O tributário da margem direita do rio São Lourenço, o córrego Beleza, que fica entre o rio Prata e o rio Ibó, não foi amostrado neste estudo, mas estima-se que suas águas tenham características similares aos outros tributários da margem direita. Este córrego ainda é um tributário livre de barramentos, mas está prevista a PCH Beleza.

No rio Ibó, está em operação a PCH Sete Quedas Altas. Dentre as alterações observadas a jusante desta PCH, está a redução de 80,3% do carbono transportado no leito a jusante, sendo a carga retida de 61 ton./dia. Os solutos dissolvidos (SD) transportados em suspensão também foram reduzidos a jusante em aproximadamente 21,6%, com redução da carga transportada em 0,7 ton./dia (Figuras 35, 37 e 39). No rio Ibó está prevista mais uma PCH a montante da PCH Sete Quedas Altas. A PCH Sete Quedas Altas está entre as que se observou evolução do processo de assoreamento (Figura 49).

Na previsão individualizada do efeito de cada nova PCH no transporte em suspensão do rio da Prata, estima-se que, em média, as taxas serão de 25 a 80%, porém, como as cargas transportadas são pequenas, as cargas retidas ou liberadas também serão pequenas, mas não menos importantes que rios com transporte maior (Figuras 35, 37 e 39).

Como a PCH São Lourenço já altera o transporte de sedimentos e nutrientes que vai para o Pantanal, os efeitos dos EHs em tributários a montante do barramento serão incorporados ao reservatório e aos efeitos que esta causa, portanto seus efeitos individuais não serão observados no Pantanal, mas somados aos da PCH São Lourenço (Figura 69).

Na sua análise geral, CRUZ (2018) observou melhor razão no custo-benefício das PCHs com canal de desvio e em pequenos tributários, em relação à PCHs com reservatório típico no canal principal, como da PCH São Lourenço, e considerou que o complexo de PCHs do rio Tenente Amaral foi mais eficiente na geração de energia elétrica, com menor alteração na qualidade da água quando comparadas à do São Lourenço.

A partir dos estudos de CRUZ (2018) e dos resultados deste estudo, no qual se observou altas taxas de retenção no reservatório da PCH São Lourenço, pode-se inferir que a construção do reservatório da PCH São Lourenço poderia ter sido evitada, ou que pelo menos, se evite construir reservatórios com características semelhantes na RH Paraguai.

Ribeirão Ponte de Pedra, afluente do rio Vermelho

O Rib. Ponte de Pedra é afluente do rio Vermelho, principal tributário do rio São Lourenço na margem esquerda (Figura 1). A vazão do ribeirão Ponte de Pedra é de quase um terço da água do rio Vermelho, sendo sua contribuição ao Vermelho importante mais como um diluidor, já que as cargas de sedimentos e nutrientes deste ribeirão são em torno de cinco vezes menores do que as cargas do rio Vermelho, que chegam a ser mais altas do que no rio São Lourenço.

Os estudos de Oliveira (2016) nas duas PCHs em operação neste ribeirão, PCH Eng. José Gelázio da Rocha e Rondonópolis, indicaram aumento de 18% nas concentrações de fósforo total e redução de 48% nos sólidos totais. No presente estudo a principal mudança na carga a jusante dos reservatórios destas PCHs foi a retenção de COP, e também tendência à retenção, principalmente de PT e ND, a jusante da PCH Rondonópolis (Figuras 37, 39 e 43). O transporte de leito foi analisado somente na PCH Eng. José Gelásio da Rocha, com retenção 96% da carga de sedimento no reservatório e liberação de 77% (322 ton./dia) do carbono total do leito a jusante (Figura 36 e 38).

No monitoramento de alta frequência (item 5.4), em condições normais de operação, observou-se que o reservatório da PCH Eng. José Gelázio da Rocha possui ligeira capacidade de retenção de matéria orgânica (DQO e NO₃) e partículas, corroborado pela análise da taxa de variação descrita acima, a qual indicou retenção de ND, PT e COP em suspensão, embora parte do COP seja liberado no transporte de leito.

Variações foram observadas na amplitude total da maioria das variáveis medidas nos pontos a jusante das duas PCHs (A2, A3), sendo aumentada fortemente devido a manobras de operação de ambas, com alterações expressivas na relação entre as vazões turbinadas e vertidas (condições “atípicas”) (Figura 65). Destacam-se as concentrações de NO₃, que em condições típicas (incluindo eventos de forte precipitação) são sempre menores do que 0,7 mg/L, mas atingiram concentração máxima durante o período monitorado de 9,6 mg/L.

A previsão de alteração provocada pela nova PCH, João Basso, mostra que haverá aumento principalmente no transporte de NT e PT, com taxas acima de 40% (Figuras 67 e 68). Mesmo assim, se considerou-se que a jusante da PCH João Basso o potencial de alteração do Pantanal seria médio devido a distância do Pantanal, e porque a contribuição do Ribeirão Ponte de Pedra para os rios Vermelho e São Lourenço é pequena, sendo suas alterações amortecidas por esses rios (Figura 69).

Região do Piquiri

Sub-bacia do rio Itiquira

Com vazão em torno de 50-60 m³/s, o rio Itiquira tem transporte mediano de sedimentos em suspensão menor do que 500 ton./dia, com destaque para o COP, semelhante ao do rio São Lourenço, que possui maior vazão. O transporte de NT e PT também é de mediano a baixo, assim como o ND e SD (Figuras 24, 27, 29, 31, 32 e 34). O transporte de leito é expressivo no rio Itiquira, comparável ao São Lourenço e tributários do rio Taquari, bacias com maior transporte de sedimentos (Figuras 25, 28, 30 e 33).

A jusante do reservatório da UHE Itiquira, o transporte de sedimentos em suspensão foi reduzido em 20%, o que representa 31,8 ton./dia (Figura 35). O reservatório da UHE Itiquira

também retém PT (6%, carga de 6,5 kg/dia), e 10,7% ou 262 kg/dia do NT transportado pelo rio Itiquira, mas não há retenção de COP (Figuras 37, 39 e 41).

O transporte de sedimento do leito a jusante do rio Itiquira aumenta em 31%, com um transporte a jusante de 8,84 ton./dia, possivelmente porque o sedimento ocupa todo o volume útil do reservatório, que deixou de reter sedimento para mobilizar o sedimento acumulado para jusante. A evolução do assoreamento na UHE Itiquira é apresentada na Figura 46.

A PCH Itiquira III faz parte do sistema Itiquira, porém pela previsão haverá retenção de sedimentos em 35%, com carga de 52.388 ton./ano e liberação de NT e PT de 44 e 15%, respectivamente, com carga alta de NT, 664.513 ton./ano e de PT de 9.835 ton./ano (Figuras 66, 67 e 68).

A análise do transporte de sedimentos no leito na UHE Itiquira mostrou que o fluxo foi reestabelecido quando se comparado a montante, indicando que devido o avançado estágio de assoreamento, a barragem perdeu sua capacidade de retenção passando a mobilizar os sedimentos anteriormente retidos, provavelmente devido a operação frequente do descarregador de fundo.

Assim como o rio Taquari, o rio Itiquira possuiu grande importância para a geomorfologia fluvial, devido a sua contribuição no transporte de sedimentos para o Pantanal, principalmente pelo leito, que é o responsável pela manutenção da forma do canal. Desta forma, com base no exemplo da UHE Itiquira, a construção de empreendimentos na bacia do rio Taquari terá alto potencial de alteração do transporte de sedimentos devido a magnitude do aporte. Mesmo na hipótese da previsão de estruturas para a retirada de sedimentos, a operação deste, poderá gerar pulsos de curta duração com altas cargas de sedimentos para jusante.

Sub-bacia do rio Correntes

O rio Correntes tem vazão mediana entre 60 e 90 m³/s (Figura 22), volume um pouco maior que do rio Itiquira, mas suas concentrações são baixas, por isso as cargas de sedimento, nutrientes, COP e solutos dissolvidos são menores do que no Itiquira (Figuras 24, 27, 29, 31, 32, e 34). No rio Correntes não foram coletados dados primários, por isso não foi analisado o transporte de leito.

Nesse rio está em operação desde 2005 a UHE Ponte de Pedra, sendo que em seu trecho de vazão reduzida estão em operação as PCHs Aquarius I e II, e a montante a PCH Santa Gabriela. Estudos de FANTIN-CRUZ (2016) para avaliar mudanças na qualidade da água mostraram diminuição da turbidez (38%), fósforo total (28%) e nitrato (-14%) a jusante do reservatório da UHE Ponte de Pedra.

Na sub-bacia do rio Correntes tem mais duas PCHs previstas a montante da UHE Ponte de Pedra (Santa Paula e Água Enterrada) e quatro CGHs previstas no córrego São Domingos. No Córrego Benjamim, também afluente do rio Correntes, que deságua no reservatório da UHE Ponte de Pedra, estão previstas duas PCHs.

Segundo os resultados do modelo de previsão, no rio Correntes, a montante do reservatório de Ponte de Pedra, haverá redução da carga de QSS transportada em até 85% (até 28.312 ton/ano) em cada PCH (Figura 66). No balanço geral, incluindo a UHE Ponte de Pedra, a retenção de QSS reduz para 67% ou para uma carga de 18 mil ton./ano. Haverá retenção de NT

em torno de 17% e para o PT praticamente não haverá mudança (Figuras 67 e 68). Para o córrego São Domingos e Benjamim não foi possível analisar a taxa de variação devido a falta de dados.

Considera-se que a construção de mais duas usinas no rio Correntes não causaria novas alterações na qualidade de água e sedimentologia além daquelas já observadas no rio Correntes, decorrentes do reservatório da UHE Ponte de Pedra (Figura 69).

Região do Taquari

Sub-bacia do rio Taquari e afluentes

O transporte em suspensão e do leito do rio Taquari foi maior que nos outros rios, para todos os parâmetros analisados (Figuras 24 a 25). Entre seus tributários, no planalto, o de maior vazão é o rio Jauru-MS, com o dobro da vazão do rio Coxim, porém, o transporte de sedimentos é quase igual para os dois, tanto em suspensão quanto do leito. O rio Jauru transporta mais PT, NT e SD e o rio Coxim transporta mais carbono em suspensão e do leito.

Na bacia do rio Taquari estão em operação quatro PCHs e estão previstas outras 26 (Figura 2). As PCHs estão assim distribuídas: sete PCHs no rio Ariranha, sendo que duas (Girassol e Hortência) não serão construídas de acordo com RIMA do empreendimento, seis PCHs no rio Taquari, sendo 3 a montante do rio Ariranha e duas a jusante, cinco PCHs no rio Jauru, e dez PCHs no rio Coxim, nove a montante do rio Jauru e uma a jusante, no trecho final do rio Coxim.

A previsão feita pela modelagem de rede neural indica que, em média, cada PCH a ser instalada no rio Ariranha poderá reter em torno de 40% do QSS, 18% do NT e do PT transportados, se consideradas individualmente. Para o rio Taquari, os valores são parecidos, entre 28 e 51% do QSS, 19% do NT e 22% do PT ficarão retidos em cada uma das três PCHs analisadas. No rio Jauru foram analisadas somente três PCHs por não haver informações suficientes sobre os EHs. Neste rio também haverá retenção de QSS nas três PCHs previstas, com retenção de 28% do QSS, 47% do PT e liberação de 18% do NT. Por último, foram analisadas 10 PCHs no rio Coxim até a confluência com o rio Jauru, todas com previsão de retenção de QSS em 45%, de NT em 19% e de PT em 2%. A PCH Sucuri, após a confluência com o rio Jauru, terá retenção menor de QSS (25%), 19% para NT e 33 para PT (Figuras 66, 67 e 68).

Considerando a taxa de variação de todos os empreendimentos e que as PCHs são do tipo fio d'água, a previsão indica retenção, portanto diminuição de 51% da carga de QSS, 43% da carga de NT (considerando a liberação nas PCHs do rio Jauru) e 60% da carga de PT na entrada do rio Taquari para o Pantanal.

De maneira geral, serão retidos metade dos sedimentos transportados na bacia do rio Taquari, o que corresponde à taxas de retenção entre 9 e 138 mil ton./ano, inferior ao que fica retido na PCH São Lourenço, que é 533 mil ton./ano. No entanto, considerando que o rio Taquari transporta em torno de 900.000 ton./ano (medido neste estudo) na entrada para o Pantanal, esse valor ficaria próximo ao observado na PCH São Lourenço. A estimativa das cargas de NT retidas chega a 2.500 ton./ano, porém para algumas PCHs não haverá retenção, assim como para o fósforo total, que poderá não variar ou ser retido em até 84 ton./ano.

As PCHs com maior potencial de retenção de NT e PT são as previstas no rio Ariranha, porém com efeito mais local que para o Pantanal (Figura 69). As três últimas PCHs do Jauru tendem a liberar nitrogênio e reter fósforo e as PCHs do rio Coxim tendem a reter mais nitrogênio e menos fósforo (Figuras 67 e 68).

O que se observa é um comportamento diferente na retenção ou liberação dos dois nutrientes, que poderá ter seu equilíbrio modificado, ou seja, a razão N:P poderia mudar, com consequências a jusante difíceis de prever. Além disso, os reservatórios podem modificar a proporção de substâncias particuladas e dissolvidas, o que na modelagem atual não foi possível analisar por falta de um conjunto maior de dados das formas dissolvidas. Sendo assim, o potencial dos barramentos, principalmente aqueles nos trechos médio e inferior dos tributários, de alterar as cargas de sedimentos e nutrientes para o Pantanal foi considerado alto (Figura 69).

Sub-bacia do rio Negro

O rio Negro tem pequena contribuição para a bacia do rio Paraguai, com vazão média de 7,7 m³/s (QMLT) (Figura 22). Na bacia do rio Negro não tem PCHs em operação, mas estão previstas três EHs no leito do rio Negro, a montante da cidade de Rio Negro, e quatro PCHs, cada uma em um pequeno afluente da margem direita deste rio.

A previsão foi feita somente para o rio Negro, com retenção de 82% de QSS, embora com cargas pequenas, de 4.142 kg/dia. NT e PT também serão retidos, com taxas próximas de 19 e 7%, mas com cargas de 17 a 0,6 kg/dia de NT e em torno de 5kg/dia (Figuras 66, 67 e 68). Considerando as alterações nas cargas de sedimento e nutrientes, e a distância do local dos empreendimentos para o Pantanal, o potencial de alteração para o Pantanal foi considerado alto (Figura 69).

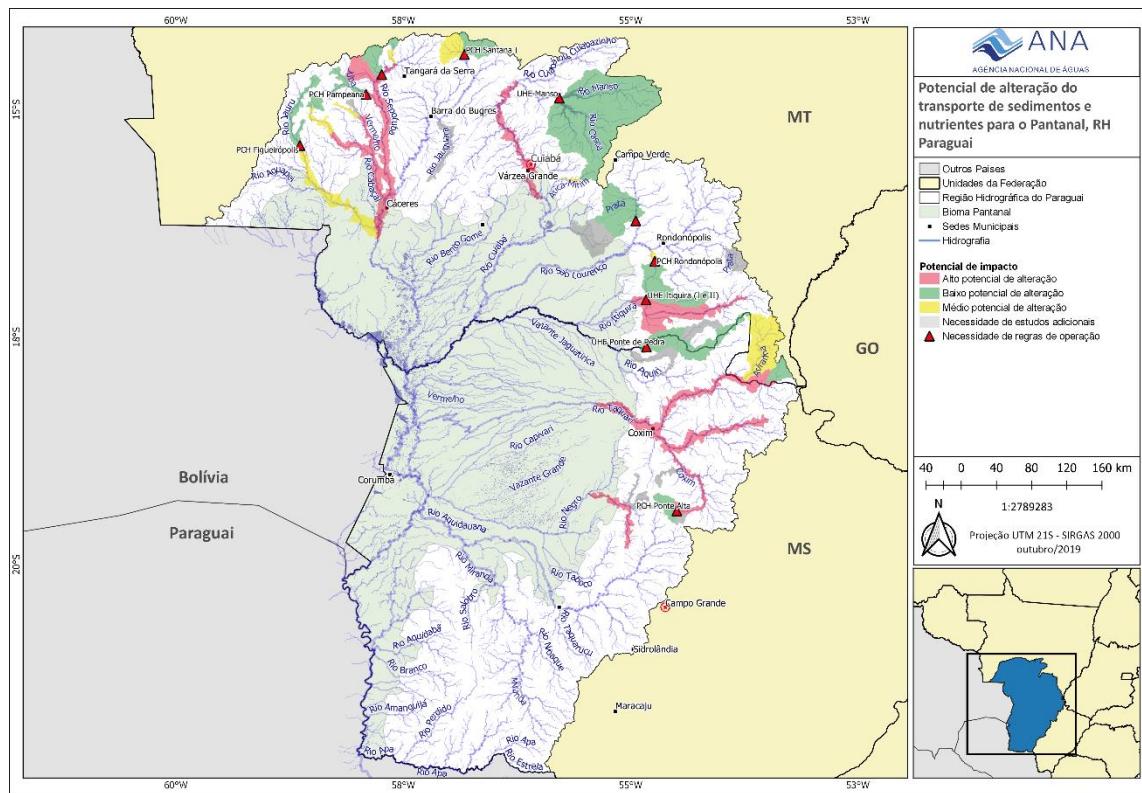


Figura 69. Potencial de alteração do transporte de substâncias entre o planalto e Pantanal devido a barramentos para geração de energia.

6. Considerações e recomendações

Em variados níveis de intensidade, praticamente todos os barramentos estudados retiveram sedimentos transportados tanto no leito como em suspensão. Este efeito foi quase sempre acompanhado pela retenção de fósforo total (PT) e carbono orgânico particulado (COP). A retenção de nitrogênio total (NT) no leito dos rios foi alta para a maioria dos barramentos. A liberação de sedimentos e nutrientes a partir de alguns barramentos também foi observada, podendo ser explicada pelas características dos reservatórios, tais como seu grau de assoreamento, dimensões e regras de operação.

Entre as sub-bacias com maior previsão de alteração no transporte de sedimento está a do rio Cuiabá, com uma retenção de 88% do sedimento em suspensão transportado. Considerando que o sedimento de leito está sendo retido em taxas superiores a 20% na maioria dos EHs em operação estudados, é esperado que para o rio Cuiabá pelo menos 20% do sedimento transportado pelo leito também fique retido, bem como 25% e 31% do PT e do NT transportados por este rio.

Para bacia do rio Taquari, a retenção prevista foi de 51% para sedimento em suspensão, 43% de NT e 60% do PT, ou seja, em torno da metade dos sedimentos e nutrientes ficariam retidos nos reservatórios previstos dos rios Taquari, Coxim e Jauru.

Os rios Cuiabá, Itiquira e Taquari apresentaram o maior transporte de sedimento, carbono orgânico, nitrogênio e fósforo de toda a RHP. Comparativamente, o rio Taquari transporta mais sedimentos, ao passo que o rio Cuiabá transporta mais nitrogênio e fósforo. É importante destacar a importância destes rios no nível regional, visto que eles atravessam o Pantanal, percorrendo longas distâncias no interior da planície e, portanto, contribuindo de forma significativa a geomorfologia e produtividade deste ecossistema.

A retenção de sedimentos e nutrientes nos rios Cuiabá e Taquari, somada às retenções medidas no rio São Lourenço, também deixarão as águas destes rios mais pobres em sedimentos nutrientes. Estes rios e os materiais por eles transportados do planalto para a planície têm papel fundamental para a saúde dos ecossistemas aquáticos da RHP, sobretudo o Pantanal.

Para o rio Itiquira, mesmo com um empreendimento em operação e um previsto, a característica de transporte de sedimentos se destaca pela magnitude do aporte para o Pantanal, desta forma a construção de reservatórios terá alto potencial de alterar a dinâmica hidrossedimentológica da bacia.

Além disso, a redução da oferta de nutrientes para jusante reduziria a produtividade dos ecossistemas aquáticos, com reflexos para o Pantanal, que possui rios predominantemente oligotróficos. Nos períodos de cheia, quando os ecossistemas terrestres e aquáticos se conectam na planície de inundação, estes nutrientes são fundamentais na produtividade pesqueira e das pastagens nativas, que formam base da produção animal no Pantanal.

Entre as consequências destas alterações na qualidade de água dos rios Cuiabá e Taquari e afluentes, também é esperada uma redução da turbidez, com potencial de prejudicar o ciclo reprodutivo dos peixes, uma vez que facilita a predação de ovos e larvas.

Do ponto de vista da qualidade de água e da hidrossedimentologia, é importante ressaltar que estas consequências podem comprometer a pesca nos rios da RHP, uma vez que os recursos pesqueiros dependem do equilíbrio dos ecossistemas aquáticos, tanto nos rios quanto nas áreas alagadas do Pantanal, visto a importância para a pesca de espécies de peixes cujos ciclos de vida dependem da migração entre a planície e o planalto.

Os potenciais prejuízos à pesca na RHP são de especial interesse para o presente estudo, uma vez que o que se busca aqui é subsidiar a tomada de decisão para a outorga de uso da água para a produção de energia hidrelétrica sem comprometer outros usos importantes para a região, como a pesca. A perda de conectividade hidrológica que prejudica a migração dos peixes é outro impacto importante para a pesca na RHP, porém este aspecto não será aqui abordado, sendo objeto de estudo de outras frentes de pesquisa que compõe do projeto juntamente com o presente estudo de qualidade de água e hidrossedimentologia.

Sob o aspecto da dinâmica de sedimentos, este sim, objeto do presente estudo, é adequado apontar a perda de habitats aquáticos ocasionados pelos barramentos e do consequente acúmulo de sedimentos como um impacto local importante para as comunidades de organismos aquáticos ao longo dos leitos dos rios afetados. O assoreamento decorrente dos barramentos diminui a disponibilidade de substratos estáveis no fundo dos trechos diretamente afetados e, portanto, a diversidade de habitats dos quais dependem os peixes e organismos bentônicos, com acentuadas mudanças das comunidades ecológicas aquáticas.

Este estudo verificou que os rios que mais transportam sedimentos e nutrientes pelo leito são os rios Taquari, e afluentes, e os rios Itiquira e São Lourenço. O rio Taquari e seus afluentes não possuem empreendimentos hidrelétricos. Já nos rios Itiquira e São Lourenço, com empreendimentos em operação, apresentam elevado grau de assoreamento em seus reservatórios em virtude da intensidade do transporte de materiais no leito.

O reservatório da PCH São Lourenço apresentou as maiores retenções estimadas no estudo, principalmente de leito, tanto para sedimento como para nutrientes. Este fenômeno não foi observado no reservatório da UHE Itiquira que se encontra em avançado estágio de assoreamento. Nos empreendimentos, a operação e uso de estruturas desenhadas para a liberação de sedimentos são utilizadas para atenuar os problemas decorrentes do acúmulo de materiais retidos nos reservatórios.

Porém, mesmo com a liberação de sedimentos, os pulsos intermitentes no fluxo de materiais causam perturbações na qualidade da água com potencial danoso para a manutenção da vida e a integridade dos ecossistemas aquáticos a jusante. Isto pode ser observado a partir do monitoramento de alta frequência no Ribeirão Ponte de Pedra a partir da liberação de altas concentrações de nitrato em manobras de operação, bem como das mudanças no oxigênio dissolvido e pH observadas imediatamente a jusante do barramento, que podem provocar mortandade de peixes. Ainda que essas flutuações no fluxo de constituintes não se propaguem até a planície, os efeitos locais não podem ser desconsiderados quanto seus impactos para a atividade pesqueira nos rios da RHP.

O fluxo de sedimentos e nutrientes, assim como suas taxas de alteração pelos barramentos, é influenciado não somente pelas cargas transportadas nos rios, mas também pelas características dos próprios empreendimentos. Por exemplo, a montante dos reservatórios dos rios São Lourenço e Itiquira, o transporte de sedimentos em suspensão nos rios são semelhantes, no entanto, a PCH São Lourenço retém praticamente todo o sedimento

transportado pelo leito do rio, enquanto a Itiquira libera 31% da carga do sedimento do leito devido ao avançado assoreamento tem mobilizado para jusante o sedimento retido ao longo do tempo.

Esta liberação do sedimento na PCH Itiquira pode estar relacionada ao fato de que, ao longo dos 17 anos de existência do reservatório, este material foi sendo depositado e ocupou todo o volume útil do reservatório. Parte deste sedimento acumulado passou então a ser mobilizado para jusante da barragem pelo acionamento do descarregador de fundo. O reservatório da PCH São Lourenço, apesar de apresentar acelerado assoreamento, atua de forma eficiente na retenção de sedimentos e nutrientes devido seu porte, 21 vezes maior que o do Itiquira.

A carga de sedimentos transportado pelo leito pode contribuir com até 23% (mediana) da descarga sólida total. Com base nos padrões observados em empreendimentos em operação, rios com contribuições superiores a 1% possuem alto potencial de causar assoreamento em curto período de tempo (< 5 anos), mesmo em reservatórios com descarregadores de fundo. Nos rios Negro, Jauru (MS), Prata, Coxim, Taquari, Ariranha, Formoso, Itiquira e Sepotuba o sedimento transportado pelo leito representa importantes contribuições (> 5%) para o fluxo total de sedimentos e, consequentemente, na manutenção das características geomorfológicas do canal fluvial nos padrões atual. Dada sua importância no processo de assoreamento e mecânica fluvial, recomenda-se a realização de medições diretas e contínuas do transporte de sedimentos do leito para os novos empreendimentos hidrelétricos.

A instalação de estruturas hidráulicas para a passagem de sedimentos, como descarregadores de fundo, é uma importante medida para mitigação do efeito da retenção de sedimentos, porém sua eficiência é comprovada apenas para reservatórios com tempo de retenção hidráulica menor do que 0,4 dias (KONDOLF et al., 2014). Em reservatórios com alto potencial de assoreamento, recomenda-se a elaboração de planos de manejo de sedimentos, que estabeleçam regras de operação de descarregadores de fundo, transposição de sedimentos ou dragagem de sedimentos acumulados no corpo do reservatório. Além de prolongar a vida útil dos empreendimentos, estas medidas também devem visar a mitigação dos impactos decorrentes da operação dos descarregadores e consequente liberação de altas cargas de sedimentos em pulsos de curta duração, reduzindo os impactos na qualidade de água a jusante das barragens.

As variações de curta duração nas vazões em escala subdiária (> 20% da vazão natural) provocadas pela operação dos empreendimentos acompanhados de pulsos com elevadas concentrações de nutrientes foram observados no monitoramento de alta frequência do Ribeirão Ponte de Pedra. A entrada de nutrientes pode ser ocasionada pela lavagem do canal de derivação e diretamente do material do leito quando os descarregadores de fundo acionados. Desta forma, a limitação ou impedimento das variações subdiárias podem mitigar os efeitos destes pulsos para jusante, principalmente no período de estiagem. Em empreendimentos em cascata, o controle seria aplicado apenas no empreendimento mais a jusante.

Os rios Sepotuba e Cabaçal apresentaram alta porcentagem de carbono no sedimento, indicando águas mais ricas em matéria orgânica. A contribuição do rio Sepotuba em substâncias dissolvidas é uma das mais importantes da RHP. Já o transporte de sedimentos nos rios Sepotuba e Cabaçal é menor do que em outros rios da RHP.

A previsão de retenção de sedimentos em suspensão foi de 22% no rio Cabaçal e de 53% no rio Sepotuba. No rio Cabaçal a retenção de PT será em torno de 50%. Já o transporte de NT praticamente não seria alterado. No rio Sepotuba a previsão é de retenção de 15% do NT e 17% do PT.

Embora o transporte de sedimentos nos rios Cabaçal e Sepotuba seja menor que nos outros rios de mesmo porte da RHP, como Itiquira e Correntes, o barramento desses rios, com mais de um reservatório em sequência, tende a provocar retenções de sedimentos, nitrogênio e fósforo no trecho médio desses rios.

O rio Formoso, afluente do rio Sepotuba, se destaca pelo transporte de carbono em suspensão e do leito, tanto na proporção de carbono no sedimento como na quantidade de carbono transportado. Na bacia do rio Sepotuba, o rio Juba também tem importante transporte de carbono. No Juba, porém, já existe uma cascata de reservatórios que causa uma pequena retenção do carbono em suspensão nos dois reservatórios mais a jusante, mas com alta alteração no transporte de leito. É importante destacar que os rios Sepotuba e Cabaçal tem contribuição direta ao rio Paraguai, e estão mais próximos do rio Paraguai, com maior potencial de causar alterações que alcancem a região norte do rio Paraguai.

E os barramentos de empreendimentos previstos nos rios menores, a montante de grandes reservatórios ou de cascatas, terão seus efeitos assimilados pelos reservatórios a jusante, não sendo adicionadas novas alterações além daquelas já observadas, em relação aos efeitos para o Pantanal, mas efeitos locais poderão ocorrer. Nestes casos se enquadram a montante dos EHs do rio Jauru, Juba, Sapo, Santana, Tenente Amaral, Saia Branca, Prata, Ibó e Correntes.

7. Referências

ALVARENGA, S.M.; BRASIL, A.E.; PINHEIRO, R.; KUX, H.J.H. Estudo geomorfológico aplicado à bacia do Alto Paraguai e Pantanais matogrossenses. **Bol. Téc. Projeto Radambrasil**. Série Geomorfologia, Salvador 187:89-183.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Medição de vazão pelo método acústico Doppler**. Apostila. 2019. Disponível em: <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/112>

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Hidrossedimentometria: amostradores e técnicas de amostragem de sedimentos em suspensão**. 2012. Apresentação. Acesso em: agosto de 2019. Disponível em: <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/1302>

ASCE. Artificial Neural Networks in Hydrology. I: Preliminary Concepts. **Journal Of hydrologic engineering**, 2000.

ASSINE, M.L. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, 70:357-371. 2005.

ASSINE, M.L.; SOARES P.C. Quaternary of the Pantanal, west-central Brazil. **Quaternary International**, 114:23-24. 2004.

AWWA-APHA-American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater** (SMEWW), 23. ed., 2017.

BARBEDO, A. G. A. *Estudo Hidrossedimentológico na Bacia do Alto Paraguai – Pantanal*. 2003. 107 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2003.

BEDNAREK, A. Environmental Management (2001) 27: 803.
<https://doi.org/10.1007/s002670010189>

CAMPOS, J. A; Modelagem Hidrossedimentológica em Escala Espacial e Temporal na Bacia do Alto Paraguai Utilizando Redes Neurais Artificiais. Dissertação de Mestrado. Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH/UFRGS. Porto Alegre – RS. 2019. Disponível em <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/194877/001094310.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>.

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

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599p.

CHISHOLM, I., AND L. AADLAND. 1994. Environmental impacts of river regulation. Minnesota Department of Natural Resources, St. Paul, Minnesota, 31 pp.

COONEY P.B.; KWAK T.J.; 2013. Spatial extent and dynamics of dam impacts on tropical island freshwater fish assemblages. *Bioscience* 63(3): 176–190.

CPRM – SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Treinamento em Análises Sedimentométricas**. 2017.

CRUZ, R. F. **Impactos de pequenas centrais hidrelétricas com diferentes arranjos na bacia do alto São Lourenço**. 2018. 151 f. Tese (Doutorado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT. 2018.

EMBRAPA. **Brazilian soil classification system**. 2018. Disponível em <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1094001/brazilian-soil-classification-system>>.

EMBRAPA. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai** – Porção Brasileira – Analysis period: 2012 to 2014. 2015. Disponível em: <https://www.sospantanal.org.br/wp-content/uploads/2017/06/Publicac%CC%A7a%CC%83o_BAP_Relato%CC%81rio_2012-2014_Web.pdf>.

FANTIN-CRUZ, I. et al. Historical reconstruction of floodplain inundation in the Pantanal (Brazil) using neural networks. **Journal of Hydrology**, 399(3-4): 376–384, 2011.

FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, G.; ZEILHOFER, PETER; HAMILTON, S.K. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. **Hydrobiologia**, v. 768, p. 223-238, 2015.

FIGUEIREDO, D.M.; DORES, E.F.G.C.; FANTIN-CRUZ, I.; FIGUEIREDO, S.B.; ZEILHOFER, P.; OLIVEIRA, M.D.; GOMES-SILVA, P.A.J.; CASONATTO, A.E. Histórico da qualidade da água dos principais rios em 22 anos de monitoramento. In: FIGUEIREDO, D.M.; DORES, E.F.G.C.; LIMA, Z. **Bacia do Rio Cuiabá - uma abordagem socioambiental**. Cuiabá: EdUFMT, 2018.130-193 p.

FREEMAN, J.A.; SKAPURA, D.M. **Neural Networks: Algorithms, Applications and Programming Techniques**. In: Addison-Wesley Publishing Company. California. v. 7p. 89– 124. 1991.

HALL C.J.; JORDAAN A.; FRISK M.G.; 2012. Centuries of anadromous forage fish loss: consequences for ecosystem connectivity and productivity. **BioScience** 62(8): 723–731.

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. **Limnol Oceanogr.**, 42:257–272. 1997.

HECHT-NIELSEN, R. Theory of the Backpropagation Neural Network. **Proceedings Of The International Joint Conference On Neural Networks**, 1: 593–605, 1989.

HORNIK, K.; STINCHCOMBE, M.; WHITE, H. Multilayer feedforward networks are universal approximators. **Neural Networks**, 2(5): 359–366, 1989.

IMASUL. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Monitoramento da qualidade das águas 2018-2019**. Disponível em: <http://wwwimasul.ms.gov.br/monitoramento-2018-2019/>. Acesso em: 02 de setembro de 2019.

IMASUL. Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul. **Monitoramento da qualidade das águas 2016-2017**. <http://wwwimasul.ms.gov.br/monitoramento-da-qualidade-da-agua-2016-2017/>. Acesso em: 05 de setembro de 2019.

JUNK, W. J., BROWN, M., CAMPBELL, I. C., FINLAYSON, M., GOPAL, B., RAMBERG, L., WARNER, B. G. The comparative biodiversity of seven globally important wetlands: a synthesis. **Aquatic Sciences**, v. 68, n. 3, p. 400-414, 2006.

KASABOV, N. K. **Foundations of neural networks, fuzzy systems, and knowledge engineering**. Massachussets institute of technology. Cambridge. p. 251–358. 1998.

KONDOLF, G. M. Managing bedload sediments in regulated rivers: Examples from California, USA, **Geophys. Monogr.**, 89:165–176. 1995.

KONDOLF, G.M., GAO, Y., ANNANDALE, G.W., MORRIS, G.L., JIANG, E., ZHANG, J., CAO, Y., CARLING, P., FU, K., GUO, Q., HOTCHKISS, R., PETEUIL, C., SUMI, T., WANG, H-W., WANG, Z., WEI, Z., WU, B.,

WU, C., YANG, C.T. Sustainable sediment management in reservoirs and regulated rivers: experiences from five continents, **Earth's Future**, 2: 256–280. 2014.

LIGON, F. K.; W. E. Dietrich; and W. J. Trush. 1995. Downstream ecological effects of dams. **Bioscience** 45(3):183–192.

LIMBURG K.E.; WALDMAN J.R.; 2009. Dramatic declines in North Atlantic diadromous fishes. **Bioscience** 59(11): 955–965.

OLIVEIRA, M.D., CALHEIROS, D.F., HAMILTON, S.K. Mass balances of major solutes, nutrients and particulate matter as water moves through the floodplains of the Pantanal (Paraguay River, Brazil). **Brazilian Journal of Water Resources**, 24: 1-15. 2019.

OLIVEIRA, M.H.C. et al. Estimation of soil water content in watershed using artificial neural networks. **Hydrological Sciences Journal**, 62 (13): 2120– 2138, 2017.

OWENS, P. N., BATALLA R. J., COLLINS, A. J., GOMEZ B., HICKS, D.M. , HOROWITZ, A. J., KONDOLF, G. M., MARDEN, M., PAGE, M. J., PEACOCK, D. H., PETTICREW, E. L., SALOMONS, W., TRUSTRUM, N. A. Fine-grained sediment in river systems: Environmental significance and management issues. **River Res. Appl.**,21: 693–717.2005.

PENATTI, N. C., ALMEIDA, T. I. R., FERREIRA, L. G., ARANTES, A. E., COE, M. T. Satellite-based hydrological dynamics of the world's largest continuous wetland. **Remote Sensing of Environment**, v. 170, p. 1-13, 2015.

PETTS, G. E. 1984. Impounded rivers: Perspectives for ecological management. John Wiley & Sons. Chichester, England, 322 pp.

POFF, N. L., J. D. ALLAN, M. B. BAIN, J. R. KARR, K. L. PRESTEGAARD, B. D. RICHTER, R. E. SPARKS, AND J. C. STROMBERG. 1997. The natural flow regime. **Bioscience** 47(11):769 –784.

PRINGLE C. M. Hydrologic connectivity and the management of biological reserves: a global perspective. **Ecological Applications** 11: 981– 998. 2001.

REZENDE-FILHO, A. T., FURIAN, S., VICTORIA, R. L., MASCRÉ, C., VALLES, V., BARBIERO, L. (2012). Hydrochemical variability at the Upper Paraguay Basin and Pantanal wetland. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 16, 2723-2737.

RUMELHART, D.E.; HINTON, G.E.; WILLIAMS, R. J. Learning representations by back-propagating errors. **Nature**, 323(6088): 533–536, 1986.

SARI, V.; CASTRO, N.M.R.; PEDROLLO, O.C. Estimate of Suspended Sediment Concentration from Monitored Data of Turbidity and Water Level Using Artificial Neural Networks. **Water Resources Management**, 31(15): 4909–4923, 2017.

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., 996, Corumbá. *Anais...* Corumbá: CPAP, 1996. p. 79-87.

SILVA, A.C.C.; FANTIN-CRUZ, I.; LIMA, Z.M.; FIGUEIREDO, D.M. Cumulative changes in water quality caused by six cascading hydroelectric dams on the Jauru River, tributary of the Pantanal floodplain. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 24(18), 2018.

STANFORD, J. A., J. V. WARD, W. J. LISS, C. A. FRISSELL, R. N. WILLIAMS, J. A. LICHATOWICH, AND C. C. COUTANT. 1996. A general protocol for restoration of regulated rivers. **Regulated Rivers: Research and Management** 12:391–413.

- VOGL, T. P. et al. Accelerating the convergence of the back-propagation method. **Biological Cybernetics**, 59(4–5): 257–263, 1988.
- WARD, J. V., AND J. A. STANFORD. 1995. Ecological connectivity in alluvial river ecosystems and its disruption by flow regulation. **Regulated Rivers: Research and Management** 11:105–119. 59(4–5): 257–263, 1988.
- WIENS, J. A. 2002. Riverine landscapes: taking landscape ecology into the water **Freshw. Biol.**, 47 (2002), pp. 501-515.
- VOGL, T. P. et al. Accelerating the convergence of the back-propagation method. **Biological Cybernetics**, 59(4–5): 257–263, 1988.
- VOROSMARTY, C. J., M. MEYBECK, B. FEKETE, K. SHARMA, P. GREEN, AND J. P. M. SYVITSKI. Anthropogenic sediment retention: Major global impact from registered river impoundments, **Global Planet. Change**, 39: 169–190. 2003.
- WIDROW, B.; HOFF, Me. Adaptive switching circuits. **Ire Wescon Convention Record**, 4: 96–104, 1960.
- WWF-BRASIL, SOS PANTANAL E EMBRAPA PANTANAL. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2012 a 2014**. 2015. Brasília. Disponível em http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/publicacao_bap_relatorio_2012_2014_web.pdf, acesso em 10/01/16.
- ZANI H.; ASSINE M.L.; SILVA A.; CORRADINI F.A.; KUERTEN S.; GRADELLA F. Geoformas deposicionais e feições erosivas no Pantanal Mato-Grossense identificadas por sensoriamento remoto. **Geografia**, 34:643-654. 2009.
- ZEILHOFER, P.; LIMA, E. B. N. R.; LIMA, G. A. R. Land use effects on water quality in the urban agglomeration of Cuiaba and Várzea Grande, Mato Grosso State, central Brazil. **Urban Water Journal**, 7 (3): 173-186, 2010.
- ZEILHOFER, P. et al. 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**. 2016. DOI 10.1007/s11273-016-9497-8.
- ZEILHOFER, P.; LIMA, E. B. N. R.; LIMA, G. A. R. Land use effects on water quality in the urban agglomeration of Cuiaba and Várzea Grande, Mato Grosso State, central Brazil. **Urban Water Journal**, 7 (3): 173-186, 2010.
- YEAGER, B. L. 1994. Impacts of reservoirs on the aquatic environment of regulated rivers. Tennessee Valley Authority, Water Resources, Aquatic Biology Department, Norris, Tennessee. TVA/WR/AB-93/1.
- ZEILHOFER, P. et al. 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**. 2016. DOI 10.1007/s11273-016-9497-8.

ANEXO I

Tabela 1. Empreendimentos hidrelétricos previstos com a respectiva vazão do rio onde estão previstas

Sub-bacia	Nome Rio	EH PREV	Q Média Anual (m³/s)
Sepotuba	Rio Formoso	Formoso III	0,61
Cuiabá	Rio Aricá	São Tadeu II	0,70
Sepotuba	Afluente Sepotuba	Taquarinha	1,15
Cuiabá	Rio Aricá	Aricá-Mirim I	1,64
São Lourenço	Rio Tenente Amaral	Ipê	1,82
Cabaçal	Rio Caramujo	Salto Cacau	3,16
Cabaçal	Rio Caramujo	Salto do Céu	3,16
Cabaçal	Rio Caramujo	Salto Vermelho I	3,16
São Lourenço	Córrego Ibo	Europa	3,79
Negro	Rio Negro	Ouro Negro	4,19
Taquari	Rio Ariranha	Girassol	4,21
Taquari	Rio Coxim	Calcutá	4,94
Taquari	Rio Coxim	Ponte Alta	4,94
Taquari	Rio Coxim	São Domingos	5,52
Cabaçal	Rio Caramujo	Salto Caramujo	5,96
Taquari	Rio Coxim	Maringá	6,24
São Lourenço	Rio São Lourenço	Água Brava	6,32
São Lourenço	Rio São Lourenço	Água Clara	6,32
São Lourenço	Rio São Lourenço	Agua Prata	6,32
Negro	Rio Negro	São Francisco de Assis	7,11
Taquari	Rio Coxim	Lagoa Alta	7,62
Negro	Rio Negro	Rio Negro	7,78
Jauru	Rio Jauru (MT)	Progresso	7,97
Jauru	Rio Jauru (MT)	Rancho Grande	7,97
São Lourenço	Rio São Lourenço	Água Branca	8,30
Taquari	Rio Coxim	Entre Rios	9,98
Sepotuba	Afluente Sepotuba	Medianeira	10,89
Cabaçal	Rio Cabaçal	Cabaçal 2	11,89
Cabaçal	Rio Cabaçal	Cabaçal 3	11,89
Cabaçal	Rio Cabaçal	Cabaçal 4	11,89

Cabaçal	Rio Cabaçal	Cabaçal 5	11,89
Cabaçal	Rio Cabaçal	Cabaçal 6	11,89
Cabaçal	Rio Cabaçal	Cabaçal 1	13,79
Paraguai	Rio Santana	Santana 2	14,03
Sepotuba	Rio Jubinha	Jubinha II	14,44
Sepotuba	Rio Jubinha	Jubinha III	14,44
Taquari	Rio Ariranha	Dália	15,22
São Lourenço	Rio Tenente Amaral	Mangaba	16,97
Paraguai	Rio Santana	Saíra	16,98
Paraguai	Rio Santana	Biguá	17,95
Paraguai	Rio Santana	Jaçanã Alta	17,95
Sepotuba	Rio Formoso	Formoso I	19,65
Jauru	Rio Jauru (MT)	Alagados 3	20,42
São Lourenço	R. Ponte de Pedra	João Basso	20,51
Taquari	Rio Coxim	Fazenda Caranda	20,71
Taquari	Rio Ariranha	Lírio	22,55
Taquari	Rio Taquari	Taquarizinho	23,03
Sepotuba	Rio Juba	Juba III	23,17
Sepotuba	Rio Juba	Juba IV	23,17
Taquari	Rio Ariranha	Violeta	23,59
Sepotuba	Rio Formoso	Formoso II	23,64
Taquari	Rio Ariranha	Orquídea	24,50
Taquari	Rio Ariranha	Primavera	28,73
Taquari	Rio Coxim	Peralta	29,19
Taquari	Rio Ariranha	Hortência	29,38
Jauru	Rio Jauru (MT)	Estivadinho 3	36,95
Jauru	Rio Jauru (MT)	Trairão 3	36,95
Taquari	Rio Jauru (MS)	Figueirão	39,31
Taquari	Rio Jauru (MS)	Vila Jauru	42,35
Taquari	Rio Coxim	Água Vermelha	44,17
Correntes	Rio Correntes	Santa Paula	46,37
Taquari	Rio Jauru (MS)	Mundo Novo	47,40
Sepotuba	Rio Juba	Corredeira	54,21
Sepotuba	Rio Juba	Tapirapuã	54,21
Sepotuba	Rio Juba	Usina Velha	54,21
Taquari	Rio Taquari, montante r. Coxim)	Barra do Ariranha	69,04

Correntes	Rio Correntes	Água Enterrada	79,97
Taquari	Rio Coxim, jusante Jauru MS	Sucuri	97,44
Itiquira	Rio Itiquira	Itiquira III	99,94
Taquari	Rio Taquari, montante r. Coxim	Pedro Gomes	128,21
Sepotuba	Rio Sepotuba	Paiaguás	132,01
Sepotuba	Rio Sepotuba	Sepotuba	132,01
Sepotuba	Rio Sepotuba	Salto Maciel	133,48
Cuiabá	Rio Cuiabá	Angatu II Montante	268,49
Cuiabá	Rio Cuiabá	Perudá Montante	268,49
Cuiabá	Rio Cuiabá	Angatu I	273,53
Taquari	Rio Coxim	Ponte Vermelha	286,92
Cuiabá	Rio Cuiabá	Iratambé II	292,95
Cuiabá	Rio Cuiabá	Iratambé I	305,18
Cuiabá	Rio Cuiabá	Guapira II	317,03

Tabela 2. Taxas de variação previstas para os empreendimentos da RHP

EH PREV	Nome do rio	Taxa de Alteração Média Anual QSS (%)	QSS (ton/ano)	Taxa de Alteração Média Anual NT (%)	NT (ton/ano)	Taxa de Alteração Média Anual PT (%)	PT (ton/ano)
Alagados 3	Rio Jauru (MT)	-26,14	-1809,94	58,79	109,75	50,00	3,31
Estivadinho 3	Rio Jauru (MT)	13,23	1910,59	54,25	165,07	50,00	6,40
Trairão 3	Rio Jauru (MT)	11,59	1641,67	55,22	171,63	50,00	6,53
Rancho Grande	Rio Vermelho/Jauru (MT)	-35,54	-2203,31	3,89	2,68	-43,30	-1,14
Progresso	Rio Vermelho/Jauru (MT)	-34,70	-2151,04	3,89	2,69	-39,82	-1,05
Cabaçal 6	Rio Cabaçal	-22,22	-2045,19	-6,52	-8,47	-54,04	-6,35
Cabaçal 5	Rio Cabaçal	-22,09	-2032,93	-6,42	-8,34	-53,68	-6,31
Cabaçal 4	Rio Cabaçal	-22,07	-2031,57	-6,39	-8,31	-53,65	-6,31
Cabaçal 3	Rio Cabaçal	-21,38	-1967,46	-6,17	-8,01	-53,75	-6,32
Cabaçal 2	Rio Cabaçal	-22,31	-2053,72	-3,32	-4,32	-48,18	-5,67
Cabaçal 1	Rio Cabaçal	-22,51	-2402,87	-0,20	-0,30	-44,75	-6,10
Salto do Céu	Rio Caramujo	-41,73	-1414,80	7,12	2,00	1,01	0,01
Salto Cacau	Rio Caramujo	-39,00	-1322,16	7,35	2,08	1,44	0,02
Salto Vermelho I	Rio Caramujo	-9,38	-229,54	9,32	2,69	2,48	0,04
Salto Caramujo	Rio Caramujo	-20,42	-1305,30	10,62	5,86	-27,91	-0,77
Juba III	Rio Juba (MO Jubinha)	-33,51	-3274,77	36,69	54,15	50,00	4,40
Juba IV	Rio Juba (MO Jubinha)	-33,51	-3274,77	36,69	54,15	50,00	4,40
Jubinha II	Rio Jubinha	-0,36	-24,77	25,09	27,81	41,44	1,52
Jubinha III	Rio Jubinha	-3,26	-224,02	29,32	34,45	49,96	2,14
Corredeira	Rio Juba (MO Jubinha)	24,85	6528,75	57,05	408,96	49,11	9,18
Usina Velha	Rio Juba (MO Jubinha)	24,85	6528,75	60,00	466,26	50,00	10,70
Tapirapuã	Rio Juba (MO Jubinha)	24,39	6366,41	60,00	471,53	50,00	10,61
Formoso I	Rio Formoso	-46,62	-7548,95	31,75	55,43	15,96	1,09
Formoso II	Rio Formoso	-52,67	-10260,75	35,18	77,78	22,15	1,96
Formoso III	Rio Formoso	-52,98	-265,82	35,40	78,53	22,46	1,99
Taquarinha	Afluente do Sepotuba	-41,32	-191,42	18,16	1,75	9,12	0,03
Medianeira	Afluente do Sepotuba	-48,09	-2105,08	25,81	25,93	10,73	0,34
Sepotuba	Rio Sepotuba (MO Formoso)	-53,00	-11032,16	-17,03	-192,40	-2,02	-0,45
Paiaguás	Rio Sepotuba (MO Formoso)	-53,00	-11032,16	-12,65	-134,85	-25,16	-8,48
Salto Maciel	Rio Sepotuba (MO Formoso)	-53,00	-11154,80	-11,80	-127,23	-25,55	-8,71
Santana 2	Rio Santana	-5,41	-337,90	14,87	18,85	-2,54	-0,35
Sáira	Rio São Francisco de Paula	-85,00	-7215,56	-19,00	-37,04	-12,43	-1,79
Jaçanã Alta	Rio São Francisco de Paula	-85,00	-7678,63	-19,00	-38,58	-12,62	-1,92
Biguá	Rio São Francisco de Paula	-78,78	-11114,15	-19,00	-105,43	-4,38	-1,06
Perudá Montante	Rio Cuiabá	-26,29	-105279,90	-17,95	-408,02	-55,00	-88,93
Angatu II Montante	Rio Cuiabá	-26,29	-105279,90	9,18	171,12	-55,00	-375,09
Angatu I	Rio Cuiabá	-27,75	-113239,79	9,18	174,33	-55,00	-388,05
Iratambé I	Rio Cuiabá	-33,28	-144605,23	-8,25	-190,46	-55,00	-533,74
Iratambé II	Rio Cuiabá	-32,41	-135177,04	-8,25	-182,83	-55,00	-506,85
Guapira II	Rio Cuiabá	-34,69	-156607,79	-8,25	-197,86	-55,00	-564,89
Aricá-Mirim I	Rio Aricá	-39,61	-233,56	5,66	0,81	-21,81	-0,15
São Tadeu II	Rio Aricá	-42,80	-107,59	21,64	1,64	-48,82	-0,14
Ipê	Rio São Lourenço	-29,32	-155,39	5,84	19,91	-3,86	-0,15
Mangaba	Rio São Lourenço	-29,14	-877,06	-19,00	-210,50	-0,64	-0,03
Água Clara	Rio São Lourenço	-34,30	-922,33	24,95	13,54	28,04	0,49
Água Prata	Rio São Lourenço	-34,30	-922,33	24,93	13,52	28,04	0,49
Água Brava	Rio São Lourenço	-34,23	-920,33	25,37	13,84	50,00	0,48
Água Branca	Rio São Lourenço	-33,32	-1177,37	25,56	18,37	27,87	0,63
Europa	Córrego Ibo	-36,44	-609,33	27,70	8,77	19,00	0,20
João Basso	Ribeirão Ponte de Pedra	10,59	831,85	36,23	84,18	-22,41	-2,02
Itiquira III	Rio Itiquira	-35,75	-52388,20	43,69	664,51	14,67	9,84
Água Enterrada	Rio Correntes	-85,00	-28311,55	-18,44	-148,79	11,04	6,26
Santa Paula	Rio Correntes	-85,00	-18920,76	-15,77	-73,80	-18,25	-5,34
Girassol	Rio Ariranha	-57,34	-6707,79	-12,92	-6,46	-55,00	-3,48
Dália	Rio Ariranha	-50,22	-21239,70	19,00	-61,25	-55,00	-12,87
Lírio	Rio Ariranha	-48,62	-30477,40	-19,00	-91,98	-55,00	-19,13
Violeta	Rio Ariranha	-47,86	-31372,02	-19,00	-90,89	-55,00	-19,80
Orquídea	Rio Ariranha	-47,15	-32099,45	-19,00	-90,11	-55,00	-20,54
Primavera	Rio Ariranha	-44,49	-35523,28	-19,00	-66,55	-55,00	-24,26
Hortência	Rio Ariranha	-43,95	-35885,78	-16,50	-57,54	-55,00	-24,91
Taquarizinho	Rio Taquarizinho	-51,46	-43189,22	-18,71	-44,39	-55,00	-21,12
Barra do Ariranha	Rio Taquari (MO rio Coxim)	-31,04	-65857,47	-19,00	-524,24	-55,00	-84,42
Pedro Gomes	Rio Taquari (MO rio Coxim)	-27,78	-109431,01	-19,00	-823,86	8,60	22,59
Figueirão	Rio Jauru (MS)	-28,55	-42028,89	21,44	181,11	-55,00	-55,17
Vila Jauru	Rio Jauru (MS)	-27,83	-44132,67	19,57	173,99	-55,00	-49,98
Mundo Novo	Rio Jauru (MS)	-26,61	-47245,40	12,41	113,38	-37,75	-35,16
Ponte Alta	Rio Coxim	-47,00	-13044,67	-19,00	-43,62	-4,69	-0,61
Calcutá	Rio Coxim	-47,00	-9621,28	-19,00	-44,17	-1,09	-0,10
Maringá	Rio Coxim	-47,00	-12158,30	-19,00	-55,79	-0,87	-0,10
Ponte Vermelha	Rio Coxim	-46,00	-13501,49	-19,00	-2514,23	-1,15	-6,30
Lagoa Alta	Rio Coxim	-45,00	-14851,06	-19,00	-66,29	-8,69	-1,26
Entre Rios	Rio Coxim	-45,00	-19450,53	-19,00	-85,40	-16,41	-3,12
Fazenda Caranda	Rio Coxim	-45,00	-40351,93	-19,00	-226,23	-7,86	-3,10
Peralta	Rio Coxim	-45,00	-56863,04	-19,00	-282,93	6,94	4,15
Água Vermelha	Rio Coxim	-43,00	-116676,33	-19,00	-377,32	8,60	2,16
São Domingos	Rio Coxim	-43,00	-125709,89	-19,00	-72,74	-55,00	-12,59
Sucuri	Rio Taquari (MO rio Coxim)	-25,21	-138066,77	-19,00	-1272,61	-12,97	-33,20
Ouro Negro	Rio Negro	-78,83	-2593,66	-19,00	-12,20	-8,13	-0,46
São F. de Assis	Rio Negro	-83,43	-4662,65	-18,17	-18,99	-6,96	-0,67
Rio Negro	Rio Negro	-85,00	-5199,45	-18,44	-21,08	-6,88	-0,72

