



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**– MESTRADO –**

**SIMULAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS OCASIONADAS  
POR BARRAMENTOS HIDRELÉTRICOS NA BACIA DO ALTO  
PARAGUAI**

*Por*

***Maria Marcella Medeiros Melo***

*Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para  
obtenção do grau de Mestre*

**João Pessoa – Paraíba**

**Fevereiro de 2019**



*Universidade Federal da Paraíba*

*Centro de Tecnologia*

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**– MESTRADO –**

**SIMULAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS OCASIONADAS  
POR BARRAMENTOS HIDRELÉTRICOS NA BACIA DO ALTO  
PARAGUAI**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

**Maria Marcella Medeiros Melo**

**Orientador: Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz**

**João Pessoa – Paraíba**

**Fevereiro de 2019**

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

M528s Melo, Maria Marcella Medeiros.

Simulação das alterações hidrológicas ocasionadas por  
barramentos hidrelétricos na Bacia do Alto Paraguai /  
Maria Marcella Medeiros Melo. - João Pessoa, 2019.  
158 f.

Orientação: Adriano Rolim da Paz PAZ.  
Dissertação (Mestrado) - UFPB/CT.

1. Alterações Hidrológicas. 2. IHA. 3. RVA. 4.  
Hidrelétricas. I. PAZ, Adriano Rolim da Paz. II. Título.

UFPB/BC

**MARIA MARCELLA MEDEIROS MELO**

**SIMULAÇÃO DAS ALTERAÇÕES HIDROLÓGICAS  
OCASIONADAS POR BARRAMENTOS HIDRELÉTRICOS NA  
BACIA DO ALTO PARAGUAI**

Dissertação aprovada em 25/02/2019 como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:



---

Prof. Dr. Adriano Rolim da Paz – UFPB  
(Orientador)



---

Prof. Dr. Cristiano das Neves Almeida – UFPB  
(Examinador Interno)

---

Prof. Dr. Walter Collischonn – UFRGS  
(Examinador Externo)



O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida e pelas inúmeras bênçãos que recebo diariamente.

Aos meus familiares, em especial à minha mãe Aparecida, por todos os sacrifícios e por ser meu maior exemplo de coragem e garra.

À minha avó Luzia (*in memorium*), com quem eu gostaria de poder compartilhar essa e todas as conquistas da minha vida.

A Blackhermon, meu amor, por ser meu incentivador e minha calmaria em momentos difíceis.

Ao professor Adriano, pela excelente orientação, pela paciência, por acreditar no meu potencial e ser um grande incentivador.

Ao grupo de pesquisas do IPH, em especial a Pedro Jardim e Walter Collischonn pela parceria nesse projeto.

À minha querida amiga e eterna professora Elisangela, por ter despertado em mim o interesse pela pesquisa científica.

Aos membros da banca pelos questionamentos pertinentes e inúmeras contribuições ao longo desses dois anos.

Às minhas amigas pelo apoio e por estarem sempre dispostas a me ouvir quando necessário, em especial à Amanda Melo pela revisão do texto.

A todos os colegas de graduação e do mestrado, agora companheiros de vida profissional, pelos momentos de descontração e inúmeras jornadas compartilhadas.

Aos colegas do grupo “ARP”, em especial à Samanda e Sarah, pela cumplicidade e valiosas trocas de experiência.

À equipe do Programa Povos das Águas pelo acolhimento e por terem me ensinado coisas muito além da academia, em especial a Colleone, Elisama e Josiney e Renê.

À Embrapa Pantanal, em especial a Carlos Padovani, por me proporcionar o conhecimento da área de estudo, e a Agostinho Catella, pelos ensinamentos acerca da fauna ictícia da região.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

## RESUMO

A matriz energética brasileira é predominantemente constituída por fontes hidráulicas e, considerando cenários de expansão, é necessário o conhecimento prévio de seus impactos para fins de planejamento. A Bacia do Alto Paraguai (BAP), onde está inserido o Pantanal, possui dezenas de hidrelétricas instaladas na região do planalto, o que pode resultar em impactos diversos sobre o bioma. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de hidrelétricas localizadas a montante da BAP sobre o regime de vazões e o padrão de inundação do Pantanal. Foram criados cenários hipotéticos para investigar o efeito isolado da hidrelétrica de Manso e da operação conjunta de todas as hidrelétricas existentes ou planejadas na bacia. A partir de condições de contorno de montante obtidas por simulação na região do planalto, foi realizada a simulação da região do Pantanal com o modelo SIRIPLAN. A quantificação das alterações foi realizada utilizando os Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) e aplicações da Abordagem da Faixa de Variabilidade (RVA), sendo também proposta uma adaptação à metodologia tradicional. Os resultados mostram que a hidrelétrica de Manso possui forte efeito de regularização no rio Cuiabá, alterando a maioria dos indicadores, causando significativo aumento das vazões mínimas de diferentes durações, além da diminuição das vazões máximas e do número de baixos pulsos. Por sua vez, a redução das vazões máximas reduziu a frequência de inundação e lâmina d'água média nos entornos dos rios Cuiabá e Paraguai. A operação conjunta das hidrelétricas resultou em alterações de menor magnitude, com maior impacto sobre o número e a duração de baixos pulsos. As hidrelétricas consideradas tendem a intensificar as condições de estiagem, diminuindo as vazões mínimas de diferentes durações e as medianas dos meses mais secos e aumentando a duração de baixos pulsos. Em termos de área inundada, o comportamento predominante foi de redução, especialmente às margens do trecho superior do rio Paraguai e em toda a extensão do rio Taquari, o que pode vir a intensificar o assoreamento na região. A adaptação proposta à metodologia tradicional do RVA, resultou em menores alterações dos indicadores, sendo mais realista do que a abordagem tradicional, embora tenha sido observado pouco efeito sobre os indicadores relacionados a altos e baixos pulsos. A análise do RVA considerando as três categorias (superior, central e inferior) se mostrou mais satisfatória para representar as alterações do que quando comparada à metodologia tradicional. Os resultados obtidos evidenciam as inter-relações existentes entre diferentes trechos do Pantanal em razão das trocas laterais e que mesmo localizadas a centenas de quilômetros de distancia, as hidrelétricas instaladas no planalto possuem efeito sobre seu regime de vazões e de inundação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Alterações Hidrológicas, IHA, RVA, Hidrelétricas, Bacia do Alto Paraguai, Pantanal.

## ABSTRACT

The Brazilian energy matrix is mainly composed by hydraulic sources and, considering potential expansion scenarios, it is necessary the prior knowledge of its impacts for planning purposes. The Upper Paraguay River Basin (UPRB), where Pantanal is located, has dozens of hydroelectric plants in the plateau area, which may result in several impacts on the biome. This study aims to evaluate the effects of the hydropower plants operation located upstream of the UPRB on the flow regime and inundation patterns of Pantanal. Hypothetical scenarios were developed to investigate the effect of Manso hydropower plant and also the impact of all existing and planned hydroelectric plants in the basin, besides Manso. Using boundary conditions obtained by simulation on the plateau region, SIRIPLAN model was applied to simulate Pantanal hydrological processes. The quantification of the changes was performed using the Indicators of Hydrological Alteration (IHA) and different approaches of the Variability Range Approach (RVA), moreover, an adaptation was suggested for the traditional methodology. The results show that Manso has a strong regularization effect, significantly changing most of the indicators, with a predominant increase of minimum flows of different durations, and decrease of maximum flows and number of low pulses. In its turn, the reduction of the maximum flows reduced the frequency of flooding and average water depth around Cuiabá and Pantanal rivers. On the other hand, the operation of all hydroelectric plants resulted in minor changes with greater impact on the number and duration of low pulses. The combined operation seems to intensify drought conditions, decreasing the minimum flows of different durations, the median of drought months and increasing the duration of low pulses. When it comes to flooded area, the predominant behavior was also reduction, especially at the upper reaches of both Paraguay and Taquari rivers, which can intensify the silting in the region. The proposed adaptation for the traditional methodology resulted in minor changes of the indicators, more realistic than the traditional approach, although it has been observed little effect on the indicators related to high and low pulses. The RVA analysis considering the three categories (high, middle and low) was more satisfactory to represent the changes when compared to the traditional methodology. The results obtained demonstrated the interrelationships existing between different parts of Pantanal due to the lateral exchanges and that even located hundreds of kilometers away, the hydroelectric plants installed in the plateau has effect on its flow and flood regime.

**KEYWORDS:** Hydrological alteration, IHA, RVA, Hydropower plants, Upper Paraguai River Basin, Pantanal.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Exemplo do regime de vazões em um rio natural e em um rio com barramentos hidrelétricos para a) Escala anual e b) Escala semanal. ....	24
Figura 2. Exemplo da influência de diferentes aspectos do regime hidrológico no ciclo de vida de determinada espécie de peixe. ....	29
Figura 3. Esquema de aplicação prática do RVA para gestão de corpos hídricos. ....	32
Figura 4. Exemplificação dos Componentes de Vazão Ambiental. ....	33
Figura 5. Representação de uma planície de inundação no período de a) estiagem e b) cheia. ....	36
Figura 6. Visão geral do Sistema de Simulação de Rios e Planícies de Inundação ....	41
Figura 7. Exemplificação das áreas de contribuição às condições de contorno de montante e sua relação com os elementos da planície e os canais simulados pelo SIRIPLAN. ....	43
Figura 8 – Determinação da profundidade disponível para escoamento ( $h_{\text{fluxo}}$ ) entre dois elementos (1 e 2) do modelo raster: $Z_a$ se refere à cota do nível da água e $Z_f$ é a cota do fundo. ....	44
Figura 9. Determinação da cota de vertimento ( $Z_{\text{vert}}$ ) entre uma seção do canal principal e um elemento da planície quando a planície está abaixo (a) e acima (b) da margem do canal. $Z_{m_{\text{can}}}$ é a cota da margem do canal simulado e $Z_{f_{\text{plan}}}$ é a cota da planície. ....	45
Figura 10. Localização da área de estudo. ....	47
Figura 11. Modelo Digital de Elevação da Bacia do Alto Paraguai. ....	48
Figura 12. Hidrogramas de vazão média mensal e anual para alguns postos fluviométricos e representação das principais trocas laterais que ocorrem no Pantanal: as setas vermelhas e azuis indicam comportamento predominante de perda ou ganho de água para/da planície, respectivamente. Série de dados observados obtidos no banco de dados HidroWeb (ANA). ....	50
Figura 13. Trecho do rio Paraguai no sentido jusante-montante cerca de 40 km antes da confluência com o rio Taquari em 22/10/2018. ....	51
Figura 14. Banco de areia no rio Taquari nas proximidades de P. Rolom em 23/10/2018. ....	53
Figura 15. Mapa de uso e ocupação do solo da BAP. ....	54
Figura 16. Tuiuiú no topo de uma árvore nas margens do rio Taquari, no Pantanal, em 22/10/2018. ....	56
Figura 17. Atendimento do programa Povo das Águas às comunidades ribeirinhas do Pantanal a) Equipe se deslocando no rio Taquari em 26/10/2018 nas proximidades da comunidade Porto Buritizal; e b) Orientações sobre o câncer de mama para a comunidade do Porto Santa Ana em 25/10/2018. ....	57
Figura 18. Etapas metodológicas desta pesquisa. ....	59

Figura 19. Localização dos empreendimentos hidrelétricos instalados no planalto da BAP diferenciados em função do tipo e estágio.....	61
Figura 20. Número de empreendimentos hidrelétricos de acordo com o tipo e estágio .....	61
Figura 21. Divisão da BAP em função do modelo utilizado para simulação.....	62
Figura 22. Discretização da rede de drenagem da BAP em 19.468 minibacias.....	65
Figura 23. Divisão da BAP em 33 sub-bacias de acordo com a localização dos postos e empreendimentos hidrelétricos.....	66
Figura 24. Área de estudo com identificação das condições de contorno e pontos de controle analisados. ....	69
Figura 25. Buffers de 10, 30 e 50 km margeando os rios Cuiabá e Paraguai considerados na análise de área inundada pelo IHA e RVA.....	72
Figura 26. Detalhamento do funcionamento da metodologia RVA .....	74
Figura 27. Exemplo de aplicação do RVA_LT .....	74
Figura 28. Fluxograma da adaptação RVA_LT .....	75
Figura 29. Hidrogramas simulados pelo SIRIPLAN para alguns pontos de controle para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso) em duas escalas: considerando todo período simulado (2004 a 2015) e a nível intra-anual.....	78
Figura 30. Vazões médias mensais para para alguns pontos de análise para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso). ....	80
Figura 31. Curva de Permanência de alguns pontos de análise para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso). ....	81
Figura 32. Alteração Relativa (%) para alguns pontos de análise dos rios Cuiabá e Paraguai para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso). ....	83
Figura 33. Número de indicadores (do total de 32 analisados) classificados como de baixa ( $RVA <  33\% $ ), moderada ( $ 34\%  < RVA <  67\% $ ) ou alta ( $RVA >  67\% $ ) alteração nos pontos de análise dos rios Cuiabá e Paraguai para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso). ....	86
Figura 34. Classificação dos trechos dos rios do Pantanal de acordo com a magnitude da alteração hidrológica (RVA) considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso). ....	87
Figura 35. Análise das três categorias do RVA para alguns pontos de análise dos rios Cuiabá e Paraguai considerando a mudança entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Cenário Pós-impacto (com a UHE Manso). Os valores acima de 300% foram cortados do gráfico para melhor visualização dos resultados. ....	89

Figura 36 Análise da metodologia RVA para indicador N° de baixos pulsos, no posto Cuiabá, considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	91
Figura 37. Área inundada mínima, média e máxima no Pantanal para todos os meses do ano considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso) a) Valores de área inundada (x 1.000 km <sup>2</sup> ); b) Diferença de área inundada em km <sup>2</sup> .....	92
Figura 38. Diferença de área inundada (Pós - Pré) para Buffers de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	93
Figura 39. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Cuiabá em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	95
Figura 40. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Cuiabá em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	96
Figura 41. Análise da metodologia RVA para indicador N° de baixos pulsos para um buffer de 50 km do rio Cuiabá considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	97
Figura 42. Diferença da frequência de inundação para lâmina de 20 cm considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	98
Figura 43. Diferença do nível médio de água simulada ao longo da série histórica de 2004 a 2015 considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	99
Figura 44. Hidrogramas simulados pelo SIRIPLAN das condições de contorno dos rios simulados na comparação dos cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos): a) Em uma análise geral, para todos os anos simulados (20 anos) e b) Em detalhes, considerando um ano hidrológico (2001-2002). ....	101
Figura 45. Hidrogramas simulados pelo SIRIPLAN para alguns pontos de controle para os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) em duas escalas: considerando todo período simulado (1995 – 2015) e o ano hidrológico 2003-04.....	103

Figura 46. Vazões médias mensais para alguns pontos de controle para os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos). .....	105
Figura 47. Curva de Permanência de alguns pontos de análise para os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos). .....	106
Figura 48. Alteração Relativa (%) para os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) para pontos de controle do rio Cuiabá. Para melhor visualização dos resultados, os gráficos com valores acima de 100% foram cortados.....	108
Figura 49. Alteração Relativa (%) entre os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) para pontos de controle do rio Paraguai. ....	109
Figura 50. Alteração Relativa (%) entre os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) para diferentes pontos de controle nos rios S. Lourenço, Piquiri, Taquari e Negro. ....	110
Figura 51. Número de indicadores classificados como de Baixa, Moderada ou Alta Alteração nos rios analisados na comparação entre os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos). ....	112
Figura 52. Classificação dos trechos dos rios do Pantanal de acordo com a magnitude da alteração hidrológica (RVA) considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).....	114
Figura 53. Análise das três categorias do RVA para pontos de análise ao longo do rio Cuiabá considerando os cenários pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).....	115
Figura 54. Análise das três categorias do RVA para pontos de análise ao longo do rio Paraguai considerando os cenários pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).....	116
Figura 55. Análise das três categorias do RVA para pontos de análise em outros rios (S. Lourenço, Piquiri, Taquari e Negro) considerando os cenários pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos). ....	117
Figura 56. Análise da metodologia RVA para os indicadores N° e duração de baixos pulsos e vazão mínima de 1 dia, considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	119



Figura 57. Área inundada mínima, média e máxima no Pantanal para todos os meses do ano considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) a) Valores de área inundada (x 1.000 km <sup>2</sup> ); b) Diferença de área inundada em km <sup>2</sup> .....	121
Figura 58. Diferença de área inundada em m <sup>2</sup> (*1.000) para Buffers de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todas as hidrelétricas) .....	122
Figura 59. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Cuiabá em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE de Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas). .....	124
Figura 60. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Paraguai em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE de Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas). .....	125
Figura 61. Diferença da frequência de inundação para lâmina de 20 cm considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas).....	126
Figura 62. Diferença do nível médio de água simulada ao longo da série histórica de 1995 a 2015 considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas). .....	126

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação dos tipos de hidrelétrica em função da potência instalada e tamanho do reservatório .....	22
Tabela 2. Exemplos de estudos de literatura que utilizaram metodologias de quantificação da alteração hidrológica.....	28
Tabela 3. Variáveis hidrológicas do IHA .....	30
Tabela 4. Medidas de desempenho das simulações realizadas no planalto da BAP. ....	64
Tabela 5. Estatísticas do ajuste do modelo hidrodinâmico 1D aos canais principais na simulação da planície da BAP com o SIRIPLAN .....	68
Tabela 6. Identificação e área de drenagem das condições de contorno do SIRIPLAN .....	70
Tabela 7. Estatísticas de ajuste do modelo hidrológico MGB-IPH às sub-bacias do Planalto da BAP (comparação entre vazão observada e calculada). ....	70
Tabela 8 Resumo das análises I e II: formulação de cenários, simulação e período de análise .....	76
Tabela 9. Média dos 32 IHA (em módulo) para Alteração relativa, RVA e RVA_LT por posto fluviométrico – Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	86
Tabela 10. Valores em porcentagem de alteração relativa e RVA (categoria central) em faixas marginais de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso) .....	94
Tabela 11. Média dos 32 IHA (em módulo) para alteração relativa e RVA de área inundada no Pantanal considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	97
Tabela 12. Vazão média para o período simulado (1995 - 2015) para cada condição de contorno e sua respectiva diferença relativa (%) na comparação dos cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).....	102
Tabela 13. Alteração relativa, RVA e RVA_LT geral (%) por posto fluviométrico – Cenário Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Cenário Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) .....	113
Tabela 14. Valores em porcentagem de alteração relativa e RVA (categoria central) em faixas marginais de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todas as hidrelétricas) .....	122
Tabela 15. Alteração hidrológica geral - Área Inundada - Barragens .....	123

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

1D	Unidimensional
2D	Bidimensional
A. C. Grande	Acima do Córrego Grande
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
B. Melgaço	Barão de Melgaço
BAP	Bacia do Alto Paraguai
CC	Condição de contorno
CFC	Componentes de Vazão Ambiental
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CRH	Classes de Resposta Hidrológica
CRU	Climatic Research Unit
Data máx	Data de máxima vazão ou área inundada anual
Data mín	Data de mínima vazão ou área inundada anual
Dur. altos pulsos	Duração de altos pulsos
Dur. baixos pulsos	Duração de baixos pulsos
Etpot	Evapotranspiração potencial
Etreal	Evapotranspiração real
F. R. Negro	Foz do rio Negro
GW	Gigawatt
Hsmax	Capacidade máxima do reservatório do solo
hsolo	Volume disponível a ser ocupado com água
hsub	Lâmina d'água no reservatório do solo
I. Camargo	Ilha Camargo
IEB	Índice de Fluxo de Base
IHA	Indicadores de Alteração Hidrológica
IPH	Instituto de Pesquisas Hidráulicas
Máx. 1 dia	Vazão ou área inundada máxima de 1 dia
Máx. 3 dias	Vazão ou área inundada máxima de 3 dias
Máx. 7 dias	Vazão ou área inundada máxima de 7 dias
Máx. 30 dias	Vazão ou área inundada máxima de 30 dias
Máx. 90 dias	Vazão ou área inundada máxima de 190 dias
MDE	Modelo Digital de Elevação
MGB-IPH	Modelo Hidrológico Distribuído de Grandes Bacias
Mín. 1 dia	Vazão ou área inundada mínima de 1 dia
Mín. 3 dias	Vazão ou área inundada mínima de 3 dias
Mín. 7 dias	Vazão ou área inundada mínima de 7 dias
Mín. 30 dias	Vazão ou área inundada mínima de 30 dias
Mín. 90 dias	Vazão ou área inundada mínima de 90 dias
MODIS	MODerate Resolution Imaging Spectroradiometer
MSWEP	Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation

MW	Megawatt
Nº Altos pulsos	Número de altos pulsos
Nº baixos pulsos	Número de baixos pulsos
N <sub>máx</sub>	Nível máximo operacional
N <sub>máxm</sub>	Nível máximo maximorum
N <sub>mín, op</sub>	Nível mínimo operacional
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
P. Alegre	Porto Alegre
P. Bocaína	Perto da Bocaína
P. Cercado	Porto Cercado
P. Ciríaco	Porto Ciríaco
P. Conceição	Porto Conceição
P. Espiridião	Porto Espiridião
P. Manga	Porto da Manga
P. Murtinho	Porto Murtinho
P. Rolom	Porto Rolom
P. Taiamã	Pousada Taiamã
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
Q <sub>def</sub>	Vazão defluente
Revers.	Número de reversões
RVA	Abordagem da Faixa de Variabilidade
S. Francisco	São Francisco
S. Gonçalo	São Gonçalo
S. J. Borireu	São José do Borireu
S. J. Piquiri	São José do Piquiri
S. Jerônimo	São Jerônimo
S. João	São João
SIRIPLAN	Simulação de Rios e Planícies de Inundação
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SAR	Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
T. Fogo	Tição de Fogo
Tx ascensão	Taxa de ascensão
Tx recessão	Taxa de recessão
UHE	Usina Hidrelétrica
URH	Unidades de Resposta Hidrológica

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	5
RESUMO .....	6
ABSTRACT .....	7
LISTA DE FIGURAS .....	8
LISTA DE TABELAS .....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	14
SUMÁRIO.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	19
2. OBJETIVOS.....	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1. Hidrelétricas.....	22
3.1.1. Contexto nacional.....	22
3.1.2. Impactos associados .....	23
3.2. Metodologias de quantificação de alteração hidrológica.....	26
3.2.1. Indicadores de Alteração Hidrológica - IHA.....	29
3.2.2. Abordagem da Faixa de Variabilidade - RVA .....	31
3.2.3. Componentes de Vazão Ambiental .....	33
3.2.4. Eco-métricas .....	34
3.2.5. Método Dundee de Alteração do Regime Hidrológico .....	35
3.3. Planícies de Inundação.....	36
3.3.1. Aspectos Gerais .....	36
3.3.2. O bioma Pantanal .....	37
3.3.3. Modelagem hidrológica de planícies de inundação.....	39
SIRIPLAN .....	41
4. ÁREA DE ESTUDO .....	47

4.1.	Fisiografia e tipo de solo.....	47
4.2.	Clima e regime pluviométrico .....	48
4.3.	Regime Fluvial e de Inundações .....	49
	Rio Paraguai .....	51
	Rio Cuiabá .....	52
	Rio Taquari .....	52
4.4.	Uso e ocupação do solo .....	54
4.5.	Biodiversidade .....	55
4.6	Aspectos sociais e comunidades tradicionais .....	57
5.	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
5.1.	Definição de cenários.....	59
5.2.	Simulação hidrológica .....	62
	5.2.1. Simulação no Planalto – MGB-IPH .....	63
	ANÁLISE I – Impacto de Manso: Cenário natural x Cenário Manso .....	66
	ANÁLISE II: Impacto de todas as Barragens - Cenário Manso x Cenário Barragens.....	67
	5.2.2. Simulação na Planície - SIRIPLAN .....	67
5.3.	Avaliação das alterações hidrológicas .....	71
5.4.	Resumo das Análises .....	76
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	77
6.1	Análise I – Impacto de Manso .....	77
	6.1.1 Análise de vazões .....	77
	Características gerais do escoamento .....	77
	Quantificação da alteração hidrológica: IHA, RVA e RVA_LT.....	81
	IHA .....	82
	RVA e RVA_LT (categoria central) .....	85
	RVA – Análise das três categorias .....	88
	6.1.2 Análise de área inundada e padrão espacial de inundação .....	91

6.2	Análise II – Impacto de todas as Barragens.....	100
6.2.1	Análise de vazões .....	100
	Características gerais do escoamento .....	100
	Quantificação da alteração hidrológica: IHA, RVA e RVA_LT.....	106
	IHA .....	106
	RVA e RVA_LT (categoria central) .....	111
	RVA – Análise das três categorias .....	114
6.2.2	Análise de área inundada.....	120
6.3	Análise crítica do RVA.....	127
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	128
7.1	Conclusões .....	128
7.2	Recomendações .....	130
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	131
	APÊNDICES .....	142
	APÊNDICE A – Percentual de dados disponíveis para os postos pluviométricos considerados .....	143
	APÊNDICE B – Percentual de dados disponíveis para os postos fluviométricos considerados .....	145
	APÊNDICE C: Vazão média mensal para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).....	146
	APÊNDICE D: ANÁLISE I - Impacto de Manso - Resultados para IHA, RVA (categoria central) e RVA_LT .....	147
	APÊNDICE E: Vazão média mensal para os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE de Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).....	149
	APÊNDICE F: ANÁLISE II - Impacto de todos os barramentos - Resultados para IHA, RVA (categoria central) e RVA_LT .....	151
	ANEXO: Informações dos empreendimentos hidrelétricos considerados no estudo.....	155

## 1. INTRODUÇÃO

As hidrelétricas são responsáveis pela maior parte da produção de energia elétrica nacional e, embora o Brasil possua o terceiro maior potencial hidrelétrico do mundo - cerca de 98 GW -, utiliza apenas um terço de toda sua capacidade (IHA, 2017). Em razão das vantagens de se investir nesse tipo de energia, além da abundância de recursos hídricos e favorável configuração topográfica, há um interesse por sua expansão na matriz energética nacional.

Apesar de se tratar de uma fonte de energia renovável, as questões ambientais relacionadas às hidrelétricas são muitas vezes controversas, sendo motivo constante de debates e discussões em todo o mundo. Embora não exija uso consuntivo, a instalação e operação das usinas alteram a configuração dos cursos d'água e a derivação do rio traz efeitos diversos para o meio ambiente (BEJARANO et al., 2017; CASAS-MULET, SALTVEIT e ALFREDSEN, 2014; LATRUBESSE et al., 2017).

Os impactos advindos desses tipos de empreendimento não podem ser analisados de maneira independente, uma vez que alterações hidrológicas estão intrinsicamente relacionadas à estrutura e funcionamento dos ecossistemas. Diversos trabalhos demonstram a relação entre alterações hidrológicas e modificações na dinâmica de sedimentos (ZHANG et al., 2009), abundância de espécies (SANTOS e SOUZA, 2015) e mudanças nos processos migratórios de peixes (LIERMANN, ROBERTSON e NILSSON, 2012). Assim, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de quantificar as alterações hidrológicas utilizando indicadores que possuam relevância ecológica, sendo os Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) os mais utilizados (REMO et al., 2018; RICHTER et al., 1996; RICHTER et al., 1997; SOJKA et al., 2016; ZHAO et al., 2012).

Em função de seu gradiente topográfico e ampla disponibilidade de recursos hídricos, a Bacia hidrográfica do Alto Paraguai (BAP), localizada na região centro-oeste do Brasil, é tida como um território favorável à instalação de empreendimentos hidrelétricos (SOUZA FILHO, 2012). Nessa bacia, está inserido o Pantanal, bioma composto por uma complexa rede de drenagem e rica diversidade de ecossistemas aquáticos e terrestres. Todavia planícies de inundação são ambientes complexos cuja dinâmica sazonal de inundação rege as principais funções ecológicas do ecossistema, sendo especialmente sensíveis a variações nos regimes de escoamento e nos padrões naturais de inundação (PAZ, COLLISCHONN e TUCCI, 2010).

Apesar de ainda ser considerada uma região preservada em termos de biodiversidade, o Pantanal está suscetível a riscos diversos, especialmente em razão das atividades desenvolvidas no Planalto da bacia. Nesse contexto, a construção e instalação de hidrelétricas configura uma das mais graves ameaças, sendo comumente associada a impactos diversos. Um exemplo é a hidrelétrica de Manso, cujo projeto e construção geraram diversos questionamentos em função do seu elevado porte



e possíveis impactos associados. Estudos avaliaram impactos como prejuízo à qualidade de água (FANTIN-CRUZ et al., 2015a), emissão de gases do efeito estufa (OMETTO et al., 2013); mudanças nas concentrações de mercúrio e oxigênio na água (HYLANDER et al., 2006) e aumento da concentração de mosquitos vetores (ZEILHOFER et al., 2007), entretanto poucos avaliaram o efeito dessa hidrelétrica sobre o regime hidrológico do Pantanal, tendo feito de forma parcial e sem considerar efeito sobre as inundações (SOUZA et al., 2009; ZEILHOFER e MOURA, 2009).

Atualmente a bacia contém instalados cerca de 40 empreendimentos hidrelétricos, sendo a maioria deles do tipo Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), ou seja, com potência instalada entre 1,1 e 30 MW. Apesar da previsão de expansão no número de hidrelétricas na região, não foram identificados estudos que reportem os efeitos de sua operação conjunta, especialmente no que tange a mudanças no regime hidrológico na região.

A variabilidade espaço-temporal do regime hidrológico e de inundações do Pantanal está intimamente relacionada a processos biológicos diversos e, conseqüentemente, a atividades econômicas, sendo seu conhecimento fundamental para adoção de práticas de gestão mais eficientes (PADOVANI, 2010). Antecipar as respostas da região frente à construção de tais empreendimentos é primordial para a seleção de práticas de gerenciamento adequadas e melhor responder conseqüências futuras.

Diante disso, este trabalho visa avaliar o impacto da operação de hidrelétricas existentes e planejadas no Planalto da BAP sobre o regime hidrológico e o padrão espacial de inundações do Pantanal a partir de simulações com modelagem hidrológica distribuída e metodologias de quantificação da alteração hidrológica. Este estudo integra um projeto de pesquisa realizado em cooperação com o Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). O grupo de pesquisa do IPH-UFRGS realizou a etapa de simulação do regime hidrológico no Planalto da BAP utilizando o Modelo Hidrológico Distribuído de Grandes Bacias MGB-IPH (COLLISCHONN et al., 2007). As vazões geradas por esse grupo são então consideradas como dados de entrada para esta dissertação, sendo tomadas como condições de contorno para simulação no Pantanal com o Sistema de Simulação de Rios e Planícies de Inundação (SIRIPLAN), de modo a avaliar os efeitos das hidrelétricas instaladas a montante da bacia sobre o regime hidrológico e de inundações do Pantanal. É importante frisar que existem outros efeitos a montante das condições de contorno, mas estes não fazem parte do escopo desse trabalho.

## **2. OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Avaliar o impacto da operação de empreendimentos hidrelétricos existentes e planejados localizados no planalto da BAP sobre o regime fluvial e de inundações no Pantanal.

### **Objetivos Específicos**

- Avaliar o impacto causado pela hidrelétrica de Manso de maneira isolada;
- Avaliar o efeito cascata de hidrelétricas na região considerando um cenário futuro de operação conjunta de 165 empreendimentos;
- Discutir as limitações das diferentes formas de aplicação da metodologia Abordagem da Faixa de Variabilidade (RVA) e propor uma adaptação à abordagem tradicional.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. Hidrelétricas

##### 3.1.1. Contexto nacional

O Brasil possui uma matriz energética tida como sustentável, uma vez que grande parte da energia elétrica nele produzida é de caráter renovável (MOREIRA et al., 2015). Estima-se que aproximadamente 68,1% da energia elétrica do país é proveniente de fontes hidráulicas (BRASIL, 2017).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), as usinas hidrelétricas são classificadas em função da potência instalada e do tamanho do reservatório formado (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação dos tipos de hidrelétrica em função da potência instalada e tamanho do reservatório

Classificação	Potência Instalada (MW)	Dimensão do Reservatório (km <sup>2</sup> )
Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH)	Até 1	Suficiente para desvio do curso d'água
Pequena Central Hidrelétrica (PCH)	Entre 1,1 e 30 MW	Até 13
Usina Hidrelétrica de Energia (UHE)	Acima de 30 MW	Acima de 13

Fonte: ANEEL (2008)

No Brasil, existem cerca de 1.313 hidrelétricas em operação, sendo 218 delas do tipo UHE, responsáveis por 60% da capacidade instalada, 428 do tipo PCH, representando 3,2% da capacidade, e 667 CGH, representando 0,4% (DIAS et al., 2018; FEARNside, 2016). Os principais reservatórios hidrelétricos do Brasil estão localizados na Bacia do rio Paraná, cujo potencial é superior a 18.000 MW, e a maioria das hidrelétricas em construção está localizada nos estados de Mato Grosso e Paraná (DIAS et al., 2018).

Nas últimas décadas, hidrelétricas de menor porte, como as PCH, passaram a receber maior investimento em razão de diversos fatores, como menor área requerida, menor impacto ambiental, proximidade em relação aos centros consumidores e menor custo. Apesar de não gerarem grandes áreas inundadas ou exibirem significativas modificações nas vazões do rio quando comparadas às UHE, as PCH podem apresentar efeitos cumulativos (FANTIN-CRUZ et al., 2015b; LU et al., 2018). Todavia são menos frequentes os estudos que avaliem os impactos desse tipo de empreendimento (CEBALHO et al., 2017; KIBLER e TULLOS, 2013; LU et al., 2018).

### **3.1.2. Impactos associados**

A literatura apresenta um grande número de estudos acerca dos impactos relacionados a instalação e operação de usinas hidrelétricas (ASSAHIRA et al., 2017; BEJARANO et al., 2017; FANTIN-CRUZ et al., 2015b; FEARNSIDE, 2016; SONG et al., 2018; ZEILHOFER e MOURA, 2009). Os principais impactos reportados são alterações no regime hidrológico, com destaque para o efeito de regularização causado por grandes reservatórios; fragmentação de habitat; alteração da qualidade da água; inundação de áreas originalmente secas; emissão de gases do efeito estufa; deslocamento da população humana; transformação de ambiente lótico em lântico e modificações do fluxo de sedimentos e nutrientes. Alguns desses impactos são descritos mais detalhadamente nos itens posteriores.

#### **Alterações no regime hidrológico**

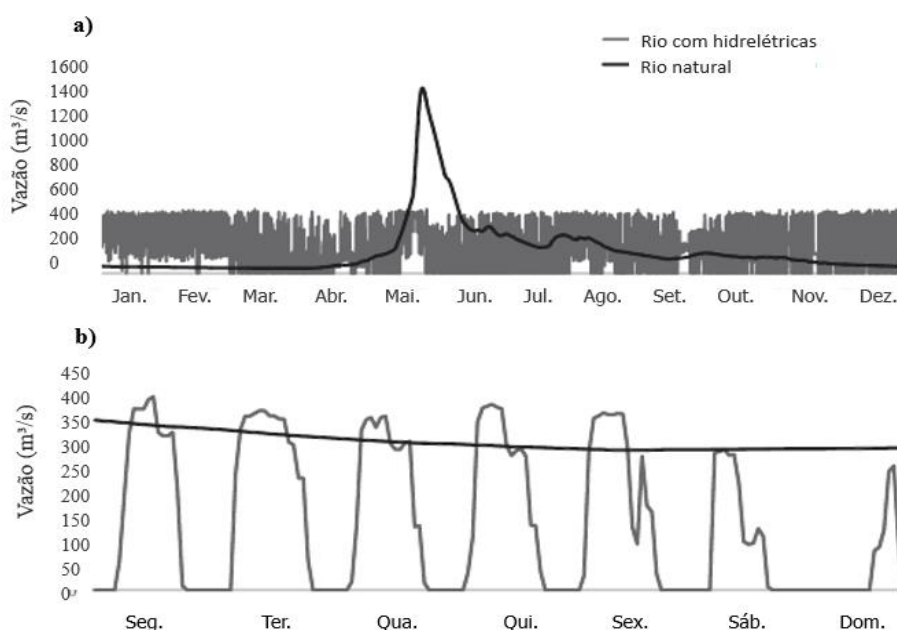
A construção de grandes barragens e, posteriormente, o funcionamento das hidrelétricas, pode alterar significativamente os padrões hidrológicos de uma bacia hidrográfica, produzindo efeitos em extensões muito além da área inundada pela barragem. Seus reservatórios, construídos com a finalidade de regular a variação temporal de vazão em um rio e dimensionados considerando usos múltiplos, como controle de inundações, navegação, irrigação, abastecimento e produção de energia elétrica, alteram a quantidade e qualidade desses recursos. A vazão liberada depende de múltiplos fatores como restrições operativas impostas pela Agência Nacional das Águas (ANA) e Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), condições climáticas e demanda de mercado.

A regularização da vazão do rio e o consequente amortecimento das vazões de pico são efeitos comumente reportados na literatura (ADAMS et al., 2017; BRAMBILLA, FONTES e MEDEIROS, 2017; MITTAL et al., 2014; SUN e FENG, 2013). Exemplos nesse sentido foram constatados no Brasil e em outras partes do mundo. No Brasil, Zeilhofer e Moura (2009) reportaram o efeito de regularização da UHE Manso (210 MW) sobre o regime de vazões do rio Cuiabá, reduzindo as vazões no período de cheias em 20% e aumentando as vazões mínimas em até 50%. Na China, Gao et al. (2012) afirmaram que a hidrelétrica de Três Gargantas, cujo reservatório possui capacidade de 39,3 bilhões de m<sup>3</sup>, elevou as vazões mínimas em aproximadamente 500 m<sup>3</sup>/s no rio Yangtze, na China. Resultados semelhantes foram encontrados por Song et al. (2018), que avaliaram o efeito cascata de reservatórios no rio Hanjiang, também na China, e constataram mudanças na curva de permanência no posto analisado, com significativo aumento na duração das vazões de menor magnitude.

A instalação de hidrelétricas afeta de maneira especial o funcionamento das planícies de inundação. A redução das vazões de pico pode resultar na desconexão entre os rios e a planície, o que pode trazer prejuízos à troca de nutrientes, restringir fases importantes do ciclo de vida de diversas espécies e afetar a composição e funcionamento de ecossistemas (ASSAHIRA et al., 2017). Um

exemplo são estudos realizados por Talukdar e Pal (2017) que, a partir de imagens de satélite LANDSAT e metodologias de quantificação da alteração hidrológica, investigaram o efeito de barragens em uma planície de inundação em Bangladesh e reportaram, além da redução das vazões do rio, a diminuição das áreas inundadas e da frequência de inundação na região.

Além de mudanças sazonais e diárias, as hidrelétricas também estão relacionadas a alterações sub-diárias. Flutuações naturais de vazão regulam processos ecológicos diversos, mas rios com barramentos costumam apresentar maiores variações diárias e sub-diárias, mais rápidas e frequentes do que aquelas observadas em rios livres (Figura 1). Isso acontece em função do acionamento e desligamento das turbinas para geração de eletricidade, baseados na demanda de mercado. Para Bejarano et al. (2017), esse efeito, conhecido como *hydropeaking*, consiste em um dos principais fatores de alteração do regime hidrológico e, conseqüentemente, das condições ecológicas de um rio. Apesar de serem relativamente pequenas, as variações diárias e horárias naturais são importantes para algumas características de ecossistemas, podendo influenciar, por exemplo, na sobrevivência dos ovos e larvas de peixes (CASAS-MULET; SALTVEIT; ALFREDSEN, 2014) e no encalhamento de peixes nas margens do rio (YOUNG, CECHE e THOMPSON, 2011).



## Fragmentação

A fragmentação de ecossistemas consiste em um dos mais importantes impactos ocasionados pelas hidrelétricas. A construção de reservatórios artificiais interrompe a conectividade entre trechos do rio, resultando em sua fragmentação e ameaçando a sobrevivência de diversas espécies (JUNK,

BAYLEY e SPARKS, 1989; POMPEU e MARTINEZ, 2006; TIMPE e KAPLAN, 2017). Os peixes de piracema são especialmente afetados, uma vez que os barramentos bloqueiam o processo migratório necessário à sua reprodução, causando, além da redução de sua população, impactos sobre o transporte de nutrientes e problemas econômicos para a região (FEARNSIDE, 2016; SUÁREZ, PETRERE JÚNIOR e CATELLA, 2001).

### **Transformação do ambiente lótico em lântico**

Nos trechos a montante da barragem, a operação das usinas hidrelétricas modifica as condições naturais, transformando um ambiente originalmente lótico em lântico, influenciando o comportamento e a sobrevivência de diversas espécies (LIERMANN, ROBERTSON e NILSSON, 2012). PRINGLE, FREEMAN e FREEMAN (2000) afirmam que tais modificações podem resultar em um aumento no número de espécies exóticas, além de provocar a extinção de espécies endêmicas.

### **Sedimentos**

As barragens possuem ainda influência na dinâmica de sedimentos da região, com tendência de acúmulo a montante da barragem, prejudicando seu transporte a jusante (SONG et al., 2018; SOUZA FILHO, 2012). Segundo Zerlotti, Santana e Calheiros (2010), os sedimentos possuem grande importância para os ecossistemas fluviais, uma vez que moldam a morfologia dos canais e carregam nutrientes vitais para a produção de alimentos. Além disso, mesmo após a desativação e remoção das barragens, são desencadeadas mudanças na geomorfologia do canal e das planícies de inundação em razão da liberação de sedimentos acumulados ao longo dos anos, como mostram os estudos realizados por EAST et al. (2015).

### **Outros**

Em função do grande número de empreendimentos hidrelétricos existentes e planejados no Brasil, diversos estudos têm sido realizados buscando identificar seus impactos, especialmente nas bacias Amazônica e do Prata. Assahira et al. (2017) utilizaram técnicas como datação por carbono e metodologias de quantificação de alteração hidrológica IHA para investigar a relação entre perda de florestas de várzea e a hidrelétrica de Balbina (com 250 MW de capacidade instalada e cujo reservatório possui 4.437 km<sup>2</sup>), localizada no rio Uatumã, na bacia Amazônica. Os autores concluíram que o aumento das vazões mínimas e a inundação permanente causadas pela hidrelétrica têm efeito sobre a mortalidade de florestas de várzea mesmo a uma distância de 100 km da barragem, uma vez que estas só possuem mecanismos de adaptação para condições de inundação sazonais. Adicionalmente, os autores observaram fortes mudanças no pulso monomodal de inundações, redução das vazões altas e um atraso de quase dois meses das vazões dos períodos de cheia. Fearnside (2016) registrou ainda como impacto das hidrelétricas instaladas na Amazônia, a perda de áreas de

inundações, desmatamento, deslocamento de população indígena e bloqueio do processo migratório de peixes.

Na bacia do Prata também estão instalados inúmeros aproveitamentos hidrelétricos. Fantin-Cruz et al. (2015b) avaliaram o efeito da UHE Ponte de Pedra (210 MW) sobre o rio Correntes e concluíram que a hidrelétrica causou mudanças nos períodos de estiagem, diminuindo em até 10% as vazões mínimas e antecipando em dois meses o dia de vazão mínima anual. Na BAP, a usina de maior porte e potência instalada é a UHE Manso (210 MW), que, em razão disso, é tida como objeto de estudo frequente na literatura (HYLANDER et al., 2006; MOURA e KASHIWAQUI, 2014; OMETTO et al., 2013; PAES e BRANDÃO, 2013; SOUZA et al., 2009; ZEILHOFER et al., 2007; ZEILHOFER e MOURA, 2009). Todavia poucos trabalhos avaliaram seu efeito sobre o Pantanal, sendo ainda mais escassos os estudos que utilizem metodologias específicas para quantificação do grau de alteração do regime fluvial como resultado da operação dessa UHE (SOUZA et al., 2009).

Para amenizar os impactos associados a esses empreendimentos, a ANA em articulação com o ONS determina a operação das usinas hidrelétricas por meio das chamadas restrições operativas, considerando limites de usos múltiplos, pré-requisitos ambientais e controle de cheias (MORCH et al., 2009). As principais restrições estão relacionadas aos níveis mínimo e máximo de jusante e montante; vazão mínima e vazão máxima a jusante e a taxa de variação máxima das defluências (ONS, 2016). Tais restrições são muitas vezes específicas para determinadas épocas do ano (épocas de estiagem e cheia), períodos de interesse ecológico (como a piracema) e horários, sendo revisadas periodicamente.

Assim, um importante desafio consiste em maximizar a produção de energia e diminuir impactos ambientais (BAJARANO et al., 2014). Nesse sentido, estudos tem sido propostos buscando impor regras de operação e otimização (ADAMS et al., 2017; BRAMBILLA, FONTES e MEDEIROS, 2017; BRAVO et al., 2008; WANG et al., 2018), avaliando sua eficiência por meio da razão entre área inundada e potência (SOUZA, 2008) e sustentabilidade (MOREIRA et al., 2015), fornecendo importantes subsídios para a gestão hídrica da bacia.

### **3.2. Metodologias de quantificação de alteração hidrológica**

O regime natural de vazão de um rio varia em diferentes escalas de tempo e dessa variação dependem a estrutura e a composição biótica de muitos ecossistemas (SANTOS e SOUZA, 2015; YAGHMAEI et al., 2018; MATHEWS e RICHTER, 2007). Diferentes aspectos do regime de vazão, tais como magnitude, frequência, duração e taxa de mudança, controlam processos em ecossistemas fluviais e a modificação dos regimes de escoamento está intimamente relacionada à distribuição, sobrevivência e reprodução de espécies (BEJARANO et al., 2017). Os peixes migratórios, por exemplo, se orientam naturalmente pela correnteza da água e percebem alterações no fluxo do rio

pelas mudanças de pressão em sua linha lateral. Em vazões de baixa magnitude, o peixe perde sua orientação e não completa a rota migratória (XU et al., 2017). Por sua vez, o aumento na magnitude da vazão está relacionado ao controle do avanço da vegetação na calha do rio, à criação das áreas de inundação e ao transporte de sedimentos, enquanto menores magnitudes oportunizam o crescimento da mata ciliar (SANTOS e SOUZA, 2015).

As condições naturais representam o melhor cenário para a manutenção do equilíbrio e da biodiversidade local e o fluxo a jusante da barragem deve ser o mais próximo a isso (YAGHMAEI et al., 2018). Dessa forma, diminuir o grau de alteração do sistema fluvial é importante para a manutenção e sobrevivência dos ecossistemas terrestres e aquáticos. Segundo Richter et al. (1997), os métodos comumente utilizados para definir requisitos de vazão mínima são muito simples para o tratamento de complexas interações que ocorrem nos ecossistemas. Collischonn et al. (2005) observam ainda que a chamada vazão ecológica, tida como a vazão mínima legal a ser mantida no trecho de um rio a jusante de um barramento com o objetivo de permitir o funcionamento do ecossistema aquático, desconsidera outros aspectos do regime hidrológico e sua variação temporal. Segundo os autores, o hidrograma ecológico constitui uma alternativa mais adequada, uma vez que estabelece vazões a serem mantidas nos rios ao longo do tempo de modo a compatibilizar usos humanos e ecossistêmicos, compreendendo outros períodos que caracterizam o regime hidrológico e suas inter-relações ecológicas. XU et al. (2017) observam ainda que a vazão ecológica pode não ser suficiente para determinadas espécies.

Ecossistemas ribeirinhos possuem diversos requisitos de vazão ecológica em diferentes períodos para manter funções ecológicas distintas (HE et al., 2018). Portanto a avaliação das características do regime de escoamento em uma bacia é essencial para que se possa entender e até mesmo prever impactos sobre a biota.

Nesse sentido, foram desenvolvidas mais de 170 metodologias para caracterizar diferentes componentes do regime de escoamento e comparar as mudanças ocorridas entre períodos pré e pós-impacto (OLDEN e POFF, 2003). A Tabela 2 resume as principais informações de alguns trabalhos de literatura que utilizaram metodologias de quantificação de alteração hidrológica. Algumas das principais metodologias adotadas são apresentadas nos subtópicos posteriores.



Tabela 2. Exemplos de estudos de literatura que utilizaram metodologias de quantificação da alteração hidrológica.

Referência	Objeto de estudo	Características da área de estudo		Dados hidrológicos			Metodologia de quantificação	
		Área de estudo	Área de drenagem	Natureza dos dados	Modelo	Extensão da série	Métrica utilizada	Extensão da série (pré e pós)
Chen (2012)	Mudança na série histórica	Rio Yarlung Zangbo (Tibet)	239.228 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	40 anos	RVA	20 e 20 anos
Gao et al. (2012)	Mudanças climáticas e reservatórios	Rio Yangtze (China)	1 mi km <sup>2</sup>	Observados	N/A	117 anos	Eco-métricas e IHA	47 / 29 (pré) e 17 (pós) anos
Li et al. (2017)	Hidrelétricas	Rio Mekong (Ásia)	795.000 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	54 anos	Eco-métricas e IHA	31 (pré), 17 (transição) e 4 (pós) anos
Lin et al. (2017)	Mudança na série histórica	Delta do rio Pearl (China)	*	Observados	N/A	50 anos	IHA/RVA/HMA	29 e 19 anos 18 e 35 anos
Lu et al. (2018)	Hidrelétrica - PCH	Rio Jiulong (China)	14.741 km <sup>2</sup>	Sintéticos	Modelo distribuído*	54 anos	IHA	~12 (pré) e ~ 23 e 8 (pós) anos
Mittal et al. (2014)	Reservatórios e Mudanças climáticas	Rio Kangsabati (Índia)	5.796 km <sup>2</sup>	Sintéticos	SWAT	60 anos e 29 anos	IHA, RVA, EFC	15 e 36 anos 29 e 29 anos
Pfeiffer e Ionita (2017)	Mudanças climáticas e outros	Rios Elbe e Rhine (Alemanha)	148.268 km <sup>2</sup> e 185.260 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	~ 200 anos	RVA	~ 100 e 60 anos
Ryo et al. (2015)	Hidrelétricas	Rio Sagami (Japão)	1.680 km <sup>2</sup>	Sintéticos	Modelo distribuído*	20 anos	IHA	10 e 10 anos
Santos et al. (2017)	Hidrelétrica	Rio São Francisco (Brasil)	641.000 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	80 anos	IHA	42 e 36 anos
Sojka et al. (2016)	Reservatório	Rio Główna (Polônia)	*	Observados	N/A	41 anos	RVA	12 e 28 anos
Song et al. (2018)	Efeito cascata de reservatórios	Rio Hanjiang (China)	63.800 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	50 anos	RVA	9 (pré) e 26, 8 e 4 (pós) anos
Souza et al. (2017)	Reservatórios no semi-árido	Rios Itapicuru, Paraguaçu e afluentes (Brasil)	55.317 km <sup>2</sup> e 36.440 km <sup>2</sup>	Sintéticos	MGB-IPH	27 anos e 28 anos	DHRAM	27 anos e 28 anos

Talukdar e Pal (2017)	Reservatório	Rio Punarbhaba (Bangladesh)	5.265 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	36 anos	RVA	14 e 22 anos
Xue et al. (2017)	Irrigação	Rio Tarim (China)	1,02 mi km <sup>2</sup>	Observados	N/A	57 anos	IHA/RVA	15, 16 e 19 anos
Zhang et al. (2014)	Hidrelétrica	Rio East (China)	35.340 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	~57 anos	IHA, RVA e EFC	21 e 35 anos*
Zhang et al. (2018)	Reservatórios	Rio Yellow (China)	752.440 km <sup>2</sup>	Observados	N/A	49 anos*	Ecométricas, IHA e DHRAM	33 e 15 anos

N/A: Não se aplica; \* Dado não disponível

Fonte: Autora (2019)

### 3.2.1. Indicadores de Alteração Hidrológica - IHA

Os Indicadores de Alteração Hidrológica (IHA) foram propostos por Richter et al. (1996) para avaliar quantitativamente o grau de impacto das atividades humanas nos regimes hidrológicos. Baseados em uma série histórica de vazões médias diárias, os IHA caracterizam estatisticamente a variabilidade temporal dos regimes hidrológicos e quantificam as alterações associadas a eventos específicos por meio da comparação entre o período anterior e posterior ao impacto (RICHTER et al., 1996). O método utiliza 33 indicadores hidrológicos de relevância ecológica, que são divididos em cinco grupos baseados na combinação de aspectos considerados fundamentais dos regimes hidrológicos: magnitude, período de ocorrência, duração, frequência e taxa de mudança (Figura 2, Tabela 3).

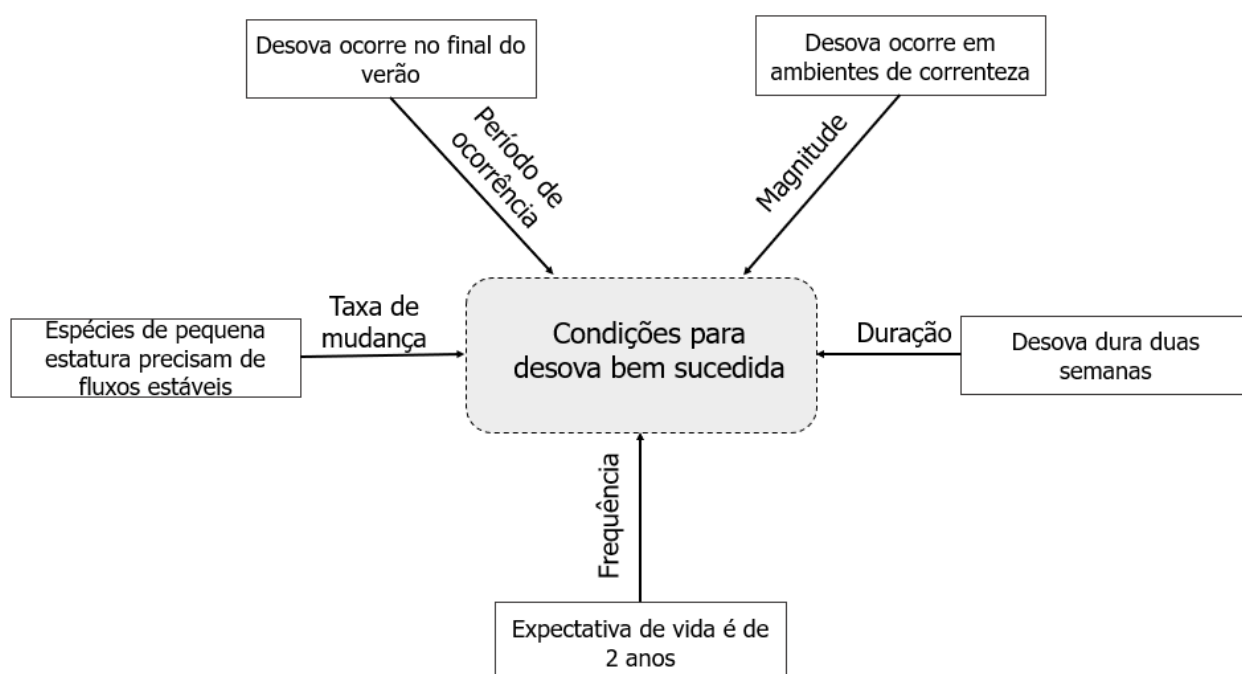


Figura 2. Exemplo da influência de diferentes aspectos do regime hidrológico no ciclo de vida de determinada espécie de peixe.

Fonte: Adaptado de Mathews e Richter (2007)

Tabela 3. Variáveis hidrológicas do IHA

Grupo estatístico IHA	Importância ecológica	Indicadores hidrológicos
Grupo 1 Magnitude mensal das condições hidrológicas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponibilidade e adequação de habitat para organismos aquáticos;</li> <li>Umidade do solo para plantas e água para animais terrestres.</li> </ul>	Vazão média para cada mês do ano
Grupo 2 Magnitude e duração das condições extremas anuais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Perturbação e/ou mortalidade no ecossistema;</li> <li>Processos reprodutivos específicos;</li> <li>Estruturação de ecossistemas aquáticos.</li> </ul>	Mínimas anuais de 1, 3, 7, 30 e 90 dias Máximas anuais de 1, 3, 7, 30 e 90 dias Nº de dias com vazões nulas Índice de fluxo de base
Grupo 3 Período de ocorrência das condições extremas anuais	<ul style="list-style-type: none"> <li>Grau de perturbação ou estresse (natureza sazonal);</li> <li>Fases específicas do ciclo de vida;</li> <li>Grau de estresse ou mortalidade associado a inundações ou secas.</li> </ul>	Dia juliano de máxima anual Dia juliano de mínima anual
Grupo 4 Frequência e duração de altos e baixos pulsos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponibilidade de habitats em planícies de inundação para organismos aquáticos;</li> <li>Troca de nutrientes e matéria orgânica entre rio e planície de inundação.</li> </ul>	Nº anual de baixos pulsos Duração média anual de baixos pulsos Nº anual de altos pulsos Duração média anual de altos pulsos
Grupo 5 Taxa de frequência das condições de mudanças da água	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidade de raízes de plantas de manter contato com o lençol freático;</li> <li>Atração de organismos para planícies de inundação.</li> </ul>	Taxa de ascensão Taxa de recessão Número de reversões

Fonte: Adaptado de Richter et al. (1996; 1997)

Para Richter et al. (1996), os 33 indicadores do IHA fornecem uma representação detalhada do regime hidrológico. Enquanto o grupo 1 agrupa as vazões médias/medianas mensais, o grupo 2 caracteriza as vazões mínimas e máximas em função de sua magnitude e duração, seguindo ciclos naturais e humanos (RICHTER et al., 1996). Vasco (2015) salienta que as maiores durações são de maior interesse quando se trata de gestão de recursos hídricos, uma vez que uma continuação de valores baixos, por exemplo, representaria condições ambientais mais críticas. O indicador índice de fluxo de base é calculado pela razão entre a vazão mínima anual de 7 dias e a vazão média anual (LI et al., 2017; POFF e WARD, 1989). O terceiro grupo é composto pelos dias de mínima e máxima anual, ou seja, os dias do ano em que ocorrem a menor e a maior vazão, respectivamente. O grupo 4 está relacionado ao conceito de pulsos, medindo o número de ocorrências anuais nas quais a vazão excede um dado limite superior ou inferior e a sua duração. Segundo Richter et al. (1996), os chamados pulsos hidrológicos ocorrem para valores de vazão média diária acima do 75º percentil (alto pulso) ou abaixo do 25º percentil (baixo pulso) da série histórica do período pré-impacto. Por fim, os quatro indicadores do grupo 5 medem a taxa média anual de mudanças positivas (taxa de ascensão), negativas (taxa de recessão) e do número total de mudanças (reversões) nas condições da água.

Os IHA têm sido extensamente utilizados para avaliar alterações no regime fluvial considerando diferentes fatores como barramentos (REMO et al., 2018; SOJKA et al., 2016; YU et al., 2016; ZHANG et al., 2014; ZHAO et al., 2012), atividades de irrigação (XUE et al., 2017) e alterações climáticas (EUM, DIBIKE e PROWSE, 2017; LIN et al., 2017; YANG, 2017). Além disso, embora a maioria dos estudos utilizem dados de vazão, o IHA também pode ser utilizado com outros dados hidrológicos como nível de água e área inundada, por exemplo (ASSAHIRA et al., 2017; RICHTER et al., 1996; SONG et al., 2016; TALUKDAR e PAL, 2017; TNC, 2009).

Segundo Richter et al. (1996), a sensibilidade do método ao tamanho do período de tempo analisado aumenta com a redução do tamanho da série histórica utilizada, sendo indicada uma extensão mínima de 20 anos de dados diários de modo a abranger a variabilidade climática natural. Outra limitação do método consiste na impossibilidade de identificar a origem dos impactos, ou seja, para aplicação do IHA, devem ser assumidas as causas dos impactos a serem avaliados. Além disso, muitos indicadores são intercorrelacionados, promovendo certa redundância e dificultando a avaliação (OLDEN e POFF, 2003).

### **3.2.2. Abordagem da Faixa de Variabilidade - RVA**

Após a disseminação dos IHA, surgiram questionamentos acerca de recomendações para determinação de vazões ambientais. Assim, para determinar “metas” de vazão ambiental com base na variabilidade natural do regime hidrológico e quantificar a alteração hidrológica a partir dos 33 IHA, Richter et al. (1997) desenvolveram a Abordagem da Faixa de Variabilidade (em inglês, *Range of Variability Approach* ou RVA). O RVA tem como objetivo definir condições iniciais de gestão baseadas no comportamento natural do escoamento, ou seja, ser um ponto de partida para estratégias de gestão adaptativas de modo que os limites estabelecidos pelo método e as estratégias de gestão devam ser revisados periodicamente.

O RVA emprega as condições prévias ao impacto de alguma intervenção humana (condições pré-impacto) ou condições naturais do regime hidrológico para estabelecer faixas alvo para os IHA, ou seja, para estabelecer uma faixa desejável de valores para o período pós-impacto (WANG et al., 2015). A faixa desejável é então definida com base em medidas estatísticas de dispersão (desvio padrão ou percentis) de valores anuais ao redor de uma tendência central (média ou mediana) para cada indicador tomando como base o período pré-impacto. O funcionamento do RVA está representado na Figura 3.

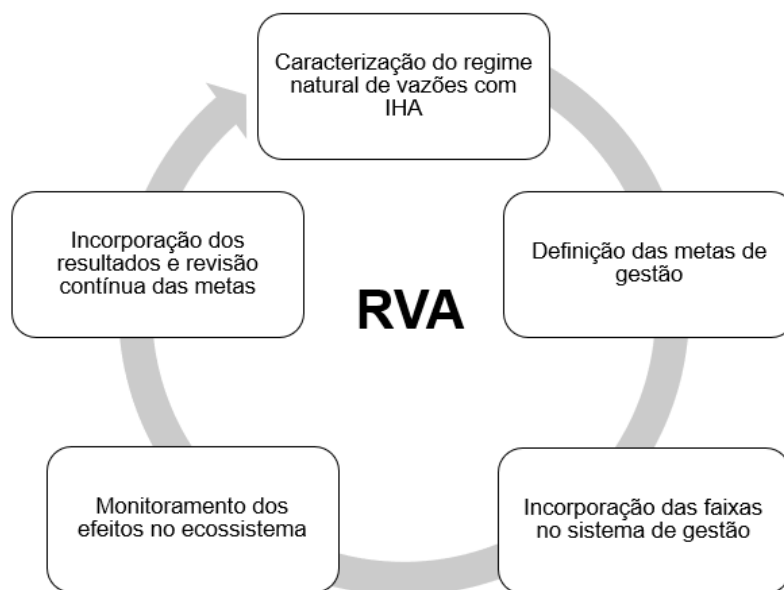


Figura 3. Esquema de aplicação prática do RVA para gestão de corpos hídricos.  
Fonte: Adaptado de Richter et al. (1997)

O grau de variação das condições naturais do regime hidrológico é determinado com base na frequência anual de valores dentro ou fora da faixa desejada. Valores positivos indicam que a frequência de valores de cada indicador é maior do que a esperada, enquanto um valor negativo indica que a frequência foi menor do que a esperada. Em termos absolutos, para Richter et al. (1998), uma alteração de 0 a 33% é considerada baixa; entre 33% e 67% é considerada alteração moderada; e acima de 67% ocorre uma alteração elevada. Para automatizar os cálculos dos IHA e do RVA, foi desenvolvido o *software* IHA, sendo a versão 7.1 (TNC, 2009) a mais atual.

Alguns autores criticaram a metodologia porque ela considera, para fins de cálculo da alteração hidrológica, apenas a ocorrência ou não do valor médio ou mediano anual dentro da faixa desejada, desconsiderando as variações que ocorrem em seu interior (MATHEWS e RICHTER, 2007; SHIAU e WU, 2008). Além disso, a abordagem original do RVA considerava apenas a categoria central (valores entre o 25º e o 75º percentil da série pré-impacto) para efeito de quantificação da alteração hidrológica, sendo ainda incipientes os trabalhos que incorporam análises das categorias inferior (abaixo do 25º percentil da série pré-impacto) e superior (acima do 75º percentil da série pré-impacto).

Em razão dessas limitações, a versão atual do *software* IHA utiliza a divisão da série pré-impacto em três classes iguais de percentil ( $\leq 33\%$ ;  $34\% - 67\%$ ;  $> 67\%$ ), permitindo que seja avaliada a mudança em cada uma (TNC, 2009). No entanto a maioria dos estudos ainda utiliza apenas a categoria central para contabilização da alteração hidrológica (ALRAJOULA et al., 2016; PFEIFFER e

IONITA, 2018; SANTOS e SOUZA, 2015; SONG et al., 2016; WANG et al., 2015; ZHAO et al., 2012).

### 3.2.3. Componentes de Vazão Ambiental

A dificuldade de se estabelecer metas de vazão ambiental com base nos IHA e de aplicá-las na prática, principalmente em razão da existência de interferências externas - como as variações climáticas -, motivou a criação de uma nova metodologia que traduzisse tais recomendações de maneira mais prática (MATHEWS e RICHTER, 2007).

Os *Environmental Flow Components* – EFC (em português, Componentes de Vazão Ambiental), desenvolvidos por Mathews e Richter (2007), foram elaborados com o objetivo de traduzir mais facilmente as condições naturais de escoamento em recomendações de vazões ambientais. Os autores definiram os cinco principais componentes do escoamento que devem ser mantidos para assegurar a integridade ecológica de ambientes fluviais: vazões baixas, vazões extremamente baixas, vazões de alto pulso, pequenas inundações e grandes inundações (Figura 4) (TNC, 2009).

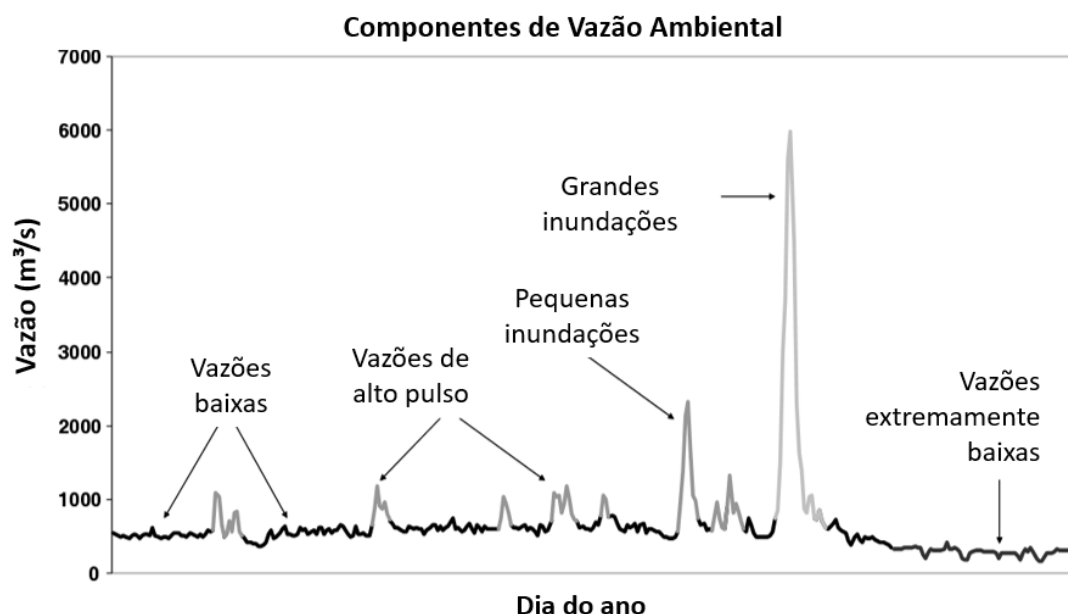


Figura 4. Exemplificação dos Componentes de Vazão Ambiental.  
Fonte: Adaptado de Mathews e Richter (2007)

- **Vazões baixas**

Representam a condição predominantemente na maior parte do tempo, influenciando na diversidade de organismos.

- **Vazões extremamente baixas**

Ocorrem durante os períodos mais secos, restringindo o movimento de organismos e influenciando nas características químicas da água. São frequentemente associadas a elevadas temperaturas e baixas concentrações de oxigênio dissolvido.

- **Pulsos de vazão alta**

Ocorrem durante os períodos mais chuvosos quando há um aumento na vazão do rio, mas sem o transbordamento para a planície. São importantes para elevar níveis de oxigênio dissolvido e controlar a temperatura da água, além de proporcionar acesso de organismos a diferentes trechos do rio.

- **Pequenas inundações**

Inundações que ocorrem com mais frequência do que as grandes inundações (2 – 10 anos) e resultam no extravasamento para a planície. São importantes principalmente para a alimentação de peixes e outros organismos.

- **Grandes inundações**

Inundações que ocorrem mais raramente, movimentando grandes quantidades de sedimento e matéria orgânica. Pode resultar na formação de novos habitats, mas também ter efeitos nocivos a diversos organismos.

O EFC foi inserido no *software* IHA em 2005. Usualmente são realizados estudos utilizando concomitantemente os IHA e EFC, dada a praticidade do uso do *software*, gerando ao todo 67 indicadores (33 do IHA e 34 do EFC). Assim, o programa categoriza cada dado diário de vazão em uma das cinco categorias descrevendo sua magnitude, frequência, período de ocorrência e taxa de ascensão e recessão quando aplicável (MATHEWS e RICHTER, 2007).

Zhang et al. (2014) utilizaram o RVA e o EFC para investigar, a partir de dados observados, as alterações ocasionadas por barramentos na bacia do rio Pearl, na China, e concluíram que o regime do rio foi severamente modificado. Os autores observaram um aumento na frequência de altos e baixos pulsos de curta duração, nas taxas de ascensão e recessão e no número de reversões. Mittal et al. (2014) avaliaram por meio do EFC as modificações ocasionadas pela construção de uma barragem de capacidade próxima a 246,7 milhões m<sup>2</sup> na Índia, e simularam o efeito esperado devido às mudanças climáticas. Foi observada forte redução da vazão mínima de 30 e 90 dias, além da redução das vazões máximas de diferentes durações. Os autores constataram que a variabilidade do regime de vazões diminuiu com a construção da barragem e que, se associada às mudanças climáticas, as reduções seriam ainda maiores, afetando negativamente os ecossistemas locais.

#### **3.2.4. Eco-métricas**

Outra abordagem consiste nas Eco-métricas, desenvolvidas por Vogel et al. (2007). Com base nas curvas de permanência, essa metodologia utiliza os conceitos de *eco-déficit* e *eco-surplus*, representando a razão entre o déficit ou excedente de vazão pela vazão média, refletindo a perda ou ganho de água no rio em diferentes períodos. Dessa forma, as mudanças no regime fluvial de um rio

podem ser analisadas utilizando um número sucinto de indicadores. Outra vantagem do método consiste na possibilidade de utilização com intervalos de tempo menores do que os requeridos nos demais métodos (VOGEL et al. 2007; WANG et al., 2018).

Os 25º e 75º percentis da curva de duração são utilizados como limite inferior e superior, respectivamente, correspondendo ao intervalo desejável para fins de gestão de corpos hídricos. Dessa forma, a área da curva de duração acima do 75º percentil representaria o excedente de vazão, e a área abaixo do 25º percentil representaria o déficit.

Gao et al. (2012) utilizaram eco-métricas e os IHA para avaliar, a partir de dados observados, mudanças no rio Yangtze, na China, e indicaram que o reservatório da hidrelétrica de Três Gargantas ocasiona considerável redução de vazão, especialmente no outono, ao passo que ocorre um aumento vazões no verão e primavera. Os autores constataram ainda boa coerência entre os resultados obtidos pelas duas metodologias, atestando que as eco-métricas podem abranger as principais mudanças. Entretanto os resultados indicaram que as eco-métricas podem perder algumas informações acerca do regime de escoamento, especialmente em relação aos indicadores número de reversões, data de máxima e mínima anual e contagem e duração de baixos pulsos.

Wang et al. (2018) utilizaram eco-métricas para investigar o efeito cascata de reservatórios no mesmo rio Yangtze, considerando diferentes cenários utilizando o modelo SWAT (ZHANG et al., 2012). Os autores constataram que conforme aumenta o número de barragens, aumenta a magnitude de modificação no regime do rio e que mudanças significativas foram observadas no eco-surplus e eco-déficit. Outros estudos utilizaram as eco-métricas junto a outras metodologias como IHA e DHRAM para definir a combinação de indicadores que definem satisfatoriamente a alteração hidrológica e constataram que as eco-métricas fornecem, no geral, uma boa visão das mudanças hidrológicas (GAO et al., 2009; ZHANG et al., 2015; ZHANG et al., 2018).

### **3.2.5. Método Dundee de Alteração do Regime Hidrológico**

Tomando como base as métricas dos IHA, Black et al. (2005) desenvolveram o *Dundee Hydrological Regime Alteration Method* – DHRAM (em português, Método Dundee de Alteração do Regime Hidrológico), para avaliar o grau de alteração dos rios em bacias da Escócia e Irlanda do Norte. O método utiliza a atribuição de pontos de impacto (de 0 a 30) com base no percentual de alteração média de valor e coeficiente de variação de cada grupo de indicadores do IHA para determinar o nível de alteração dos rios.

No método, os limites inferiores indicam que as interferências antrópicas começaram a causar impacto nos ecossistemas, enquanto o limite superior indica impactos considerados elevados. Black et al. (2005) sugeriram valores de percentis para estabelecer os limites, de modo que os pontos de impacto variem entre 0 (ultrapassa o limite inferior) e 3 (maior que o limite superior). Assim, a soma



dos pontos para cada grupo define a pontuação total. Quanto maior a pontuação, maior o impacto que o sistema tem no regime e maior o risco para os ecossistemas. Os pontos permitem então a determinação de classes, que variam entre 1 – Condição Não Impactada e 5 – Condição Severamente Impactada.

Souza et al. (2017) verificaram a adequação da metodologia DHRAM nos rios do semiárido para investigar o impacto ocasionado pelas barragens. Os autores concluíram que a metodologia possui limitações, especialmente quanto a não consideração da variabilidade natural dos rios da região, superestimando impactos. Contudo adaptações como o ajuste dos limites às condições locais fizeram com que ela se tornasse aplicável à região. A metodologia também foi utilizada por outros autores (GAO et al., 2009, ZHANG et al., 2015; ZHANG et al., 2018).

### 3.3. Planícies de Inundação

#### 3.3.1. Aspectos Gerais

As planícies de inundação são áreas periodicamente inundadas pelo transbordamento da água de rios e lagos sobre a planície (JUNK, BAYLEY, SPARKS, 1989). Esse processo pode retardar e amortecer picos de vazão em função da diminuição da água transportada pelo canal principal (PAZ, 2010).

A Figura 5 exhibe o comportamento das planícies de inundação, de maneira simplificada, durante os períodos de estiagem e cheia. Sob condições de estiagem, o escoamento dos rios ocorre confinado na calha, de modo a existirem condições distintas em habitats aquáticos e terrestres. No período de chuvas, após a elevação do nível da água no rio, pode ocorrer o extravasamento da água para a planície, que a armazena temporariamente, podendo ainda conduzir o escoamento, criando novos caminhos (PAZ, 2010). A água armazenada na planície de inundação pode ainda evaporar, infiltrar ou retornar para o canal por escoamento superficial, subsuperficial e subterrâneo, ficando muitas vezes acumuladas em depressões, constituindo importantes sítios reprodutivos (PAZ, 2010).

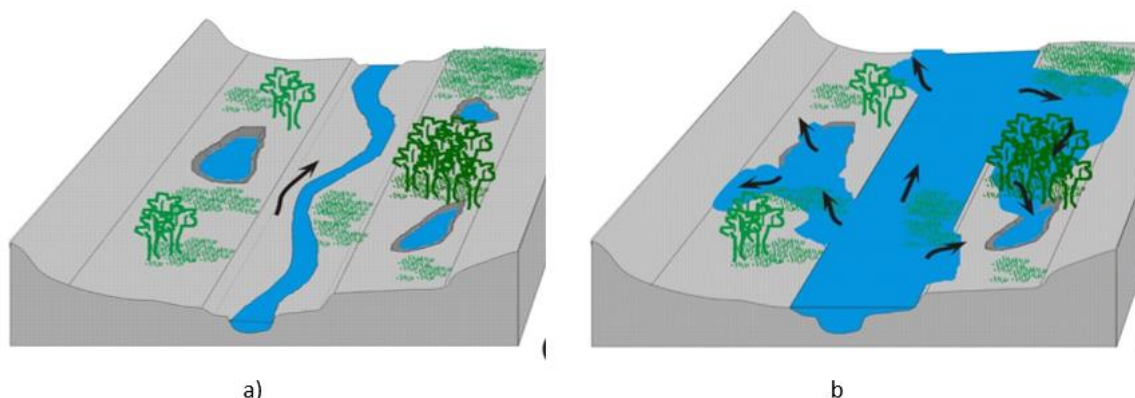


Figura 5. Representação de uma planície de inundação no período de a) estiagem e b) cheia.  
Fonte: PAZ (2010)

As planícies de inundação e a conexão existente entre essas regiões e os rios são de grande importância para realização de serviços ambientais como recarga de aquíferos, purificação da água, troca de sedimentos e biota entre os rios e planícies e ciclagem de nutrientes (ASSAHIRA et al., 2017; KARIM et al., 2015; SAYAMA et al., 2012; TALUKDAR e PAL, 2007; XU et al., 2017).

Esse processo de extravasamento é regido pelo chamado pulso de inundação. Para Junk, Bayley e Sparks (1989), a área de superfície inundada e a profundidade da lâmina d'água são submetidas a flutuações sazonais e essas variações estão ligadas às características limnológicas, ecológicas e biológicas desses ecossistemas. Karim et al. (2015) conceituam pulso de inundação como sendo a força motriz que cria ecossistemas heterogêneos e de grande diversidade. Em função da dependência da dinâmica sazonal de inundação, esses ambientes são considerados complexos e os ecossistemas frágeis e susceptíveis a perturbações externas.

### **3.3.2. O bioma Pantanal**

O Pantanal é um bioma localizado na região centro-oeste do Brasil e conhecido como a maior planície de inundação contínua do mundo (ALHO et al., 1988). A região possui forte ligação com outros biomas, especialmente com a Amazônia e o Cerrado, com os quais faz fronteira. Bergier et al. (2018) afirmam que o desmatamento da floresta Amazônica está ligado a segurança hídrica e conservação dos serviços ecossistêmicos do Pantanal, que, por sua vez, dão base para diversas atividades econômicas como turismo, pecuária, pesca e outros. Além disso, o Pantanal apresenta fortes características do bioma Cerrado, especialmente no que se refere a sua vegetação.

A região é reconhecida por sua grande biodiversidade e pelos complexos processos sazonais que moldam sua estrutura e funcionamento. Embora o processo de inundação do Pantanal ocorra sazonalmente, ocorrem mudanças a nível espacial e temporal e essa variabilidade é crucial para a dinâmica de habitats e para a movimentação da biota aquática, ciclagem de nutrientes e matéria orgânica suspensa (JUNK, BAYLEY e SPARKS, 1989; JUNK e CUNHA, 2005). As baixas declividades e pouca diferença de altitude entre os rios e a planície aliadas a fortes precipitações durante períodos chuvosos são fatores determinantes para a inundação de grandes extensões de terra na região (CARVALHO, 1986). De acordo com Silva e Girad (2004), o aumento ou diminuição da área inundada possui influência na concentração de elementos biogeoquímicos como fósforo e nitrogênio, na biodiversidade de peixes e aves aquáticas, na produção de biomassa e na diversidade de macrófitas aquáticas. Para Oliveira et al. (2014), a relação da biodiversidade com o pulso de inundação é tão forte que as inundações podem ser consideradas filtros biológicos, regulando o número de indivíduos e a composição de espécies.

A fauna íctica da região é um dos maiores exemplos da forte dependência do pulso de inundação. Das mais de 250 espécies de peixes do Pantanal, pelo menos 20 são peixes de piracema,

como o jaú (*Zungaro zungaro*), pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), pacú (*Piaractus mesopotamicus*) e dourado (*Salminus maxillosus*). Esses peixes movimentam-se em função do pulso de inundação e, assim como o pulso, sua movimentação possui caráter sazonal. O seu ciclo de vida ocorre em função de uma conexão longitudinal, permitindo o acesso aos sítios de reprodução, localizados no planalto da bacia, e outra lateral, para alimentação e crescimento. Na época de vazante, os peixes migram rio acima para alcançar sítios de reprodução, enquanto que após o início do período chuvoso, descem para o Pantanal para se alimentarem (SUÁREZ, PETRERE JUNIOR e CATELLA, 2001). Os picos de inundação são de grande importância nesse sentido uma vez que mantem a conexão lateral, possibilitando que os peixes se desloquem para lagos e depressões, onde se alimentam e se desenvolvem. Intervenções humanas, a exemplo de barramentos, podem comprometer tais movimentos, cortando a conexão longitudinal. Além disso, os peixes de piracema têm como função biológica o transporte de nutrientes ao longo do rio, levando nutrientes para regiões a montante da bacia.

As aves da região também possuem forte relação com os pulsos de inundação, especialmente as aves aquáticas e migratórias como a cabeça-seca (*Mycteria americana*), marrecão (*Netta pepysaca*), caraúna (*Plegadis chihi*) e colhereiro (*Platalea ajaja*) (ANTAS, 1994). Essas aves habitam áreas alagadas e sua alimentação e reprodução dependem do pulso de inundação. Adicionalmente, diversas espécies de mamíferos, anfíbios e répteis também dependem direta ou indiretamente desse processo sazonal, permanecendo parte do seu ciclo de vida em regiões úmidas ou secas.

Estudos recentes mostram que o Pantanal ainda possui elevado grau de conservação, contudo são crescentes as ameaças a esse bioma (JUNK e CUNHA, 2005; SILVA e GIRARD, 2004). Um exemplo é o aumento no desmatamento nas regiões do planalto para implementação de pastagens e atividades agrícolas, resultando em um aumento da erosão e no carreamento de sedimentos que são depositados nos leitos dos rios, intensificando as inundações em alguns trechos (SEIDL, SILVA e MORAIS, 2001). Outra ameaça diz respeito às mudanças climáticas, mais precisamente o aumento das temperaturas e mudanças no regime de chuvas, e sua interferência na ocorrência e duração das inundações (COLLISCHONN e TUCCI, 2001; IORIS, IRIGARAY e GIRARD, 2014; MARENGO, OLIVEIRA e ALVES, 2015). Vale salientar que as planícies de inundação fornecem um importante serviço ecossistêmico ao amenizar a temperatura da região em razão de sua intensa taxa de evaporação.

Contudo a construção de barragens e hidrelétricas representa uma das maiores ameaças à região. O efeito regulador das barragens tende a reduzir os picos de inundação durante o período de cheia e aumentar as vazões mínimas, de modo que o transbordamento do canal para a planície sofra alterações e possa vir a não ocorrer, reduzindo o pulso de inundação. Por outro lado, o aumento das

vazões durante o período seco resulta em picos de inundação prematuros, que podem causar, por exemplo, a mortalidade de espécies terrestres que colonizam os bancos de areias (SILVA e GIRARD, 2004; WANTZEN, DRAGO e SILVA, 2005).

O impacto das hidrelétricas sobre os peixes é especialmente preocupante dada sua importância para a economia da região e sobrevivência de populações ribeirinhas. Os principais peixes de valor econômico da região são de espécies migratórias, a exemplo do pacu, pintado, dourado e piraputanga, e podem ter sua rota de migração bloqueada pelas barragens (ANA, 2004; SUÁREZ, PETRERE JUNIOR e CATELLA).

Muitos estudos avaliaram os impactos das hidrelétricas no Pantanal investigando mudanças na dinâmica de lagos (SILIO-CALZADA et al., 2017); processo migratório de pássaros (ANTAS, 1994; PINHO e MARINI, 2011); impactos sobre os peixes (QUIRÓS, BECHARA e RESENDE, 2007; CEBALHO et al., 2017); água subterrânea (GIRARD, SILVA e ABDO, 2003) e qualidade de água (FANTIN-CRUZ et al., 2015a). No entanto poucos avaliam seus efeitos sobre o regime de inundações e área inundada no Pantanal (FANTIN-CRUZ et al., 2015b; ZEILHOFER e MOURA, 2009).

### **3.3.3. Modelagem hidrológica de planícies de inundação**

Modelos matemáticos podem ser utilizados para auxiliar a compreensão de fenômenos hidrológicos e na previsão de cenários, auxiliando no planejamento integrado de bacias e fornecendo alternativas de desenvolvimento (BRAMBILLA, FONTES e MEDEIROS, 2017). Para a realização de estudos que avaliem condições hipotéticas ou situações passadas/futuras, é comumente utilizado o artifício de definição de cenários, que podem ser avaliados por meio da modelagem. Essa abordagem permite que se conheçam tais situações e que sejam antecipadas ações preventivas, o que auxilia na tomada de decisões e serve como uma ferramenta para sistemas de alerta e previsão, evitando grandes desastres e prejuízos econômicos.

A modelagem distribuída pode ser especialmente interessante em grandes áreas, uma vez que a discretização em unidades menores permite a consideração da variabilidade espacial da região. Nesse sentido, Sistemas de Informação Geográficas (SIG) têm auxiliado o desenvolvimento de modelos, permitindo a obtenção, processamento e tratamento de grandes volumes de dados e facilitando a aquisição de informações de áreas extensas e de difícil acesso. Ryo et al. (2015) utilizaram um modelo hidrológico distribuído para simular a variação espaço-temporal do regime hidrológico do rio Sagami, no Japão, e calcularam os IHAs para todas as células do modelo.

Outra vantagem da modelagem consiste na possibilidade de isolar efeitos que se deseja avaliar. Dados observados de dois períodos históricos diferentes contém, além do impacto da

intervenção a ser avaliada, outras condicionantes distintas, como condições atmosféricas, regimes pluviométricos e mudanças de uso do solo. Além disso, existem incertezas quanto aos dados de vazão observada, como a alteração de seção transversal e mudança de curva-chave, por exemplo. Dados sintéticos gerados por modelagem eliminam efeitos adicionais, permitindo a construção de cenários pré e pós-impacto idênticos, exceto pela intervenção que se deseja estudar. Nesse contexto, Lu et al. (2018) utilizaram modelagem distribuída visando isolar os efeitos climáticos em dados de vazão observada a fim de avaliar o impacto causado por hidrelétricas na bacia do rio Jiulong, na China.

No que tange a simulações em planície de inundação, a modelagem tradicional muitas vezes não é suficiente para simular os complexos processos existentes nesses ambientes (PAZ, 2010). De acordo com Paz, Collischonn e Tucci (2010), a representação matemática das trocas de água entre canal e planície e do escoamento sobre a planície requer uma abordagem específica, caso se deseje simular padrões de inundação na planície. Para essas áreas, modelos diversos específicos foram desenvolvidos buscando representar processos hidrológicos de extravasamento, transporte de sedimentos e nutrientes e previsão de impactos com base no uso do solo e mudanças climáticas (PONTES, 2016).

Com o objetivo de formular uma ferramenta para auxiliar e agilizar a tomada de decisões em razão das grandes inundações no Paquistão, Sayama et al. (2012) desenvolveram um modelo bidimensional que simula os processos de chuva-vazão e de inundação simultaneamente, baseados nas equações da onda difusiva. O modelo foi validado a partir de mapas de inundação obtidos pelo sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS) e bons resultados foram obtidos quanto à identificação de áreas inundadas. Para simular a conectividade entre os rios e a planície em uma região da Austrália frente a diferentes condições de uso do solo e hidroclimáticas, Karim et al. (2015) propuseram a integração entre um modelo chuva-vazão e um modelo hidrodinâmico. O primeiro foi utilizado para cálculo das vazões das áreas de contribuição a montante da planície, enquanto o modelo hidrodinâmico bidimensional (2D) Mike 21 foi empregado para simular a planície de inundação. Esse último utilizou imagens do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de resolução de 30 metros para reproduzir a topografia e rede de drenagem da planície.

No Brasil, modelos foram desenvolvidos e adaptados para planícies de inundação da bacia Amazônica e do rio da Prata. Saraiva (2007) desenvolveu um modelo hidrodinâmico com base nas equações de Navier-Stokes e da continuidade para simular espaço-temporalmente a variação do nível de água em áreas de planície de inundação da região amazônica. Paiva et al. (2013) utilizaram o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH para representar o regime hidrológico da bacia Amazônica e reportaram algumas limitações na simulação do nível de água e extensão de área inundada.

Bravo et al. (2012) combinaram modelos hidrológico MGB-IPH e hidrodinâmico unidimensional (1D) HEC-HAS para simular a BAP e parte dos tributários do rio Paraguai, e

representar a propagação de vazão da rede de drenagem principal, respectivamente. O modelo representou satisfatoriamente a propagação de vazão e a chuva-vazão na bacia, apresentando limitações em alguns pontos específicos. O MGB-IPH também foi adaptado por Pontes (2016), que aperfeiçoou o módulo de propagação de vazões utilizando o modelo inercial e a representação de processos hidrológicos da planície de inundação da bacia do rio da Prata (3.100.000 km<sup>2</sup>). O autor representou de forma satisfatória o regime de vazões, áreas inundadas e nível de água na referida bacia.

A escolha do modelo a ser utilizado deve levar em consideração os objetivos do estudo, a disponibilidade de dados e as características da bacia hidrográfica. A seguir, é apresentado o Sistema de Simulação de Rios e Planícies de Inundação (SIRIPLAN), modelo hidrológico desenvolvido para representação do regime de escoamento e de inundação do Pantanal.

## SIRIPLAN

O SIRIPLAN é um sistema de simulação desenvolvido por PAZ et al. (2011) que combina modelos 1D e 2D para representação do escoamento na calha dos rios e sobre a planície, respectivamente. Além disso, são acoplados no modelo módulos de conexão para o cálculo das trocas existentes entre rio e planície e representação do balanço hídrico vertical na planície. A Figura 6 exibe o esquema geral de funcionamento do SIRIPLAN.

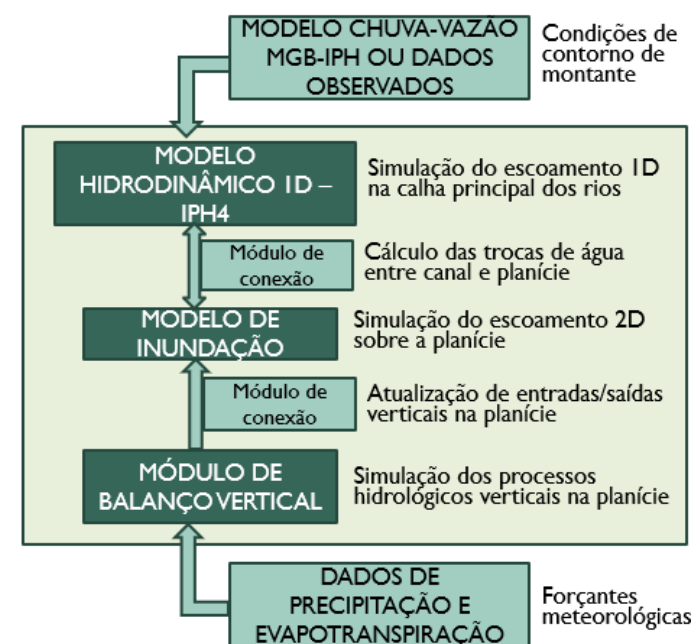


Figura 6. Visão geral do Sistema de Simulação de Rios e Planícies de Inundação  
Fonte: Adaptado de PAZ (2010)

O SIRIPLAN foi desenvolvido e aplicado à BAP com o objetivo de simular o comportamento espaço-temporal de inundações na planície, o regime de vazão na calha do rio e na planície, as trocas existentes entre o rio e a planície e processos verticais como evapotranspiração e precipitação (PAZ, COLLISCHONN e TUCCI, 2010; PAZ et al., 2011; PAZ et al., 2014).

Em seu processamento, enquanto o escoamento se dá apenas pela calha dos rios, somente o modelo hidrodinâmico 1D IPH4 é utilizado. A partir do momento em que o nível da água sobe e ocorre o transbordamento da água para a planície, o modelo de inundação (2D) é empregado, calculando o escoamento em função da elevação do terreno e diferença de níveis de água entre elementos.

Simultaneamente, o módulo responsável pelo balanço hídrico vertical sobre a planície simula ganhos e perdas pelos processos de precipitação e evapotranspiração, de modo que o saldo de água resultado desse balanço também contribui para a inundação da planície.

O desenvolvimento do SIRIPLAN propiciou ainda uma rotina computacional (denominada VehBin) para geração e organização automatizada de mapas de inundação resultantes da simulação hidrológica, com diferentes enfoques e escalas de tempo. Todo o sistema computacional do SIRIPLAN está desenvolvido em linguagem computacional FORTRAN.

### **Dados de entrada**

Para a modelagem 1D são utilizados como dados de entrada informações topológicas e geomorfológicas relativas à discretização dos canais em trechos como declividade, cota, área, largura, raio hidráulico, comprimentos, além de condições de contorno de montante e condições iniciais (PAZ, 2010). Para o modelo de inundação (2D) são necessários um Modelo Digital de Elevação (MDE) e condições iniciais, as quais são definidas em termos de profundidade ou lâmina d'água inicial de cada elemento, podendo a simulação ser iniciada com a planície seca ou com uma condição de inundação inicial resultado de simulação anterior.

As condições de contorno de montante do modelo 1D permitem a entrada de dados oriundos do processamento de modelos em áreas de contribuição a montante (Figura 7). As condições de contorno do modelo 2D são todas consideradas fechadas, ou seja, fluxo nulo pelas bordas do domínio numérico de simulação (PAZ, 2010).

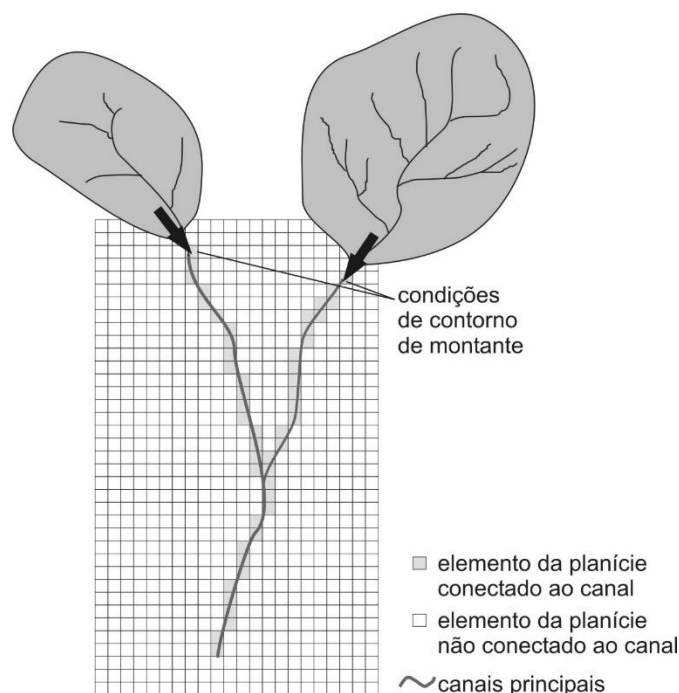


Figura 7. Exemplificação das áreas de contribuição às condições de contorno de montante e sua relação com os elementos da planície e os canais simulados pelo SIRIPLAN.  
 Fonte: PAZ (2010)

### Simulação na calha principal

A simulação na calha dos rios é realizada com o modelo hidrodinâmico 1D IPH4, que se baseia nas equações completas de Saint Venant (TUCCI, 1998). O modelo discretiza o canal em seções de acordo com dados de topografia e geomorfologia e a disponibilidade de dados de seções transversais, de modo que, para cada trecho, existam informações de cota, área, raio hidráulico e largura, comprimento e declividade do rio (PAZ, 2010). O modelo 1D possui passo de tempo específico, usualmente 1 hora.

### Simulação na planície

Para a simulação em planície, o SIRIPLAN se baseia nas formulações do modelo LISFLOOD-FP (BATES e DE ROO, 2000; HORRITT e BATES, 2001) com adaptações referentes às trocas de vazão entre planície e canal, entre elementos da planície, os processos verticais e o armazenamento da água no solo (PAZ, 2010).

A planície é discretizada em elementos retangulares, onde a variação de volume ao longo do tempo é dada pela soma das vazões dos elementos vizinhos, o resultado do balanço vertical, a contribuição lateral e o fluxo de água para o reservatório do solo (PAZ, 2010). O passo de tempo do modelo raster é definido especificamente, sendo em geral, em torno de minutos, devido a questões de instabilidade numérica.



A profundidade disponível para escoamento entre elementos da planície ( $h_{\text{fluxo}}$ ) é tida como a diferença entre o maior dos níveis de água e a maior elevação de fundo (Figura 8).

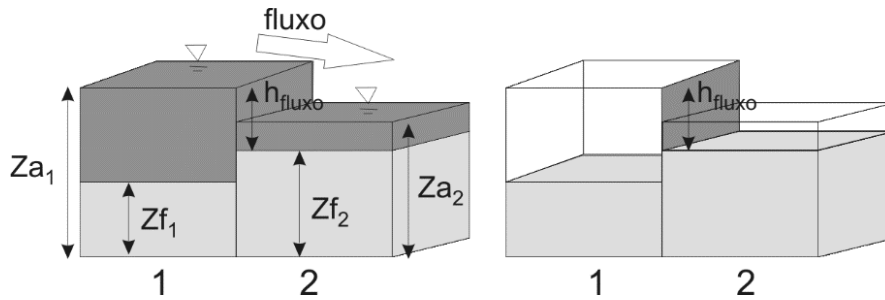


Figura 8 – Determinação da profundidade disponível para escoamento ( $h_{\text{fluxo}}$ ) entre dois elementos (1 e 2) do modelo raster:  $Z_a$  se refere à cota do nível da água e  $Z_f$  é a cota do fundo.

Fonte: PAZ (2010)

### Reservatório do solo

O SIRIPLAN considera um reservatório do solo como uma demanda ou perda de água para a superfície. Uma célula é então inundada se este reservatório estiver completamente preenchido (Equação 1).

$$h_{\text{solo}} = h_{\text{sub}} - H_{\text{smax}} \quad \text{Eq. 01}$$

onde  $h_{\text{solo}}$  é o volume a ser ocupado com água,  $h_{\text{sub}}$  representa a lâmina d'água,  $H_{\text{smax}}$  é a capacidade máxima do reservatório.

O termo  $h_{\text{solo}}$  admite sempre valores não positivos, variando de  $h_{\text{solo}} = 0$  (quando o reservatório está cheio) até  $h_{\text{solo}} = -H_{\text{smax}}$ , quando o reservatório está vazio (PAZ, 2010).

O resultado do balanço entre todos os aportes e saídas no modelo raster para um determinado elemento da planície pode resultar em uma lâmina de água positiva ou negativa. Caso seja positiva, isso significa que o reservatório do solo foi preenchido e que restou água armazenada sobre a superfície da célula, caso negativa, significa que foi retirada toda a água da superfície da célula (PAZ, 2010).

### Processos verticais

Os processos verticais abrangem a precipitação, infiltração e evapotranspiração. A precipitação é fornecida ao modelo sob a forma de lâmina de água para cada passo de tempo e para cada elemento da planície, variando no tempo e no espaço. Em relação a evapotranspiração, o SIRIPLAN utiliza a evapotranspiração potencial para cada elemento da planície, sendo esta variável para cada elemento ou uma média, dependendo da disponibilidade de dados e das características da região estudada (PAZ, 2010).

Assim, quando a superfície do elemento está inundada, a evapotranspiração real ocorre a uma taxa máxima igual a evapotranspiração potencial, fornecido como dado de entrada. Se a superfície do elemento não estiver inundada, a evapotranspiração real é calculada linearmente proporcional ao volume de água no reservatório (Equação 2) de acordo com o modelo IPHII (TUCCI, 1998).

$${}^{t+\Delta t}ET_{real}^{i,j} = \begin{cases} {}^{t+\Delta t}ET_{pot}^{i,j} \cdot \left( \frac{{}^th_{sub}^{i,j}}{H_{smax}} \right) \\ ou \\ {}^{t+\Delta t}ET_{pot}^{i,j} \cdot \left( 1 - \frac{|{}^th_{solo}^{i,j}|}{H_{smax}} \right) \end{cases} \quad \text{Eq. 02}$$

onde:  $ET_{pot}$  é a evapotranspiração potencial,  $ET_{real}$  é a evapotranspiração real e  $H_{smax}$  é a capacidade máxima do reservatório.

O balanço vertical é feito paralelamente às simulações do canal e planície considerando a precipitação e a evapotranspiração e seu resultado representa o aporte ou a retirada de água na planície.

### Trocas canal-planície

A discretização espacial do canal é superior à da planície, ou seja, para cada trecho do canal são interligados diversos elementos de planície. As trocas de vazão existentes entre o canal e a planície são estabelecidas em função da diferença de nível de água entre eles e da cota de vertimento (Figura 9).

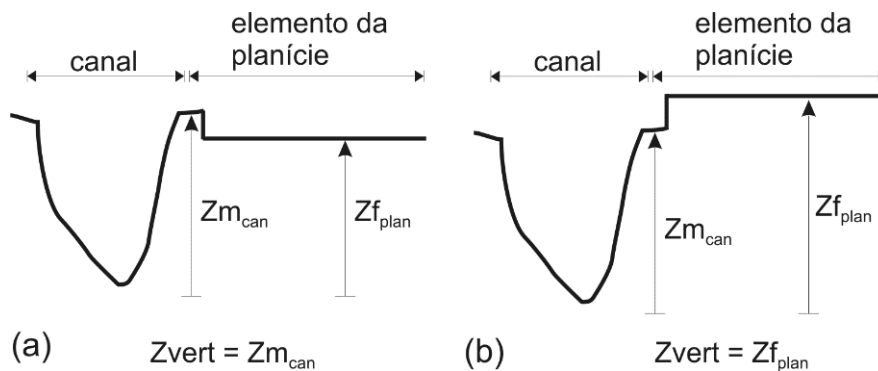


Figura 9. Determinação da cota de vertimento ( $Z_{vert}$ ) entre uma seção do canal principal e um elemento da planície quando a planície está abaixo (a) e acima (b) da margem do canal.  $Z_{m_{can}}$  é a cota da margem do canal simulado e  $Z_{f_{plan}}$  é a cota da planície.

Fonte: Paz (2010)

A diferença entre as cotas determina qual equação de vertedor a ser utilizada para o cálculo da vazão de troca. O modelo utiliza equações de vertedor simples ou afogado, de acordo com a situação existente entre os níveis de água, ou seja, a diferença entre a cota da margem do canal e a da superfície do elemento da planície (PAZ, 2010).

## 4. ÁREA DE ESTUDO

### 4.1. Fisiografia e tipo de solo

O Pantanal é uma vasta planície de inundação de formação quaternária com uma área aproximada de 140.000 km<sup>2</sup>. O bioma está inserido na Bacia do Alto Paraguai (BAP), que possui uma área de drenagem estimada em 496.000 km<sup>2</sup> abrangendo territórios do Brasil, Bolívia e Paraguai até a foz do rio Apa (PAZ, 2010). Com cerca de 60% da sua área localizada no Brasil, a BAP compreende parte dos Estados do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, na região centro-oeste. A bacia engloba o curso superior do rio Paraguai, que juntamente com os rios Paraná e Uruguai compõem a bacia do Prata, a segunda maior bacia da América do Sul com 3.170.000 km<sup>2</sup> (COLLISCHONN, TUCCI e CLARKE, 2001).

A BAP possui três regiões com características distintas: planalto, planície e chaco. A região do planalto está localizada nas porções norte e leste e apresenta as maiores altitudes da bacia - variando entre 400 e 1.100 metros -, enquanto a planície, onde está localizado o Pantanal, é caracterizada por baixas altitudes e baixo gradiente topográfico (ASSINE, 2005). A terceira região é o Chaco, cujo território está inserido principalmente na Bolívia. Essa região é considerada como predominantemente endorréica, com sistema de drenagem mal definido (PAZ, 2010). As Figuras Figura 10 e Figura 11 exibem a área de estudo com indicação dos principais rios considerados no escopo do trabalho e o MDE da BAP, respectivamente.

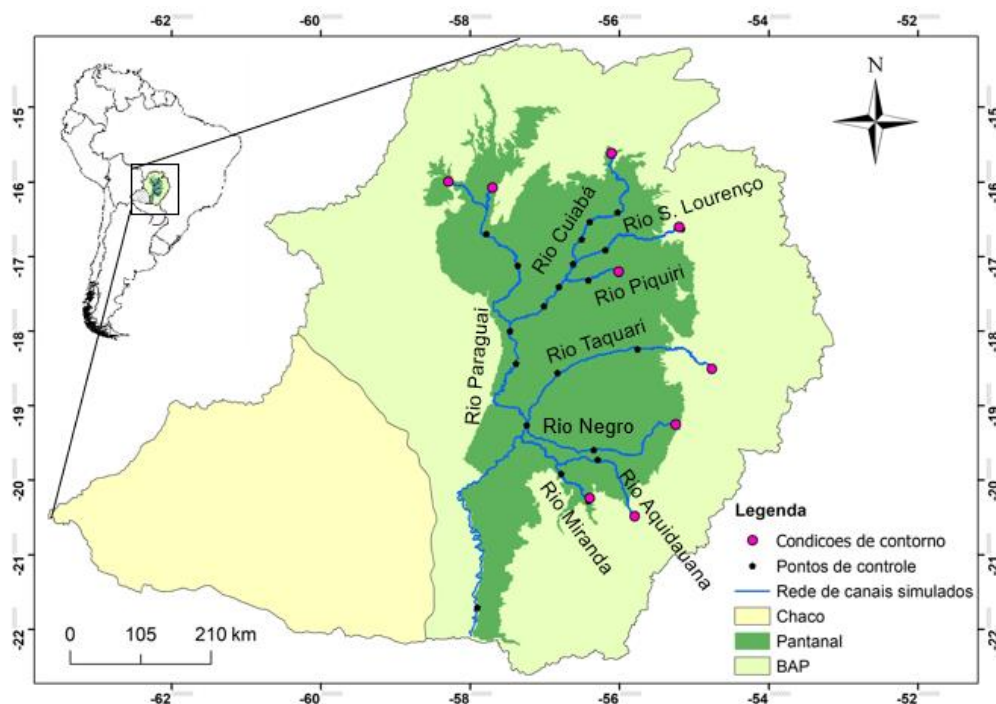


Figura 10. Localização da área de estudo.

Fonte: Autora (2019)

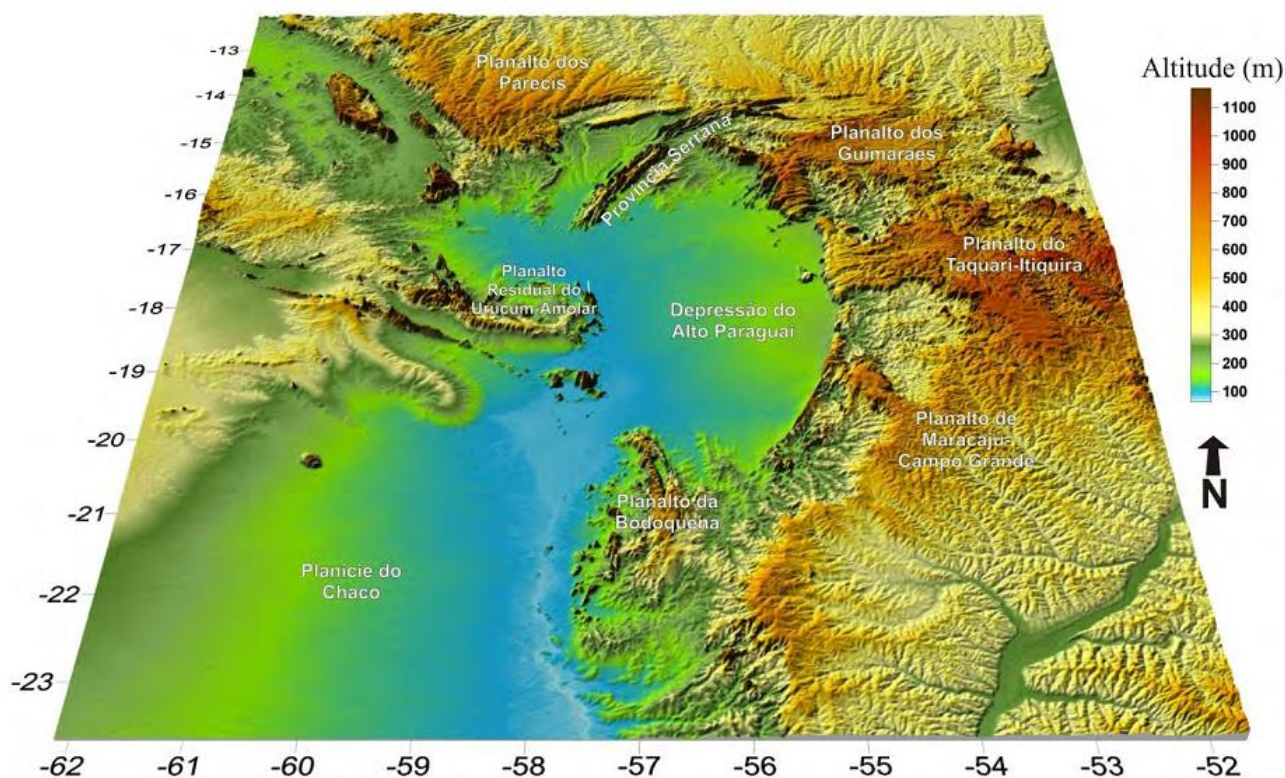


Figura 11. Modelo Digital de Elevação da Bacia do Alto Paraguai.  
Fonte: ZANI (2008)

Enquanto no planalto existe predominância de processos erosivos, resultado do forte regime de precipitação somado ao tipo de solo e relevo da região, na planície, os processos de sedimentação são os mais atuantes (BERGIER, 2013; PAVODANI, 2017). A forte interdependência entre essas regiões faz com que as condições nas partes mais baixas dependam das atividades desenvolvidas no planalto da bacia.

Em relação ao tipo de solo, o planalto da BAP apresenta predominância de areias quartzosas e latossolos, que tendem a gerar pouco escoamento superficial e muito escoamento de base. Por sua vez, o Pantanal apresenta uma predominância de solos do tipo hidromórfico e areia quartzosa (ASSINE, 2005; PAZ, 2010).

#### 4.2. Clima e regime pluviométrico

O clima do Pantanal é classificado como tropical-savana ou tropical úmido (Aw) de acordo com o sistema de classificação Köppen-Geiger, com temperaturas médias em torno de 25° C. (ASSINE et al., 2014). A região apresenta elevada precipitação média anual, em torno de 1.400 mm, e seu regime pluviométrico é caracterizado pela sazonalidade marcante entre os períodos úmidos e secos, de modo que o período úmido ocorre entre os meses de outubro e abril, onde são concentradas cerca de 70% a 80% das chuvas, e o período seco, de maio a setembro (SILVA e GIRARD, 2004; SOUZA et al., 2018; TUCCI et al., 2005). A evapotranspiração potencial da região é em torno de

1.370 mm/ano, dessa forma, durante os períodos mais secos, as taxas de evaporação podem ser superiores às de precipitação (ASSINE, 2005; TUCCI et al., 1999).

#### **4.3. Regime Fluvial e de Inundações**

O comportamento do regime hidrológico do Pantanal é amplamente reportado na literatura (HAMILTON, SIPPEL e MELACK, 1996; PADOVANI, 2010; PAZ, 2010; PAZ et al., 2011). Segundo estimativas de Paz et al. (2011), picos de área inundada na região ocorrem no período de fevereiro a março, alcançando extensões de 100 a 126 mil km<sup>2</sup>, ao passo que as menores extensões de inundação ocorrem entre setembro e dezembro, inundando uma área de cerca de 40 mil km<sup>2</sup>.

A rede de drenagem do Pantanal possui caráter perene e é formada principalmente pelos rios contribuintes de sua margem esquerda: Cuiabá, São Lourenço, Piquiri, Taquari, Negro, Aquidauana e Miranda. O rio Cuiabá, cujos picos de vazão podem alcançar 1.500 m<sup>3</sup>/s, é o principal afluente do Rio Paraguai, contribuindo com cerca de 40% da água do sistema (BRASIL, 1997). A Figura 12 exibe as vazões médias mensais de alguns postos fluviométricos na região e o sentido predominante de aporte de água resultado da interação canal-planície em alguns trechos.



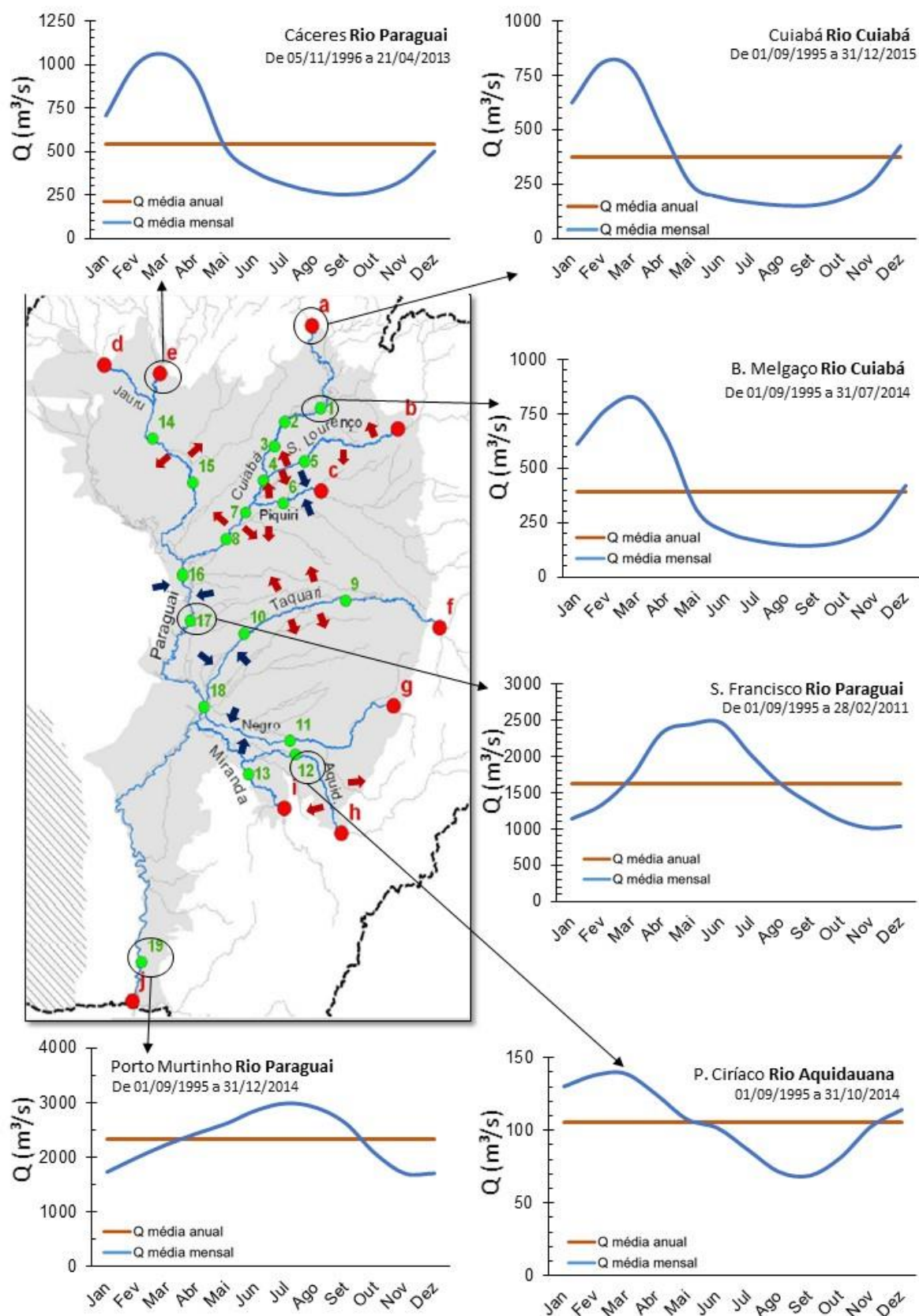


Figura 12. Hidrogramas de vazão média mensal e anual para alguns postos fluviométricos e representação das principais trocas laterais que ocorrem no Pantanal: as setas vermelhas e azuis indicam comportamento predominante de perda ou ganho de água para/da planície, respectivamente. Série de dados observados obtidos no banco de dados HidroWeb (ANA).

Fonte: Autora (2018)

Nos tópicos seguintes são apresentados, de maneira resumida, o comportamento hidrológico de alguns dos principais rios que compõem o Pantanal: Paraguai, Cuiabá e Taquari. O comportamento de outros rios de grande importância para a bacia como rio Negro, Miranda, Aquidauana, Piquiri e São Lourenço é apresentado com mais detalhes por PAZ (2010).

### **Rio Paraguai**

O rio Paraguai é um importante tributário do rio Paraná e consiste em um dos rios principais da bacia do rio da Prata, drenando uma área superior a 1.000.000 km<sup>2</sup>. O rio Paraguai, em seu curso superior - com limite até a foz do rio Apa -, é o rio principal da BAP, possuindo, dentro dos limites do Pantanal, uma extensão aproximada de 1.250 km (Figura 13).



Figura 13. Trecho do rio Paraguai no sentido jusante-montante cerca de 40 km antes da confluência com o rio Taquari em 22/10/2018  
Fonte: Autora (2018)

Em Cáceres, posto fluviométrico localizado a montante do rio considerando os limites do Pantanal, as vazões de pico alcançam 1.800 m<sup>3</sup>/s, enquanto as vazões médias são em torno de 540 m<sup>3</sup>/s. PAZ (2010) simulou nos trechos mais a montante do rio Paraguai, antes da confluência com o rio Cuiabá e dentro dos limites do Pantanal (mais precisamente entre Descalvados e P. Conceição), trocas laterais predominantes no sentido canal-planície, da ordem de até 600 m<sup>3</sup>/s. Em seguida, após a confluência do rio Cuiabá, as vazões de pico alcançam 2.000 m<sup>3</sup>/s. O autor registrou ainda comportamento predominante de aporte de vazões no sentido planície-canal entre os postos Amolar e S. Francisco, que variou entre 30 e 330 m<sup>3</sup>/s. No posto pluviométrico mais a jusante da bacia, em P. Murtinho, as vazões médias são elevadas, com cerca de 2.300 m<sup>3</sup>/s e picos superiores a 4.000 m<sup>3</sup>/s.



O rio Paraguai apresenta baixa declividade média, que varia entre 3 – 5 cm/km (SILVA e GIRARD, 2004). Essa característica faz com que a transferência de água ao longo da BAP ocorra de maneira lenta. Padovani (2010) mapeou as áreas inundadas do Pantanal a partir de uma série temporal de imagens de satélite de 10 anos (2000 a 2009) e reportou uma defasagem aproximada de dois meses entre o início da precipitação e a detecção de área inundada, resultado do baixo gradiente topográfico e lenta transferência da água pela bacia.

O rio e sua relação com a planície estão intrinsicamente relacionados à biodiversidade da região. Além disso, o rio Paraguai possui grande importância econômica local, sendo muito utilizado para pesca e navegação, possibilitadas por hidrovias como a Paraguai-Paraná (PONTES, 2016).

No rio Paraguai está instalada a mais antiga estação de medição, com dados fluviométricos desde o ano de 1900, em Ladário, que tem sido utilizada como base para diversos estudos hidrológicos e climatológicos (PADOVANI, 2010).

### **Rio Cuiabá**

De acordo com Souza Filho (2012), a bacia do rio Cuiabá possui o maior número de empreendimentos hidrelétricos instalados. Dentre eles, destaca-se a UHE de Manso, instalada no rio Manso, um importante afluente do rio Cuiabá. Portanto, parte da vazão reproduzida pelo rio e que aflui para o rio Paraguai é regularizada por esta barragem.

O rio Cuiabá nasce no planalto da BAP e, dentro dos limites do Pantanal, possui uma extensão aproximada de 592 km até sua confluência com o rio Paraguai, contribuindo com cerca de 40% da vazão desse rio. Dentro dos limites do bioma, no posto mais a montante, homônimo a ele, a vazão média é em torno de 400 m<sup>3</sup>/s, enquanto as vazões de pico chegam a ultrapassar 2.000 m<sup>3</sup>/s. Paz (2010) simulou com o modelo SIRIPLAN o comportamento do rio Cuiabá dentro dos limites do bioma e, com bons resultados na maioria dos pontos, registrou a ocorrência de vazões laterais em diversos trechos. Durante os períodos de cheia, a água aporta para a planície, ocorrendo, durante o período de recessão, posterior retorno para a calha do rio, embora menos expressivos. Entre os postos fluviométricos P. Taimã e P. Alegre, cerca de 150 km antes da confluência com o rio Paraguai, foram registradas grandes perdas para a planície.

### **Rio Taquari**

O rio Taquari nasce na parte alta da BAP e possui um comprimento total de aproximadamente de 840 km, sendo 450 km dentro dos limites do Pantanal. Conhecido pela complexa dinâmica morfológica, resultado de atividades tectônicas, o rio Taquari extravasa para a planície grande quantidade de água, formando um grande leque aluvial de área próxima a 50.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 37% da área do Pantanal (ASSINE, 2005).

PAZ (2010) simulou no trecho médio do rio Taquari perdas laterais permanentes de até 450 m<sup>3</sup>/s nas cheias e de 50 a 100 m<sup>3</sup>/s nas estiagens, com vazões médias entre 200 e 250 m<sup>3</sup>/s. Ainda segundo o autor, a cerca de 105 km antes da confluência com o rio Paraguai, no posto fluviométrico P. Rolom, ocorre o retorno da água para a calha do rio, com picos de até 120 m<sup>3</sup>/s.

A sinuosidade natural dos rios associada ao regime de precipitações local influencia no processo contínuo de erosão e deposição de sedimentos nas margens dos rios, que resulta na migração dos meandros, formando novos caminhos e depósitos de sedimentos (ASSINE, 2005). Apesar de ter origem natural, o processo de avulsão tem sido intensificado principalmente no rio Taquari, em razão das atividades de uso do solo desenvolvidas na parte alta da bacia. O desmatamento para o desenvolvimento das atividades pecuaristas e agrícolas no planalto intensifica o processo de erosão, que, associado ao forte regime de chuvas da região, produz e transporta grandes volumes de sedimento para a planície, modificando consideravelmente o curso do rio Taquari (Figura 14) (BERGIER, 2013).



Figura 14. Banco de areia no rio Taquari nas proximidades de P. Rolom em 23/10/2018  
Fonte: Autora (2018)

O processo de avulsão no rio Taquari foi intensificado a partir da década de 70, gerando grandes mudanças principalmente no baixo curso do rio (ASSINE, 2005; PADOVANI, 2010). Além da redução da capacidade do canal e os consequentes problemas de navegação, o assoreamento resultou na perda dos pulsos de inundação. Segundo a ANA (2004), a perda do pulso de inundação reduziu a produção pesqueira e culturas agrícolas, desencadeando grandes perdas econômicas para a região. No baixo rio Taquari, a pecuária tem sido fortemente prejudicada devido à inundação permanente de grandes áreas de pasto (BERGIER et al., 2018).

#### 4.4. Uso e ocupação do solo

De acordo com um levantamento realizado pelo WWF-Brasil (2015), cerca de 85% da área do Pantanal ainda preserva suas características naturais, sendo considerado um bioma relativamente conservado (Figura 15). Para Padovani (2017), isso se deve à combinação de fatores climáticos aliados à dinâmica de inundações e fortes estiagens, o que dificulta a implementação de atividades agrícolas e agropecuárias na região.

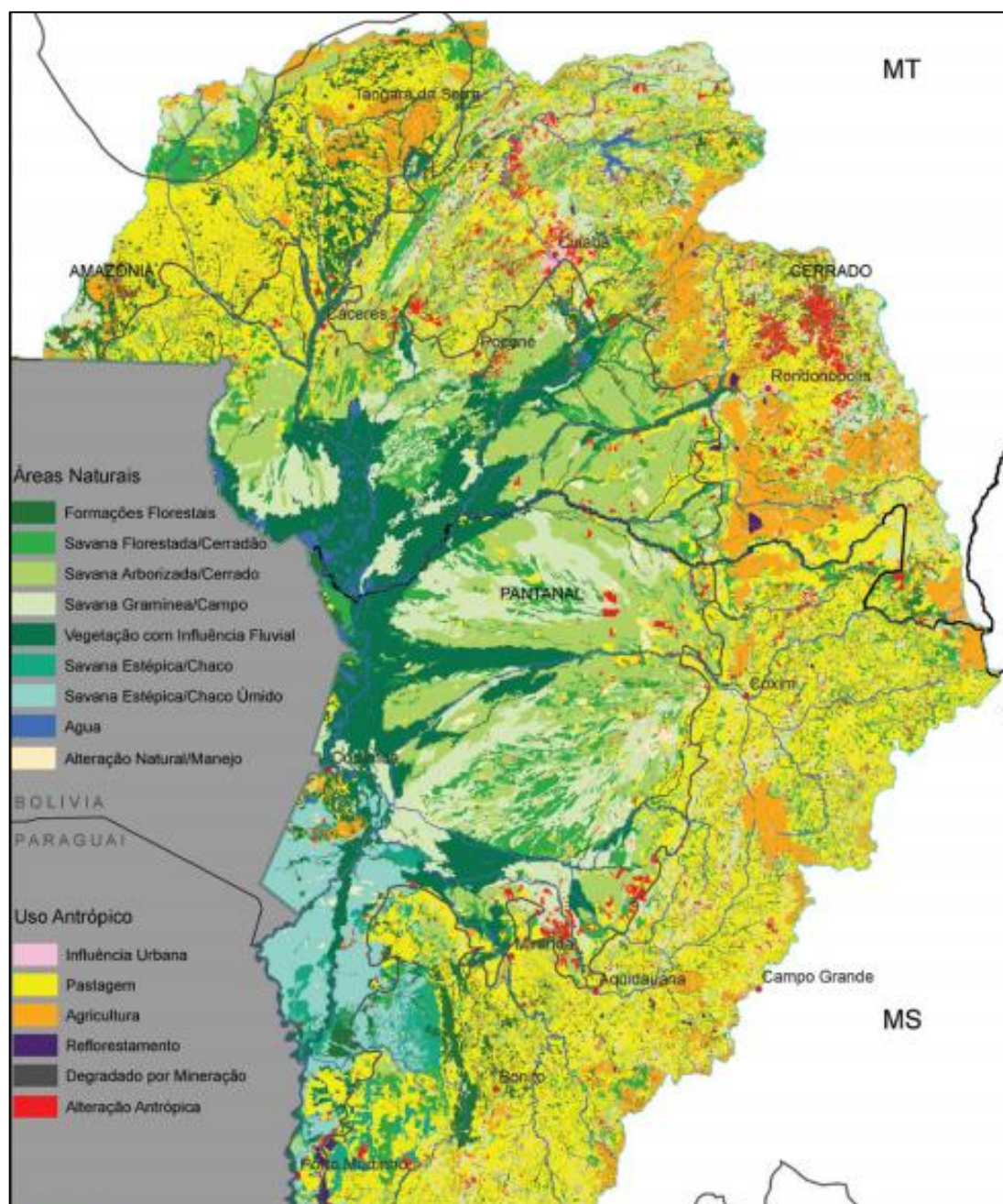


Figura 15. Mapa de uso e ocupação do solo da BAP.  
Fonte: WWF-Brasil (2015)

Assim como nas regiões a montante do rio Taquari, partir da década 70 houve forte ampliação de pastagens e agricultura em diversas regiões do planalto da bacia e posterior avanço para a planície (COLLISCHONN et al., 2001; PADOVANI, 2017). A natureza arenosa dos solos do planalto e ao desmatamento para o desenvolvimento das atividades supracitadas modificaram as dinâmicas de inundação em todo o Pantanal. De acordo com BERGIER et al. (2018), nas planícies, a taxa de desmatamento é em torno de 15% e no planalto essa taxa é de 60%. A pecuária é o uso mais intenso, sendo desenvolvida de maneiras distintas nas duas regiões da BAP, ocorrendo em 11 % da planície, de modo mais extensivo, e 43,5% do planalto, de modo mais tecnológico e intenso. Por sua vez, a agricultura ocupa 0,3% da planície, com destaque para o cultivo de soja (200 mil ha), e 9,9% da área do planalto (WWF, 2015).

O assoreamento tem modificado a frequência, duração e extensão das áreas inundadas, produzindo efeitos negativos sobre a pesca e a pecuária em todo o Pantanal (PADOVANI, 2010). O aumento na inundação em alguns pontos resultou no abandono de fazendas e culturas agrícolas em várias regiões (SILVA e GIRARD, 2004). As principais atividades econômicas desenvolvidas no Pantanal são pesca, ecoturismo e agropecuária extensiva, sendo o pulso de inundação de grande importância em todas elas (OLIVEIRA et al., 2014; PADOVANI, 2017).

#### 4.5. Biodiversidade

Dada sua complexidade e diversidade biológica, o Pantanal possui títulos de Reserva da Biosfera pela ONU (2000), Patrimônio Nacional pela Constituição Federal do Brasil (1988), Patrimônio Natural da Humanidade pela UNESCO (1977), além de possuir áreas tidas como relevantes para conservação ao nível internacional, de acordo com a Convenção Internacional de Área Úmidas - Convenção RAMSAR (1993) - (FURQUIM et al., 2017; PADOVANI, 2017; SILVA e GIRARD, 2004).

De acordo com a ANA (2004), a região possui exemplares únicos de fauna e flora, apresentando mais de 1.863 espécies de plantas produtoras de flores e sementes, 263 espécies de peixe, 444 espécies de aves, 35 espécies de anfíbios, 85 espécies de répteis e 132 espécies de mamíferos. Dentre os mamíferos estão a onça pintada (*Panthera onca*), tida como maior felino do continente americano, o tamanduá-bandeira (*Myrmecophaga tridactyla*) e a ariranha (*Pteronura brasiliensis*) (SOUZA et al., 2018). Outro exemplo muito comum na região é a capivara (*Hydrochoerus hydrochaeris*), considerada o maior roedor do mundo e que vive em grupos, habitando margens de rios.

Dentre as aves destacam-se o Tuiuiú (*Jabiru mycteria*), ave símbolo do Pantanal e considerada uma das maiores aves da América do Sul (Figura 16), e a arara-azul-grande (*Anodorhynchus hyacinthinus*), tida como a maior arara do mundo e que atualmente encontra-se em risco de extinção



(SEIDL, SILVA e MORAES, 2010). Aves aquáticas como socozinho (*Butorides striatus*), cabeça-seca (*Mycteria americana*), manguari (*Ardea cocoi*) e biguatinga (*Anhinga anhinga*) ocupam ambientes úmidos e regiões alagadas, alimentando-se de peixes e sendo exemplares comuns na região (BERGIER et al. 2018; SOUZA et al., 2018).



Figura 16. Tuiuiú no topo de uma árvore nas margens do rio Taquari, no Pantanal, em 22/10/2018  
Fonte: Autora (2018).

Dentre os peixes, destacam-se o peixe-pintado (*Pseudoplatystoma corruscans*), a piranha (*Pygocentrus nattereri*), Piraputanga (*Brycon microlepis*), Jaú (*Zungaro jahu*) e Dourado (*Salminus maxillosus*), que movimentam a economia e alimentam as comunidades ribeirinhas (ANA, 2005). Dentre os répteis, destacam-se a sucuri amarela (*Eunectes notaeus*), tida como a maior cobra do Pantanal, e espécies de jacaré como Jacaré-do-Pantanal (*Caiman yacare*) e Jacaré-de-papo-amarelo (*Caiman latirostris*).

A vegetação é típica do Cerrado com influências da Amazônia, especialmente na parte norte da bacia, com predomínio de florestas do tipo semi-decíduas e decíduas (DAMASCENO-JÚNIOR et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2014). No rio Paraguai, a vegetação ribeirinha é composta por Ingá (*Inga vera*), Cambará (*Vochysia divergens*), Embaúba (*Cecropia pachystachya*) e canela amarela (*Ocotea diospyrifolia*) (OLIVEIRA et al., 2014).

As árvores que crescem expostas às inundações sazonais desenvolvem adaptações ao pulso de inundação e às condições sazonais por meio de estruturas morfológicas e anatômicas e mecanismos fisiológicos e bioquímicos. Tais adaptações se desenvolvem especialmente nas raízes, permitindo a sua proteção contra a perda de oxigênio e o desenvolvimento de atividades fotossintéticas dentro d'água (ASSIHA, 2007; OLIVEIRA et al., 2014).

#### 4.6 Aspectos sociais e comunidades tradicionais

O Pantanal possui baixa densidade demográfica e sua ocupação social ocorre sobretudo em centros urbanos como os municípios de Cuiabá, em Mato Grosso, e Corumbá, no estado do Mato Grosso do Sul, o qual abrange cerca de 60% do bioma (IBGE, 2015).

Longe dos centros urbanos vivem as comunidades ribeirinhas, que dependem diretamente do regime dos rios e se adaptam à sazonalidade natural da região: em períodos de cheia vivem da pesca e, durante a estiagem, desenvolvem plantações de mandioca, cana-de-açúcar e milho. Estima-se que existam aproximadamente cerca de 350 famílias distribuídas em dezenas de comunidades como: Barra de São Lourenço, Paraguai Mirim, Amolar, Comunidade do Castelo, Porto Sairu, Porto Figueira e São Domingos. Parte dessas comunidades habita áreas de risco dada sua susceptibilidade ao regime de cheias, que tem grande impacto em seu estilo de vida. As atividades econômicas e de subsistência variam dependendo da região e das condições hidrológicas vigentes: nas comunidades ribeirinhas do rio Paraguai, há forte dependência da pesca, enquanto que nos rios Negro e Taquari são comuns a pesca de isca e algumas plantações.

Em razão da distância dos grandes centros populacionais, a prefeitura de Corumbá criou o programa social Povo das Águas (Figura 17), que atende, cerca de duas vezes por ano, comunidades ribeirinhas do Pantanal fornecendo atendimento médico, distribuição de cestas básicas, brinquedos, orientações da defesa civil, distribuição de mudas e outros.



a)



b)

Figura 17. Atendimento do programa Povo das Águas às comunidades ribeirinhas do Pantanal a) Equipe se deslocando no rio Taquari em 26/10/2018 nas proximidades da comunidade Porto Buritizal; e b) Orientações sobre o câncer de mama para a comunidade do Porto Santa Ana em 25/10/2018.

Fonte: Autora (2018)

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

As primeiras etapas deste trabalho consistiram na revisão bibliográfica acerca da temática abordada e na compilação dos estudos anteriores realizados por PAZ (2010), que desenvolveu o modelo de simulação utilizado nesta pesquisa: o SIRIPLAN. Em um segundo momento foram obtidos dados de entrada (climatológicos, pluviométricos e fluviométricos) que permitiram a simulação do cenário base no período entre 1995 e 2015. Os demais cenários foram obtidos em parceria com o IPH-UFRGS, que realizou a simulação na região do Planalto da BAP, dando origem às condições de contorno para a simulação na região da planície. Os dados obtidos nessa última etapa foram então inseridos no *software* IHA para computação da alteração hidrológica em termos de vazão e área inundada em diferentes abordagens.

A Figura 18 exibe o fluxograma com as principais etapas metodológicas deste trabalho. O detalhamento de cada etapa é feito nos subitens posteriores.

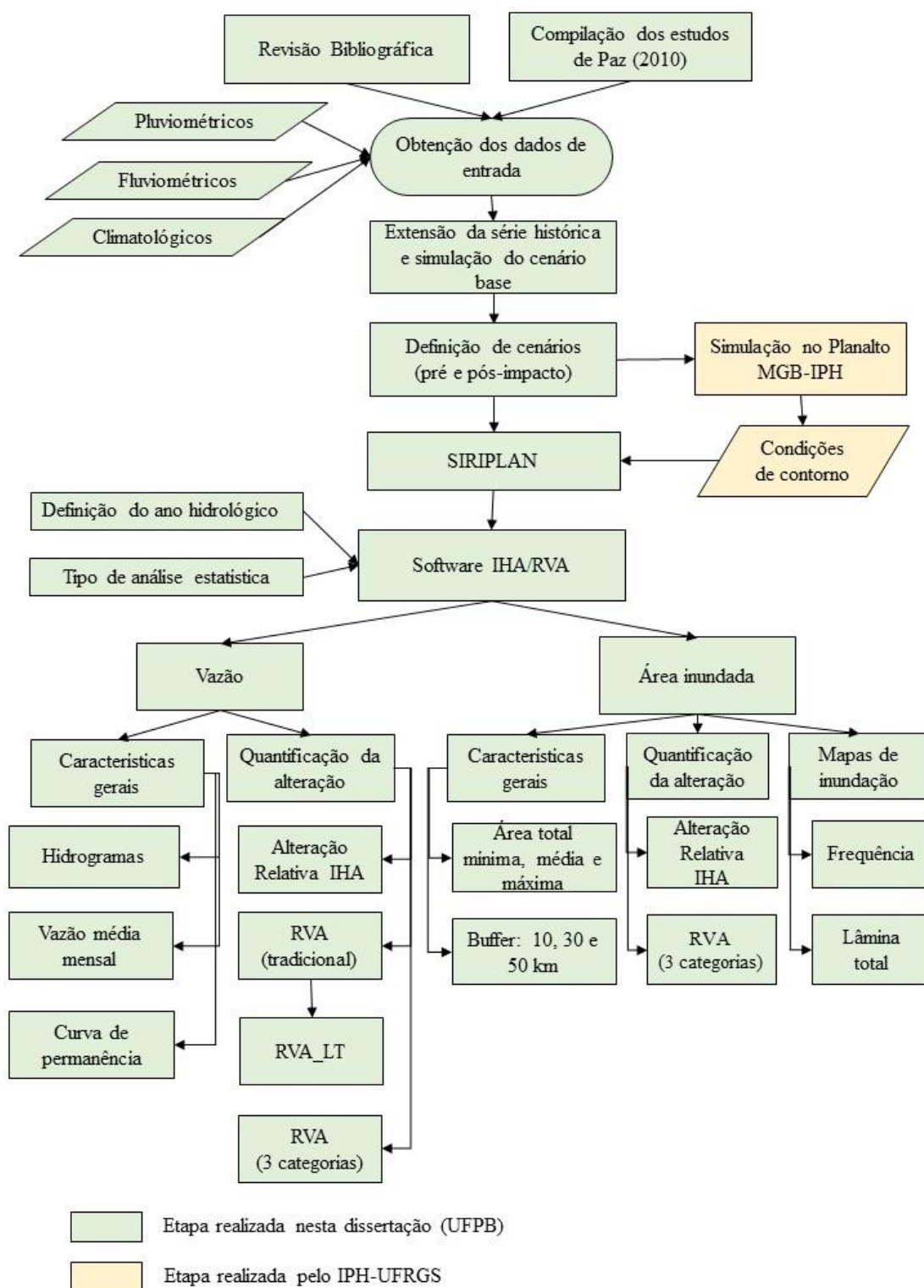


Figura 18. Etapas metodológicas desta pesquisa  
Fonte: Autora (2019)

### 5.1. Definição de cenários

Os cenários de intervenções de construção e operação de empreendimentos hidrelétricos foram definidos a partir de levantamentos junto a órgãos de controle, como a ANA e ANEEL, e de



reuniões no âmbito do projeto de pesquisa ao qual essa dissertação está vinculada. Para fins de simulação, foram utilizados cenários previstos, como é o caso da consideração de barramentos já em análise para futura instalação, e cenários considerados hipotéticos, isolando o efeito de uma hidrelétrica já construída, possibilitando a avaliação de seu impacto.

Com o intuito de permitir a utilização de metodologias de quantificação e viabilizar a análise, os cenários foram criados de modo a se obter condições pré e pós-impacto. A seguir são descritos o escopo e os cenários das duas análises consideradas neste trabalho.

### **ANÁLISE I – Impacto de Manso: Cenário natural x Cenário Manso**

Com o objetivo de quantificar os potenciais danos causados isoladamente pela UHE Manso no regime hidrológico e de inundações do Pantanal, foram avaliados dois cenários:

- Cenário natural (Pré-impacto)  
Sem a consideração de hidrelétricas.
- Cenário Manso (Pós-impacto)

Considerando apenas a barragem de Manso, que devido ao seu elevado porte, controla grande parte do regime de vazões do rio Cuiabá que aportam para o Pantanal.

### **ANÁLISE II – Impacto de todas as barragens: Cenário Manso x Cenário Barragens**

Nesta análise, a proposta é avaliar os efeitos da operação conjunta de empreendimentos hidrelétricos existentes e planejados sobre o regime hidrológico do Pantanal, adicionalmente ao efeito da UHE Manso. Nesse sentido, dois cenários foram formulados:

- Cenário Manso (Pré-impacto)  
Considerando apenas a barragem de Manso.
- Cenário Barragens (Pós-impacto)

Considerando a existência e operação da UHE Manso e também dos demais empreendimentos hidrelétricos existentes e planejados no Planalto da BAP. Nesse cenário foram consideradas 165 usinas, de diferentes tipos (Centrais Geradoras Hidrelétricas - CGH, PCH e UHE) e em diferentes estágios (planejamento/outorga/eixo disponível; construção ou operação) (Figuras Figura 19 e Figura 20). As informações referentes a esses empreendimentos foram disponibilizadas pela ANA e estão disponíveis em ANEXO.

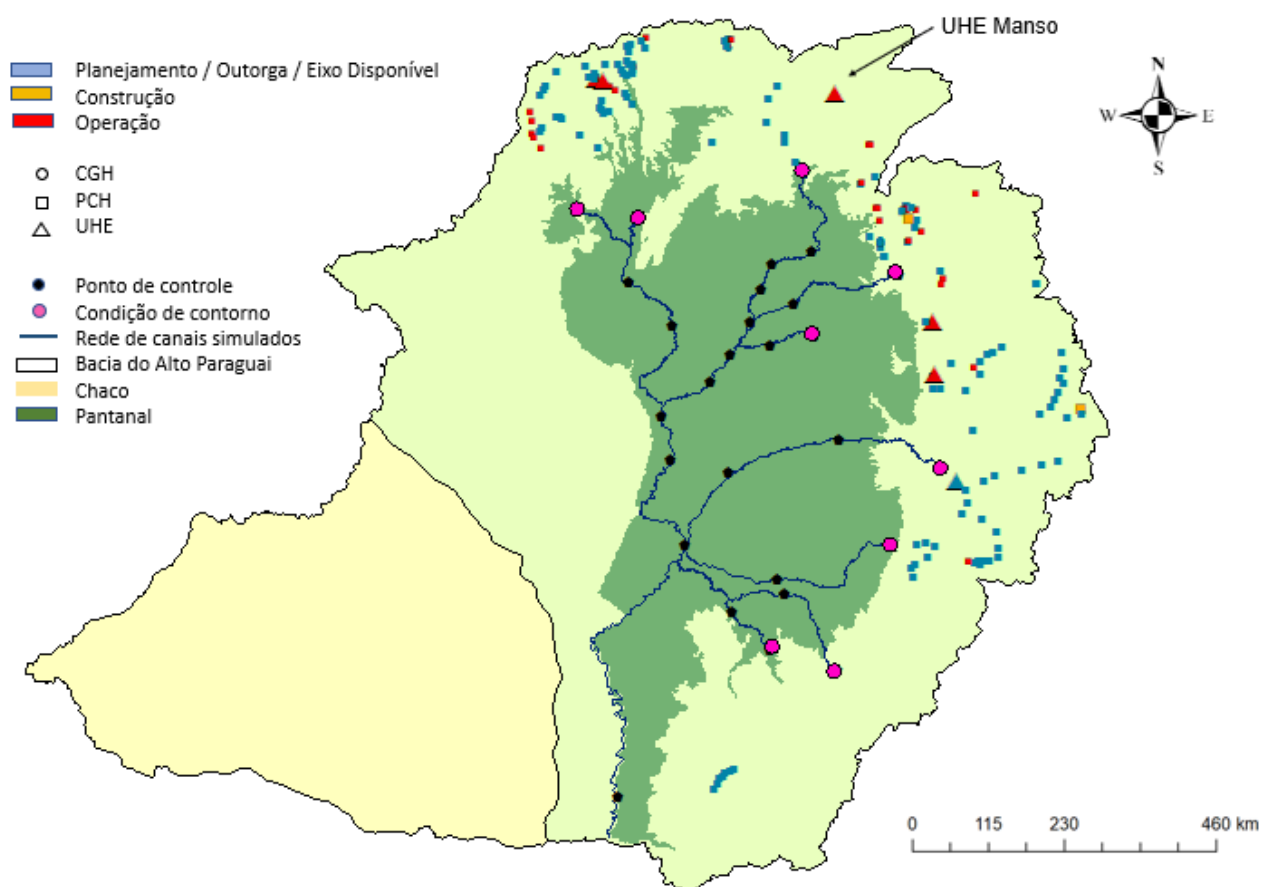


Figura 19. Localização dos empreendimentos hidrelétricos instalados no planalto da BAP diferenciados em função do tipo e estágio.  
Fonte: Autora (2019)

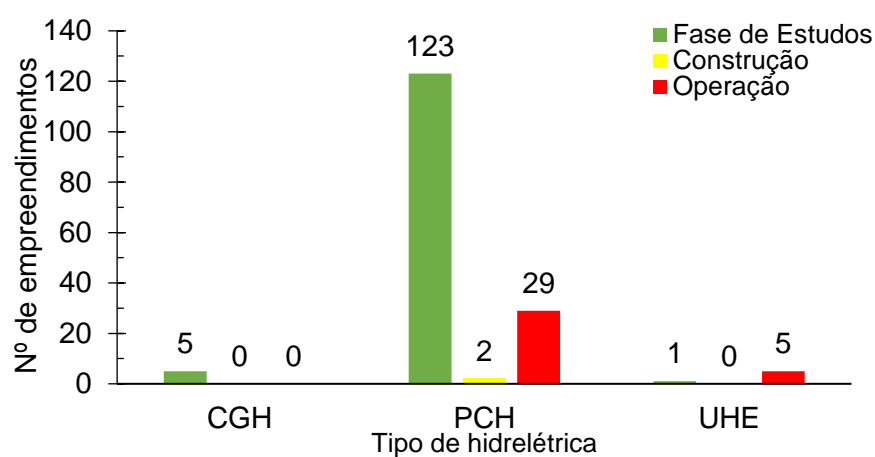


Figura 20. Número de empreendimentos hidrelétricos de acordo com o tipo e estágio  
Fonte: Autora (2019)

A partir da Figura 20 infere-se que a maioria dos empreendimentos é do tipo PCH, ou seja, possui potência instalada entre 1,1 MW e 30 MW. Além disso, a maior parte das hidrelétricas ainda

se encontra em fases de estudos, outorga ou construção, o que comprova a necessidade da realização de estudos que avaliem seus impactos na região.

## 5.2. Simulação hidrológica

Em função da diferença hidrológica e topográfica entre as principais regiões que compõem a BAP, foram utilizados modelos distintos para simulação no planalto e na planície (Figura 21). Assim, a simulação hidrológica foi realizada em duas etapas:

- Na região do Planalto, onde foi utilizado o modelo hidrológico distribuído MGB-IPH (etapa realizada pela equipe de pesquisas do IPH-UFRGS);
- Na região da Planície, onde foi utilizado o modelo SIRIPLAN (etapa realizada no âmbito desta dissertação).

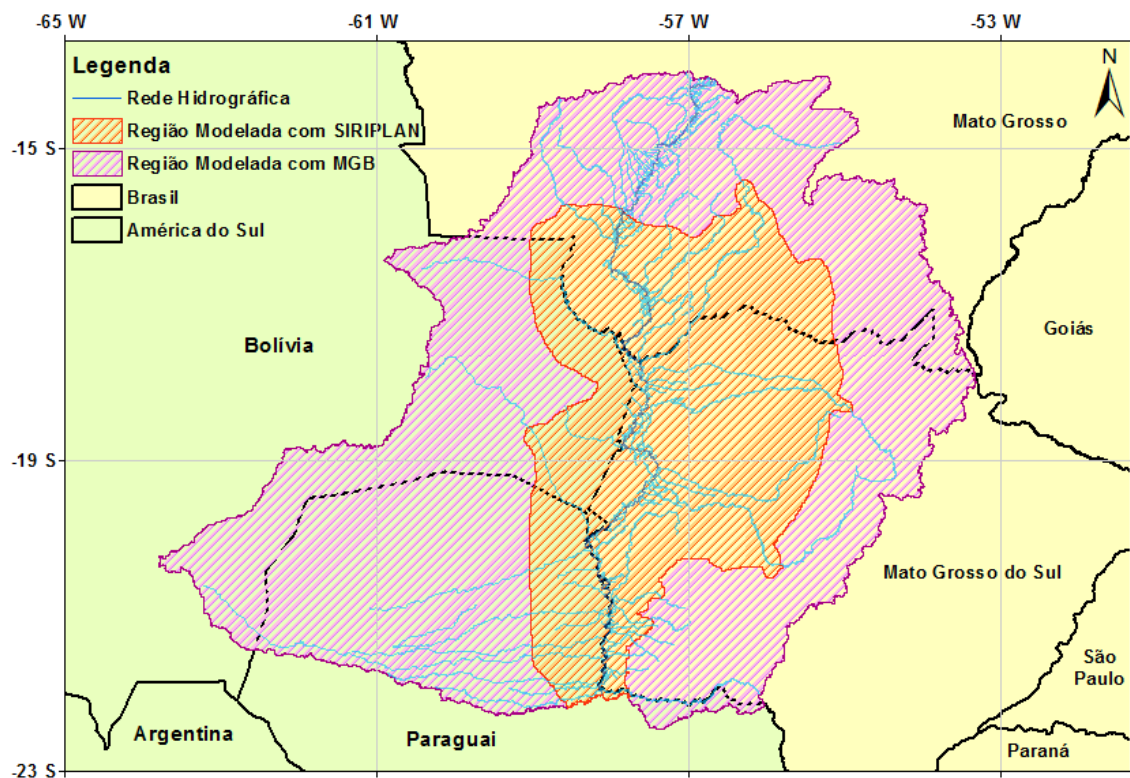


Figura 21. Divisão da BAP em função do modelo utilizado para simulação.

Fonte: Pedro Jardim (2018)

A seguir, são descritas as principais informações referentes à simulação nas duas regiões, com maior detalhamento no SIRIPLAN, modelo utilizado nesta pesquisa. No que se refere ao MGB-IPH, a etapa foi realizada em parceria com o IPH, sendo aqui descrito mais sucintamente para permitir o suficiente entendimento de como foi feita a simulação hidrológica considerando os reservatórios.

### 5.2.1. Simulação no Planalto – MGB-IPH

#### O modelo

O Modelo Hidrológico de Grandes Bacias - MGB-IPH é um modelo distribuído desenvolvido para simulação do processo chuva-vazão em grandes bacias. O modelo, já aplicado anteriormente na BAP (ALLASIA et al., 2004; COLLISCHONN et al., 2004; TUCCI et al., 2005), utiliza equações físicas e conceituais para simular o ciclo hidrológico e seus principais processos em elementos discretizados. Originalmente desenvolvido por COLLISCHONN e TUCCI (2001), o MGB-IPH passa por aprimoramentos e atualizações constantes (PAIVA et al., 2013; FAN e COLLISCHONN, 2014; FLEISCHMANN et al., 2015; PONTES et al., 2017). Uma das atualizações mais recentes consiste na integração com SIG (Sistema de Informação Geográfica), utilizado para facilitar a etapa de pré-processamento/preparo dos dados de entrada, além de permitir o uso direto de dados provenientes da plataforma HidroWeb (FAN e COLLISCHONN, 2014).

A etapa de pré-processamento consiste no uso de um MDE para divisão da bacia em unidades menores, as minibacias (FAN e COLLISCHONN, 2014). Essa discretização é feita com base em critérios estabelecidos pelo operador, como a localização de reservatórios ou postos fluviométricos, ou pelo próprio modelo. Além disso, é realizada uma divisão da bacia com base em combinações de mapas de tipo de solo e vegetação e/ou uso da terra, as chamadas Classes de Resposta Hidrológica (CRH). A combinação destas CRH com as minibacias origina as Unidades de Resposta Hidrológica (URH), unidades de comportamento hidrológico similar dentro das quais são realizados cálculos de balanço hídrico e de energia (FAN e COLLISCHONN, 2014).

Por ser aplicado a grandes bacias (áreas  $> 1.000 \text{ km}^2$ ), o modelo considera processos de translação e atenuação de ondas de cheias, comumente desconsiderados em modelos para áreas menores. Na BAP foi utilizado o método inercial para propagação de vazões, baseado em uma solução das equações de Saint-Venant em que o termo de inércia advectiva é desprezado. Dentro de cada minibacia, a propagação de vazões é realizada por meio de reservatórios lineares simples, enquanto que na rede de drenagem, é utilizado o método de Muskingum-Cunge linear, adequado para rios de declividade alta (TUCCI e COLLISCHONN, 2001).

Fleischmann et al. (2015) incluíram no MGB-IPH um módulo de reservatórios, de modo que, em qualquer ponto da bacia, pode ser simulada a existência de um reservatório. O módulo de pode ser aplicado utilizando uma regra de operação que relacione volume armazenado e vazão de efluente ao reservatório.

O modelo MGB-IPH possui uma rotina de calibração automática multiobjetivo adaptada por Collischonn e Tucci (2003). A Tabela 4 exhibe as medidas de desempenho, Nash, Nash-Log e BIAS, em postos fluviométricos no planalto da BAP pelo grupo de pesquisa do IPH-UFRGS.

Tabela 4. Medidas de desempenho das simulações realizadas no planalto da BAP.

Posto	Código	Rio	Nash	Nash-Log	BIAS
Água Suja	66071400	Rio Jauru	-0,37	-0,35	-18,78
Fazenda Salu	66071300	Rio Jauru	-5,59	-6,84	-27,76
Baia Grande	66076000	Rio Jauru	-6,85	-1,19	48,57
Porto Esperidião	66072000	Rio Jauru	0,40	0,50	-13,57
Estrada Mt-125	66065000	Rio Cabaçal	0,50	0,54	-17,28
Cachoeira	66040000	Rio Sepotuba	-2,84	-0,65	29,55
São José Do Sepotuba	66055000	Rio Sepotuba	0,63	0,70	-7,35
Nortelândia	66006000	Rio Santana	-0,25	0,31	-18,86
Jauquara	66008000	Rio Jauquara	0,22	0,53	-37,30
Barra Do Bugres	66010000	Rio Paraguai	0,67	0,81	-5,77
Cáceres (Dnpvn)	66070004	Rio Paraguai	0,82	0,85	2,03
Porto Estrela	66015000	Rio Paraguai	0,74	0,83	-6,25
Montante Da Barra	66200000	Rio Da Casca	0,23	0,43	3,27
Marzagão	66140000	Rio Cuiabá	0,40	0,69	-41,70
Quebó	66160000	Rio Cuiabá	0,60	0,79	-25,05
Acorizal	66255000	Rio Cuiabá	0,76	0,82	-3,80
Cuiabá	66260001	Rio Cuiabá	0,75	0,82	-5,51
Rosário Oeste	66250001	Rio Cuiabá	0,71	0,78	-6,50
São Lourenço De Fátima	66400000	Rio São Lourenço	0,22	0,54	-3,00
São Pedro Da Cipa	66380000	Rio São Lourenço	0,19	0,56	0,50
Jarudore	66430000	Rio Vermelho	-0,19	-0,02	-18,30
Pedra Preta	66440000	Rio Jorígue	0,12	0,25	13,18
Rondonópolis	66450001	Rio Vermelho	0,25	0,61	-0,92
Ponte De Pedra	66455000	Rio Ponte De Pedra	0,37	0,57	-5,21
Acima Do Córrego Grande	66460000	Rio São Lourenço	0,59	0,82	-1,03
Itiquira	66520000	Rio Itiquira	-0,08	0,26	-11,63
Estrada BR-163	66490000	Rio Correntes	0,13	0,08	2,040
Estrada BR-163	66480000	Rio Piquiri	0,32	0,18	0,60
Pedro Gomes	66845000	Rio Taquari	0,38	0,49	-10,06
Contraventente	66850000	Rio Jauru	0,27	0,38	-8,91
São Gabriel Do Oeste	66860000	Rio Coxim	-3,68	-3,56	3,25
Confluência Rio Jauru	66849000	Rio Coxim	0,37	0,38	-11,37
Coxim	66870000	Rio Taquari	0,33	0,53	-7,28
Próximo Rio Verde	66865000	Rio Taquarizinho	-0,36	-0,75	33,86
Perto Da Bocaina	66886000	Rio Negro	-1,03	-0,12	32,92
Próximo Perdígão	66888200	Rio Negrinho	-0,62	-0,08	-12,84
Aquidauana	66945000	Rio Aquidauana	-0,40	0,49	19,42
Palmeiras (Jango)	66941000	Rio Aquidauana	0,1	0,35	0,263
Miranda	66910000	Rio Miranda	0,27	0,58	15,67
Baia Grande	67175000	Rio Perdido	-0,36	0,36	-11,36
Fazenda Esperança	67176000	Rio Perdido	0,35	0,66	-42,52
São Carlos	67170000	Rio Apa	0,48	0,62	11,04

Fonte: Pedro Jardim (IPH-UFRGS)

## Dados de entrada

A simulação utiliza dados pluviométricos, fluviométricos e climatológicos (temperatura, umidade, velocidade do vento, insolação e pressão atmosférica). Para a simulação no planalto foram utilizados 153 postos pluviométricos e 42 estações fluviométricas, disponíveis na plataforma HidroWeb da ANA. Adicionalmente, foram utilizados 4 pontos, localizados na Bolívia e Paraguai, a

partir de dados do Multi-Source Weighted-Ensemble Precipitation (MSWEP), uma base global de dados de precipitação formada por informações de estações pluviométricas e de satélites. Para os dados climatológicos, utilizou-se parâmetros de temperatura média, umidade relativa, incidência solar e velocidade do vento advindos da Climatic Research Unit (CRU).

Para a discretização do MGB-IPH, foram gerados 19.468 trechos de rio de aproximadamente 10 km cada e, para cada um desses trechos foi delimitada a área de contribuição correspondente, na forma de mini bacias (Figura 22). Foi feita então uma segunda subdivisão para facilitar a calibração do modelo conforme as estações fluviométricas utilizadas e localização dos empreendimentos hidrelétricos. Desta maneira, foram selecionados 33 exutórios que definiram as sub-bacias do modelo (Figura 23).

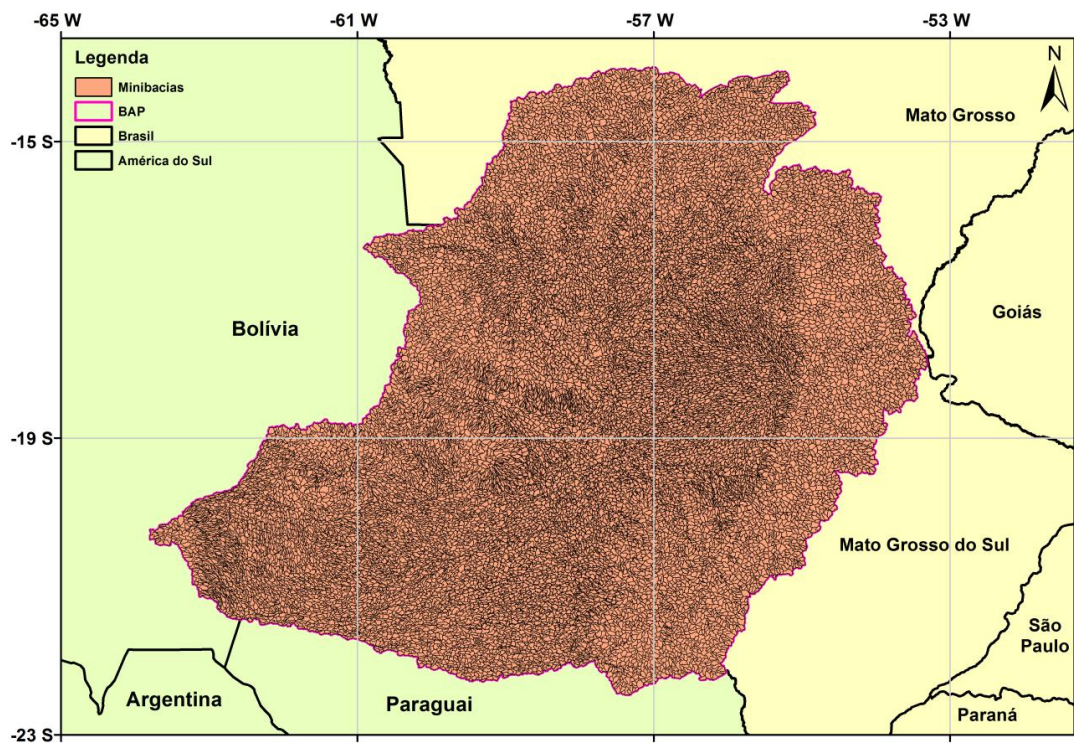


Figura 22. Discretização da rede de drenagem da BAP em 19.468 minibacias.  
Fonte: Pedro Jardim (IPH-UFRGS, 2018)



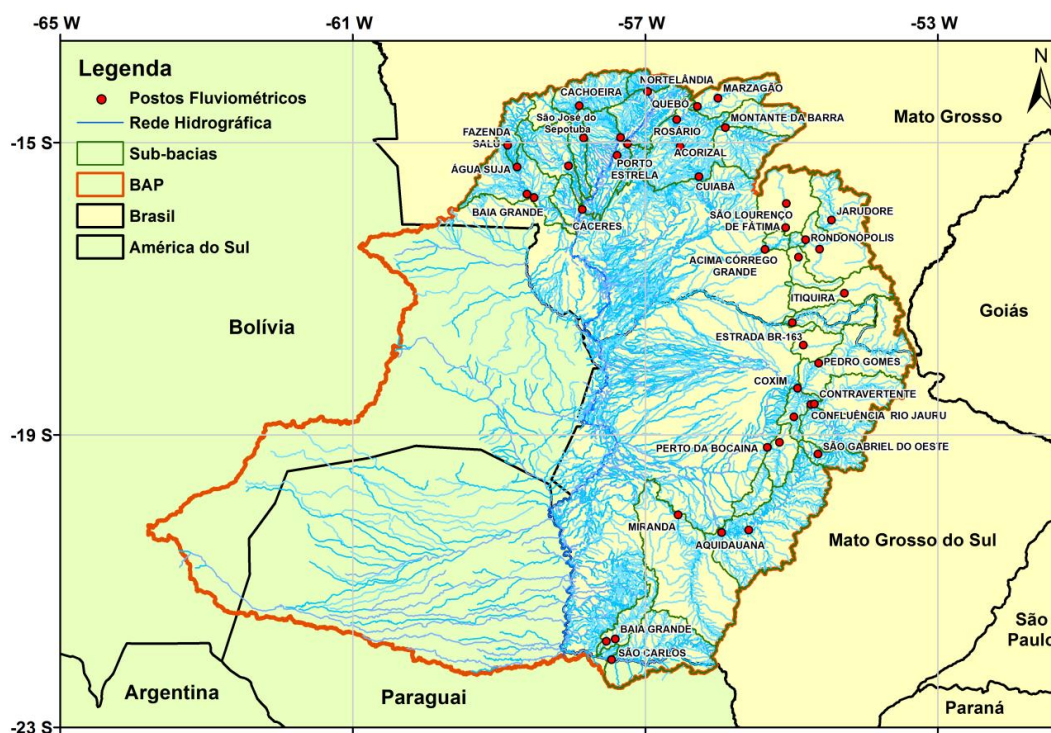


Figura 23. Divisão da BAP em 33 sub-bacias de acordo com a localização dos postos e empreendimentos hidrelétricos.

Fonte: Pedro Jardim (IPH-UFRGS, 2018)

Nos cenários da Análise II, a simulação dos empreendimentos hidrelétricos é realizada impondo-se regras de operação baseadas em níveis de água acumulados diariamente conforme a simulação chuva-vazão realizada a montante pelo modelo hidrológico MGB-IPH, considerando as dimensões e especificações de cada empreendimento. Tal procedimento foi adotado para fins de simplificação, dada a dificuldade de obtenção de dados reais e sua complexibilidade.

O período de simulação no MGB-IPH foi de 1990 a 2015. Essa etapa foi realizada pelo grupo de pesquisa do IPH-UFRGS e os resultados foram adaptados para entrada como condição de contorno para simulação do Pantanal com o modelo SIRIPLAN.

## ANÁLISE I – Impacto de Manso: Cenário natural x Cenário Manso

O cenário natural, tido como condição pré-impacto, adota vazões naturalizadas no rio Cuiabá, não considerando assim a hidrelétrica de Manso. O referido cenário utilizou no MGB-IPH vazões substituídas naturalizadas (sem Manso) provenientes do Sistema de Acompanhamento de Reservatórios (SAR). Por sua vez, o cenário Manso, condição pós-impacto, considera as vazões do rio Cuiabá após a instalação e operação da UHE Manso. Dessa forma, no MGB-IPH, foram então utilizadas vazões substituídas defluentes (considerando a existência de Manso) também oriundas do SAR.

A hidrelétrica de Manso foi construída em meados de 1990 e o enchimento do reservatório procedeu até o ano de 2003. Por esse motivo, para a análise I, foi considerado o período entre 2004 a 2015. Como a análise em questão tem como objetivo avaliar o efeito da UHE de Manso, apenas a condição de contorno Cuiabá foi modificada no período pós-impacto, uma vez que o rio Manso, onde está localizada a hidrelétrica, aflui para o rio Cuiabá. Dessa forma, as demais condições de contorno de montante foram mantidas idênticas entre os dois cenários, com e sem Manso, e provenientes da simulação chuva-vazão nas bacias de montante pelo MGB-IPH.

## **ANÁLISE II: Impacto de todas as Barragens - Cenário Manso x Cenário Barragens**

Como dito anteriormente, o módulo de reservatórios do MGB-IPH pode ser aplicado utilizando uma regra de operação conhecida, relacionando volume e a vazão defluente. Nesse sentido, foram adotadas regras de operação com base nos dados fornecidos pela ANA para os 165 empreendimentos considerando dados como potência, área de drenagem, tipo, estágio e outros (ANEXO).

A operação das barragens se deu através de duas equações lineares, que definem a quantidade de vazão liberada na minibacia onde havia barramento de acordo com o nível apresentado no reservatório. Se o nível fosse inferior ao nível mínimo operacional, a vazão efluente seria nula; se o nível do reservatório estivesse entre o nível mínimo operacional e o nível máximo operacional, a vazão defluente seria calculada em função do nível apresentado por meio de uma equação linear considerando da potência da usina; e se o nível de água no reservatório estivesse entre o nível máximo e o nível máximo maximorum, a vazão defluente seria calculada de acordo com uma segunda equação linear, em função das vazões e níveis máximo e máximo maximorum.

Quando não informados pela ANA, os níveis máximos maximorum e mínimos foram definidos como um metro acima ou abaixo do nível máximo, respectivamente. As curvas cota-área foram definidas com base nas áreas inundadas de cada barramento. A área equivalente à vazão máxima maximorum foi definida como 1 km<sup>2</sup> acima da área máxima e a área no nível mínimo foi sempre zero. Quando a área máxima não foi informada pela ANA, foi adotado 1 km<sup>2</sup>. Caso houvesse mais de uma usina em uma mesma minibacia, as regras consideraram o menor dos níveis operacionais e a maior das vazões máximas entre elas e a curva cota-área foi dada pela soma das áreas inundadas.

### **5.2.2. Simulação na Planície - SIRIPLAN**

Esta etapa foi realizada, em sua totalidade, dentro dos limites desta dissertação e é explicada com detalhes em tópicos seguintes.



## O modelo

O SIRIPLAN é um modelo hidrológico desenvolvido por PAZ et al. (2011) que combina modelos 1D e 2D para representação do escoamento na calha dos rios e o escoamento sobre a planície, respectivamente. Além disso, são acoplados módulos de conexão para o cálculo das trocas existentes entre rio e planície e representar o balanço hídrico vertical na planície.

Em relação ao escoamento na calha dos rios do Pantanal, o modelo hidrodinâmico unidimensional IPH4 simulou uma extensão total 3.965 km de canais, sendo 1.250 km o comprimento do rio Paraguai nos limites da bacia. O passo de tempo utilizado no modelo 1D foi de 1 hora e considerou a discretização dos canais em 828 seções transversais.

A partir do momento em que o nível da água sobe e ocorre o transbordamento da água para a planície, o modelo de inundação (2D) simulou uma extensão de 219.514 km<sup>2</sup>, superior a área do Pantanal. O modelo 2D utilizou o MDE proveniente do SRTM de resolução 90 metros. Por sua vez, a planície é discretizada em elementos retangulares interconectados (46.741 elementos de 0,02° x 0,02°, o que equivale a 2 km x 2 km). O passo de tempo do modelo 2D adotado foi de 120 segundos. O balanço vertical, que contabiliza o saldo entre precipitação e a evapotranspiração que aporta ou é retirado da planície, ocorreu ao passo de tempo de 1 dia.

O SIRIPLAN, validado e aplicado para o período entre setembro de 1995 a dezembro de 2005, alcançou bons resultados na simulação do pulso de inundação do Pantanal, representando satisfatoriamente o regime de vazões e o padrão espaço-temporal de inundações (Tabela 5).

Tabela 5. Estatísticas do ajuste do modelo hidrodinâmico 1D aos canais principais na simulação da planície da BAP com o SIRIPLAN

Posto	Rio	EMQ (m <sup>3</sup> /s)	NS	NSlog	EVol (%)	R
B. Melgaço	Cuiabá	70,2	0,94	0,97	-5,8	0,97
P. Cercado	Cuiabá	46,1	0,91	0,92	-4,6	0,96
S. João	Cuiabá	50,2	0,82	0,84	-8,8	0,93
I. Camargo	Cuiabá	85,3	0,78	0,80	-13,5	0,92
S. J. Borireu	S. Lourenço	26,6	0,92	0,94	4,9	0,97
S. J. Piquiri	Piquiri	89,2	0,75	0,82	8,9	0,89
P. Taiamã	Cuiabá	98,5	0,90	0,92	-2,1	0,96
P. Alegre	Cuiabá	79,8	0,82	0,85	8,3	0,96
S. Gonçalo	Taquari	**	**	**	**	**
P. Rolom	Taquari	**	**	**	**	**
F. R. Negro	Negro	**	**	**	**	**
P. Ciríaco	Aquid.	18,0	0,76	0,83	-3,5	0,88
T. Fogo	Miranda	**	**	**	**	**
Descalvados	Paraguai	79,3	0,91	0,92	-5,0	0,96
P. Conceição	Paraguai	80,1	0,63	0,62	7,6	0,83
Amolar	Paraguai	180,7	0,67	0,72	6,3	0,88
S. Francisco	Paraguai	258,7	0,70	0,73	-2,0	0,86
P. Manga	Paraguai	191,3	0,82	0,76	2,5	0,90
P. Murtinho	Paraguai	343,5	0,61	0,65	-6,1	0,84

\*\* Estatísticas não calculadas por indisponibilidade de dados observados.

Fonte: PAZ et al. (2010)

No presente estudo, o período de análise foi expandido até o ano de 2015, de modo a se obter uma série histórica de maior extensão, dentro da disponibilidade de dados, totalizando 19 anos, compatível com o utilizado na literatura quanto à aplicação de IHA e RVA. Além disso, por se tratar de um estudo comparativo entre resultados de simulações, a exigência de maiores extensões para o período de análise é reduzida.

As condições iniciais do SIRIPLAN são definidas em termos de profundidade ou lâmina d'água inicial de cada elemento. As simulações foram iniciadas empregando o artifício *hotstart*, ou seja, utilizou-se como condição de inundação inicial o resultado de simulação anterior, de modo que os efeitos iniciais sejam minimizados, e que a maior parte da série histórica seja avaliada com confiabilidade.

Para a análise do regime fluvial, são utilizados 19 pontos de controle ao longo da rede de drenagem do Pantanal, que correspondem a postos fluviométricos e/ou locais de interesse para análise hidrológica nesse sistema, como adotado por outros autores (PAZ et al., 2004; TUCCI et al., 2005) (Figura 24).

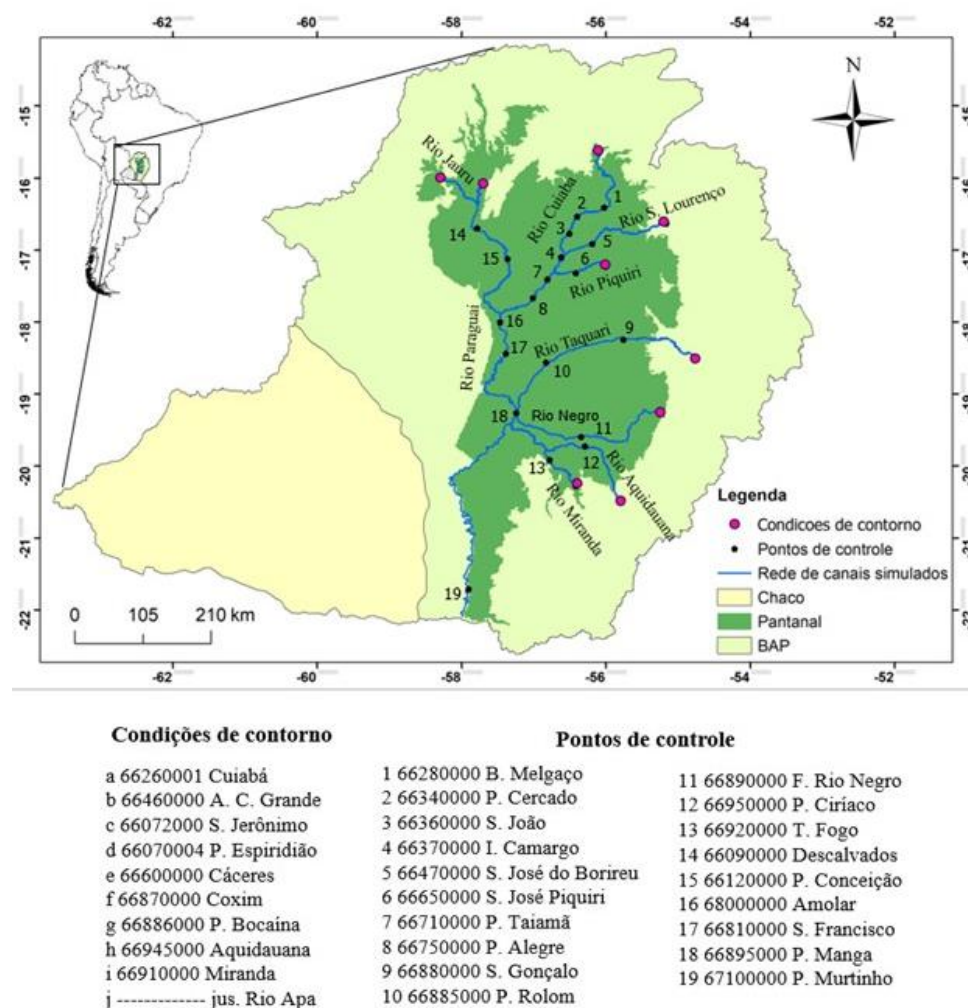


Figura 24. Área de estudo com identificação das condições de contorno e pontos de controle analisados.  
Fonte: Adaptado de PAZ (2010)

## Obtenção e preparo dos dados de entrada

Os dados pluviométricos (106 postos) e fluviométricos foram obtidos pela plataforma HidroWeb da ANA. O modelo realiza interpolação a partir de dados disponíveis de pluviômetros utilizando o método do inverso do quadrado das distâncias. Em função do grande número de postos, das dimensões da área de estudo e da interpolação supracitada, não foram utilizados métodos de preenchimento de falhas, procedimento comum em estudos de modelagem hidrológica distribuída de grandes bacias hidrográficas. O percentual de dados disponíveis nos postos pluviométricos e fluviométricos podem ser visualizados nos APÊNDICES A e B, respectivamente.

As vazões geradas pelo modelo MGB-IPH foram utilizadas como condições de contorno de montante do SIRIPLAN (Tabela 6 e Tabela 7), enquanto a foz do rio Apa, localizada a 60 km de P. Murtinho, foi considerada como condição de contorno de jusante (PAZ, 2010).

Tabela 6. Identificação e área de drenagem das condições de contorno do SIRIPLAN

Código do posto	Legenda	Nome	Rio	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )
66260001	a	Cuiabá	Cuiabá	24.668
66460000	b	A. C. Grande	S. Lourenço	23.327
66600000	c	S. Jerônimo	Piquiri	9.215
66072000	d	P. Espiridião	Jauru	6.221
66070004	e	Cáceres	Paraguai	32.574
66870000	f	Coxim	Taquari	28.688
66886000	g	P. Bocaína	Negro	2.807
66945000	h	Aquidauana	Aquidauana	15.35
66910000	i	Miranda	Miranda	15.502

Fonte: PAZ (2010)

Tabela 7. Estatísticas de ajuste do modelo hidrológico MGB-IPH às sub-bacias do Planalto da BAP (comparação entre vazão observada e calculada).

Posto fluviométrico (condição de contorno)		Rio	Período de ajuste	Estatísticas de ajuste		
Código	Nome			NS	NSlog	EVol (%)
66260001	Cuiabá	Cuiabá	Jan80-Dez90	0,80	0,82	1,7
66460000	A.C. Grande	S. Lourenço	Jan80-Dez90	0,84	0,90	0,8
66600000	S. Jerônimo	Piquiri	*	*	*	*
66072000	P. Espiridião	Jauru	**	**	**	**
66070004	Cáceres	Paraguai	Jan80-Dez90	0,88	0,91	-0,5
66870000	Coxim	Taquari	Jul79-Dez84	0,81	0,84	-1,3
66886000	Negro	Negro	***	***	***	***
66945000	Aquidauana	Aquidauana	Jan92-Dez97	0,83	0,84	-2,0

\* Sub-bacia calibrada ajustando hidrogramas em postos fluviométricos a montante.

\*\* Sub-bacia calibrada em conjunto com sub-bacia contribuinte ao posto fluviométrico de Cáceres no rio Paraguai.

\*\*\* Sub-bacia não calibrada em reação da ausência de dados observados, sendo utilizados parâmetros ajustados em sub-bacias próximas.

Fonte: PAZ (2010)

Para a análise I – Efeito de Manso, foram utilizados os dados de vazão do cenário base para todas as condições de contorno, com exceção de Cuiabá, cuja condição de contorno recebe influência da UHE de Manso. Para a segunda análise – Efeito das Barragens, as condições de contorno do cenário Manso são diferentes da análise I: os dados de vazão são resultado das regras de operação admitidas.

### 5.3. Avaliação das alterações hidrológicas

A investigação das alterações hidrológicas foi realizada em termos de vazão e área inundada e sob duas abordagens: visualização das características gerais do escoamento e aplicação de metodologias de quantificação da alteração hidrológica.

Em primeiro momento, as mudanças no regime fluvial foram visualizadas por meio da comparação entre hidrogramas, vazões médias mensais e curva de permanência dos cenários pré e pós-impacto. Por sua vez, a análise da área inundada foi inicialmente realizada pela comparação direta de gráficos para diferentes faixas na planície marginais a rios do Pantanal. Nesse caso, foram considerados os rios mais envolvidos com as UHE, Cuiabá e Paraguai, possibilitando a quantificação das áreas inundadas em suas faixas marginais a 10, 30 e 50 km.

Além disso, foram realizadas comparações entre mapas de inundação, possibilitando uma melhor visualização dos efeitos a nível espacial. Os mapas de inundação foram produzidos por uma rotina computacional denominada VehBin, desenvolvida por PAZ (2010), com foco na frequência de inundação e lâmina de água média. A lâmina mínima adotada foi de 0,02 metros de profundidade, valor também utilizado por PAZ (2010) – ou seja, cada ponto da planície foi considerado inundado ou não em cada instante de tempo se possuísse profundidade superior ou não a 2 cm, respectivamente.

Dessa forma, após processamento no modelo SIRIPLAN, os dados de vazão dos 19 pontos de controle (análise de vazão) e buffers de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai (Figura 25) foram inseridos no software IHA versão 7.1 (TNC, 2009) para cálculo dos IHA e do RVA.

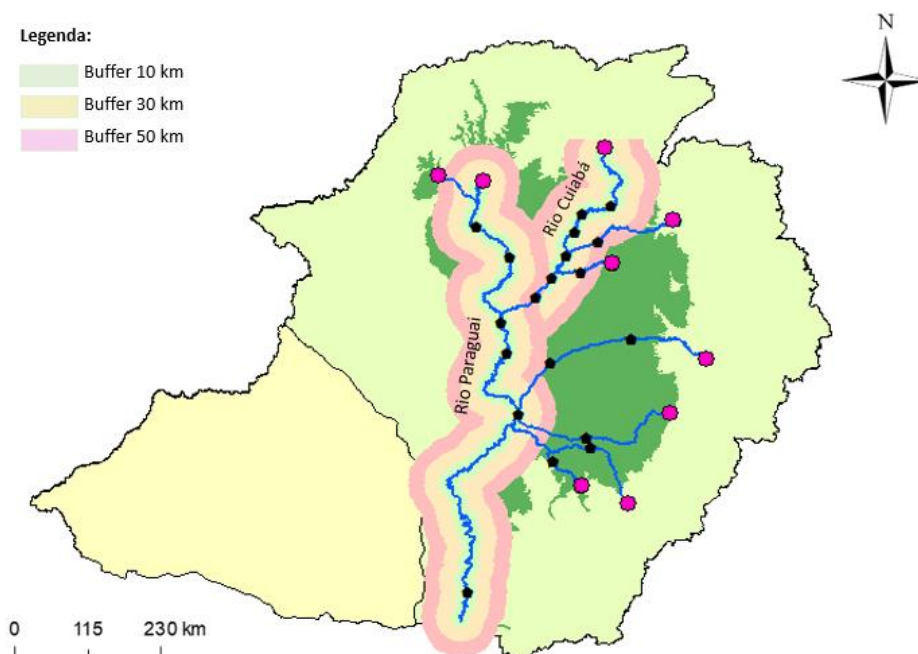


Figura 25. Buffers de 10, 30 e 50 km margeando os rios Cuiabá e Paraguai considerados na análise de área inundada pelo IHA e RVA.  
Fonte: Autora (2018)

Para avaliar o efeito da hidrelétrica de Manso foi utilizada uma série de menor extensão (2004 - 2015), uma vez que a operação da hidrelétrica de Manso teve início no ano de 2004. No caso da análise do efeito da operação de múltiplas hidrelétricas, foi utilizada uma série de dados diários de 19 anos (1999 – 2015).

Para cada posto fluviométrico e buffer analisado, foi definido o ano hidrológico e selecionado o tipo de análise estatística a ser utilizada: paramétrica (média e desvio padrão) ou não paramétrica (mediana e percentil). Em função da natureza não normal dos dados hidrológicos, optou-se pelo uso da análise não paramétrica (TNC, 2009). O indicador “Número de dias de vazões nulas” não foi considerado uma vez que os rios simulados são de natureza perene, sendo, portanto, analisados 32 dos 33 indicadores.

## IHA

De modo a complementar a análise do RVA, foi contabilizada a taxa de alteração relativa de cada indicador hidrológico (Equação 03).

$$\text{Taxa de alteração (\%)} = \left( \frac{X_{n,pós} - X_{n,pré}}{X_{n,pré}} \right) * 100 \quad \text{Eq. 03}$$

Onde  $X_{n,pós}$  é o valor mediano do indicador  $n$  para o período pós-impacto e  $X_{n,pré}$  é o valor mediano do indicador  $n$  para o período pré-impacto. A taxa de alteração global foi calculada pela média dos valores em módulo.

## RVA

Para avaliar o grau de variação das condições naturais do regime hidrológico, o *software* IHA calcula o fator de alteração hidrológica (AH) (Equação 04).

$$AH = \frac{F.O. - F.E.}{F.E.} \quad \text{Eq. (04)}$$

onde: AH – Fator de alteração hidrológica para a categoria analisada; F. O. – Frequência anual observada dentro da faixa alvo ou categoria central, comumente associada ao período posterior ao impacto que se deseja analisar (pós-impacto); F. E. – Frequência anual esperada dentro da faixa alvo ou categoria central, comumente associada ao período anterior ao impacto que se deseja analisar (pré-impacto).

A configuração padrão do *software* IHA considera apenas a categoria central (valores entre o 33º e 67º percentil da série histórica pré-impacto), embora quantifique as mudanças nas demais categorias. Valores positivos do fator de AH indicam que a frequência de valores de cada indicador na categoria central é maior do que a esperada, enquanto um valor negativo indica que a frequência foi menor do que a esperada. A porcentagem da alteração hidrológica é então calculada multiplicando o fator de alteração hidrológica por 100 (SANTOS e SOUZA, 2015). Em termos absolutos, para Richter et al. (1997), uma alteração de 0 a 33% é considerada baixa; entre 33 e 67% é considerada alteração moderada; e acima de 67% ocorre uma elevada alteração. Por fim, o resultado final do grau de alteração hidrológica é dado pela média de todos os 33 indicadores em módulo (HE et al., 2018; RICHTER et al., 1997).

Os procedimentos de cálculo para todos os indicadores foram verificados em planilhas eletrônicas.

### **Proposta de adaptação do RVA: limites de transição entre categorias (RVA\_LT)**

A partir dos resultados previamente obtidos e dos altos valores observados em determinados grupos de indicadores, foi realizada uma investigação mais detalhada das modificações em cada categoria. Observou-se que valores ínfimos de vazão resultam em uma mudança de categoria, e consequente, em um aumento no valor geral da alteração hidrológica (Figura 26). Além disso, por se tratar de uma série relativamente curta de dados, quaisquer mudanças de categoria resultam em alterações mais expressivas, podendo induzir interpretações equivocadas quanto aos resultados obtidos.

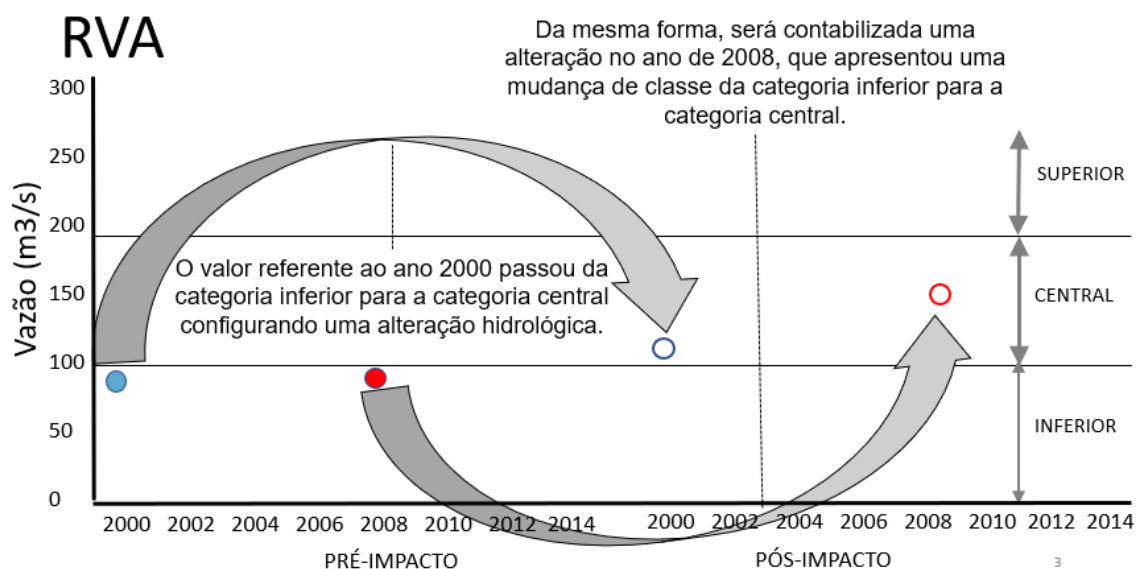


Figura 26. Detalhamento do funcionamento da metodologia RVA  
Fonte: Autora (2019)

Dessa forma, foi proposta uma modificação do método RVA a partir da consideração dos chamados limites de tolerância, que ocorrem no limiar superior e inferior das categorias superior e inferior (Figura 27). Assim, a alteração ou não de categoria depende da categoria de origem, sendo apenas contabilizadas as mudanças que ocorreram fora dos limites de tolerância.

O tamanho das faixas de transição ( $t1, inf$ ;  $t1, sup$ ;  $t2, inf$ ;  $t2, sup$ ) pode ser atrelado a um percentual da amplitude da categoria central, dada sua imutabilidade, diferentemente da categoria superior, por exemplo, que pode crescer até 300%. É importante destacar que o limiar adotado deve ser menor do que a maior alteração permitida entre classes. Foram então testados limiares de 5% e 10%, e com base nos resultados obtidos, foi adotado o valor de 10%, uma vez que o valor de 5% ocultou diversas alterações.

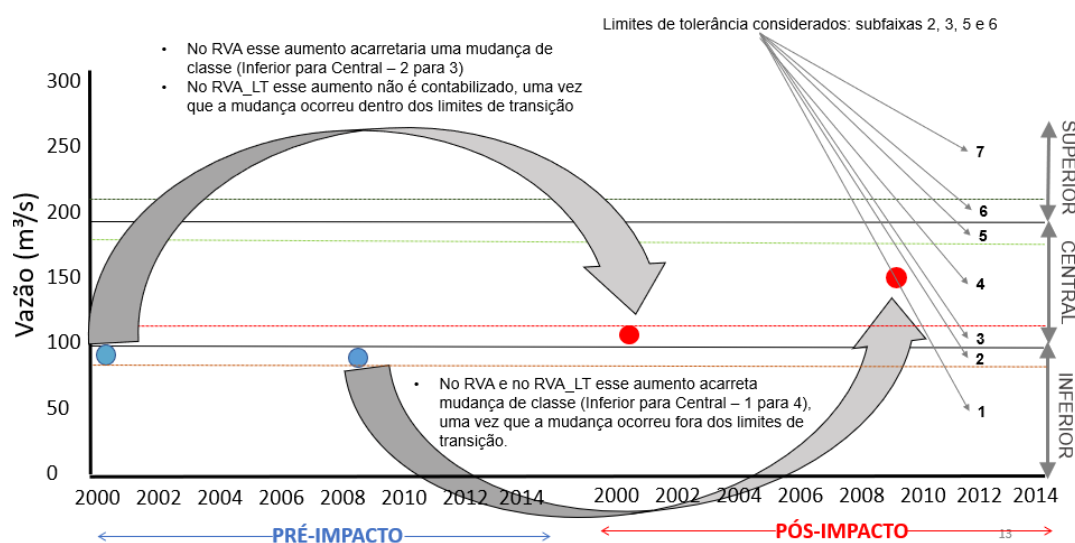


Figura 27. Exemplo de aplicação do RVA\_LT  
Fonte: Autora (2019)

A Figura 28 resume o funcionamento da abordagem RVA\_LT, que também foi aplicada aos resultados de vazão das Análises I e II considerando apenas a categoria central.

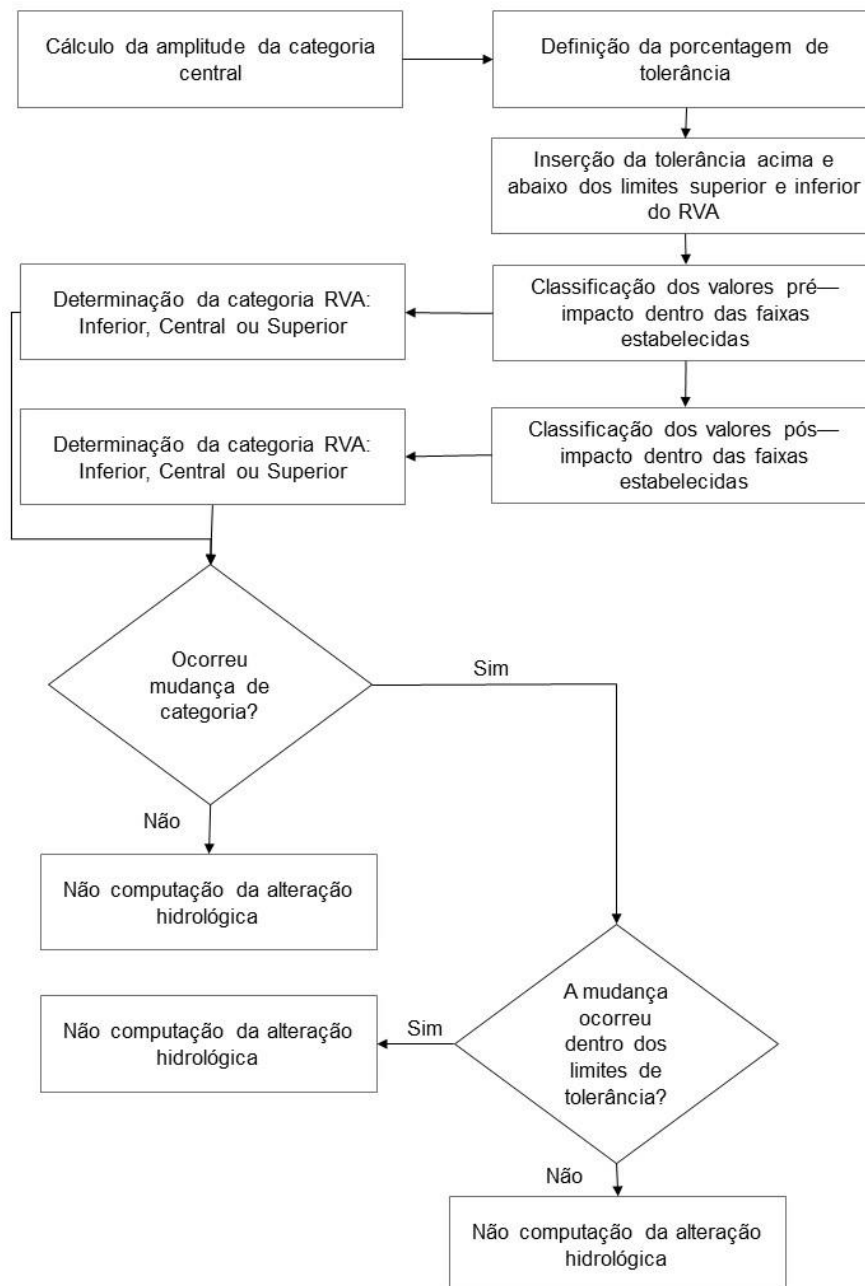


Figura 28. Fluxograma da adaptação RVA\_LT  
Fonte: Autora (2019)

### RVA (Análise das três categorias)

Como mencionado anteriormente, a categoria central é usualmente utilizada para representar as alterações hidrológicas em termos de frequência de ocorrência. A metodologia inicialmente proposta por Richter et al. (1997) utilizava 50% dos valores médios/medianos anuais na categoria central, garantindo assim uma maior representatividade. Posteriormente, foram flexibilizados os



limites de cada categoria, sendo a divisão em três categorias com iguais valores de percentil (~33%) amplamente adotada (ALRAJOUULA et al. 2016; IHA, 2009).

No entanto, mesmo com tal divisão, muitos estudos ainda utilizam a categoria central para avaliação dos resultados. A referida abordagem desconsidera alterações de frequência de ocorrência nas demais categorias, não refletindo assim, no real comportamento global de cada indicador (MATHEWS e RICHTER, 2007). Para contornar tal falha, estudos recentes vêm analisando as modificações nas três categorias (ASSAHIRA et al., 2017). Nesse sentido, esse estudo também contempla tal abordagem de modo a proporcionar uma visão global das alterações e investigar os resultados obtidos pela abordagem tradicional.

Assim, além da análise tradicional, com base na categoria central, foi realizada a análise das mudanças de frequência de ocorrência nas três categorias.

#### 5.4. Resumo das Análises

A Tabela 8 apresenta um resumo das principais informações das análises I e II.

Tabela 8 Resumo das análises I e II: formulação de cenários, simulação e período de análise

Análise	Condição	Cenário	Simulação MGB-IPH	Período de simulação SIRIPLAN	Período de análise IHA/RVA
Análise I	Pré-impacto	Sem Manso	Vazões naturalizadas (SAR)	1995 - 2015	2004 – 2015
	Pós-impacto	Com Manso	Vazões defluentes (SAR).	1995 - 2015	2004 – 2015
Análise II	Pré-impacto	Com Manso	Operação de acordo com 2 equações lineares	1995 - 2015	1999 – 2015
	Pós-impacto	Com todos os Barramentos	Operação de acordo 2 equações lineares	1995 - 2015	1999 - 2015

Fonte: Autora (2018)

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1 Análise I – Impacto de Manso**

Essa análise foi realizada a partir da consideração (pós-impacto) ou não (pré-impacto) da existência e operação da hidrelétrica de Manso, instalada no rio Manso, afluente do rio Cuiabá. A condição pré-impacto foi estabelecida a partir de dados de vazão naturalizadas, enquanto a condição pós-impacto foi feita a partir de dados de vazão defluente, ambos provenientes do SAR.

#### **6.1.1 Análise de vazões**

A avaliação das modificações no regime fluvial ocasionadas pela hidrelétrica de Manso foi realizada em duas dimensões: pela visualização das características gerais do escoamento (comparação de hidrogramas, vazões médias mensais e curva de permanência) e quantificação da alteração hidrológica utilizando as metodologias IHA e RVA (1. RVA tradicional, considerando apenas a categoria central; 2. RVA\_LT, também considerando a categoria central; e 3. RVA considerando as mudanças nas três categorias) para análise da alteração relativa e frequência de ocorrência, respectivamente.

#### **Características gerais do escoamento**

A comparação dos hidrogramas simulados pelo SIRIPLAN foi realizada considerando todos os pontos de controle ao longo da rede de canais simulados no Pantanal, com especial atenção aos rios Cuiabá e Paraguai, por possuírem influência direta da UHE Manso. Em todos os pontos analisados nos rios Cuiabá e Paraguai foram observadas modificações nos hidrogramas, indicando que a operação da hidrelétrica de Manso tem efeito no regime de vazões. A Figura 29 exibe o comportamento de alguns pontos e, como esperado, o impacto da operação da hidrelétrica no rio Cuiabá tende a diminuir de acordo com a distância e a contribuição de seus tributários, rio S. Lourenço e rio Piquiri. A influência da UHE Manso alcança o rio Paraguai, após a confluência do rio Cuiabá, embora as alterações sejam ainda mais atenuadas.

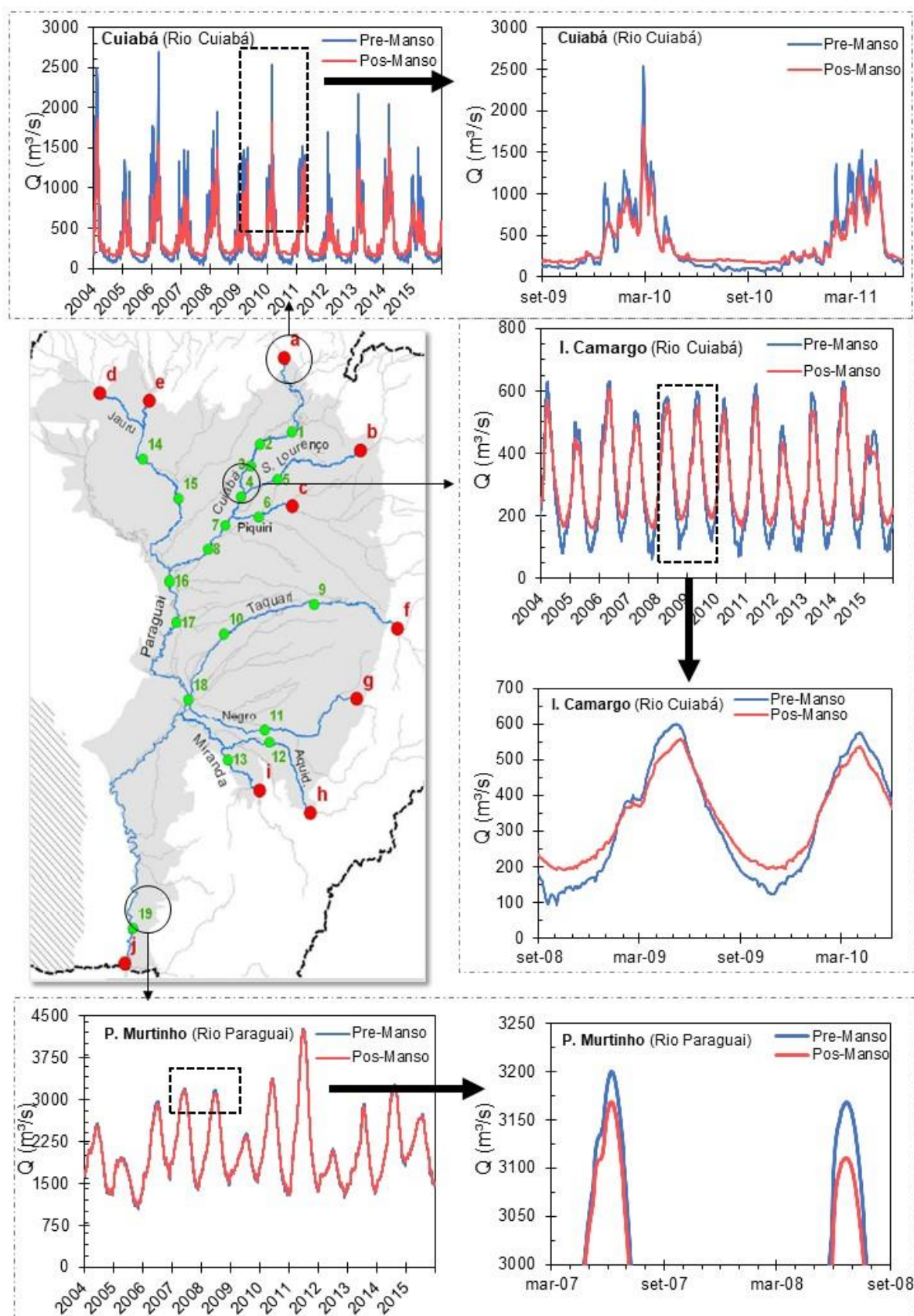


Figura 29. Hidrogramas simulados pelo SIRIPLAN para alguns pontos de controle para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso) em duas escalas: considerando todo período simulado (2004 a 2015) e a nível intra-anual.

Fonte: Autora (2019)

Na condição de contorno Cuiabá (a), que recebe a contribuição direta do rio Manso, é observada forte redução nas vazões de pico, da magnitude de até 750 m<sup>3</sup>/s, o que representa aproximadamente 30%, e um aumento das vazões no período de estiagem de até 100 m<sup>3</sup>/s, representando cerca de 213%. Em I. Camargo (4), a cerca de 500 km da barragem, o efeito da UHE de Manso é menos pronunciado, sendo observadas mudanças mais expressivas nos meses de estiagem (entre agosto e janeiro), com aumento de até 100 m<sup>3</sup>/s (aproximadamente 57 %), ao passo que no período de cheias (entre abril e junho) ocorre uma redução das vazões de pico de aproximadamente 50 m<sup>3</sup>/s (cerca de 7,5%). No ponto mais a jusante da BAP, P. Murtinho (19), localizado a uma distância de 1.200 km da condição de contorno, as alterações são menos visíveis, embora ainda ocorram reduções das vazões de pico próximas a 50 m<sup>3</sup>/s em determinados dias, representando apenas 2%.

Alterações visíveis também ocorreram na análise da vazão média mensal dos pontos de controle, evidenciando que o padrão sazonal de vazões é modificado pela UHE de Manso (Figura 30). Nos pontos mais próximos à condição de contorno Cuiabá, ocorrem redução e aumento de cerca de 100 m<sup>3</sup>/s (ou 16%) nas vazões médias dos meses de cheia (entre fevereiro e abril) e estiagem (entre julho e outubro), respectivamente. Após a confluência do rio Piquiri com o rio Cuiabá, o efeito da UHE nas vazões dos meses de cheia tende a ser menos expressivo, e nos pontos mais a jusante da bacia, como P. Manga (18) e P. Murtinho (19), a diferença entre as vazões médias pré e pós-impacto é ainda menos pronunciada. Os valores de vazão média mensal pré e pós-impacto são exibidos no APÊNDICE C.

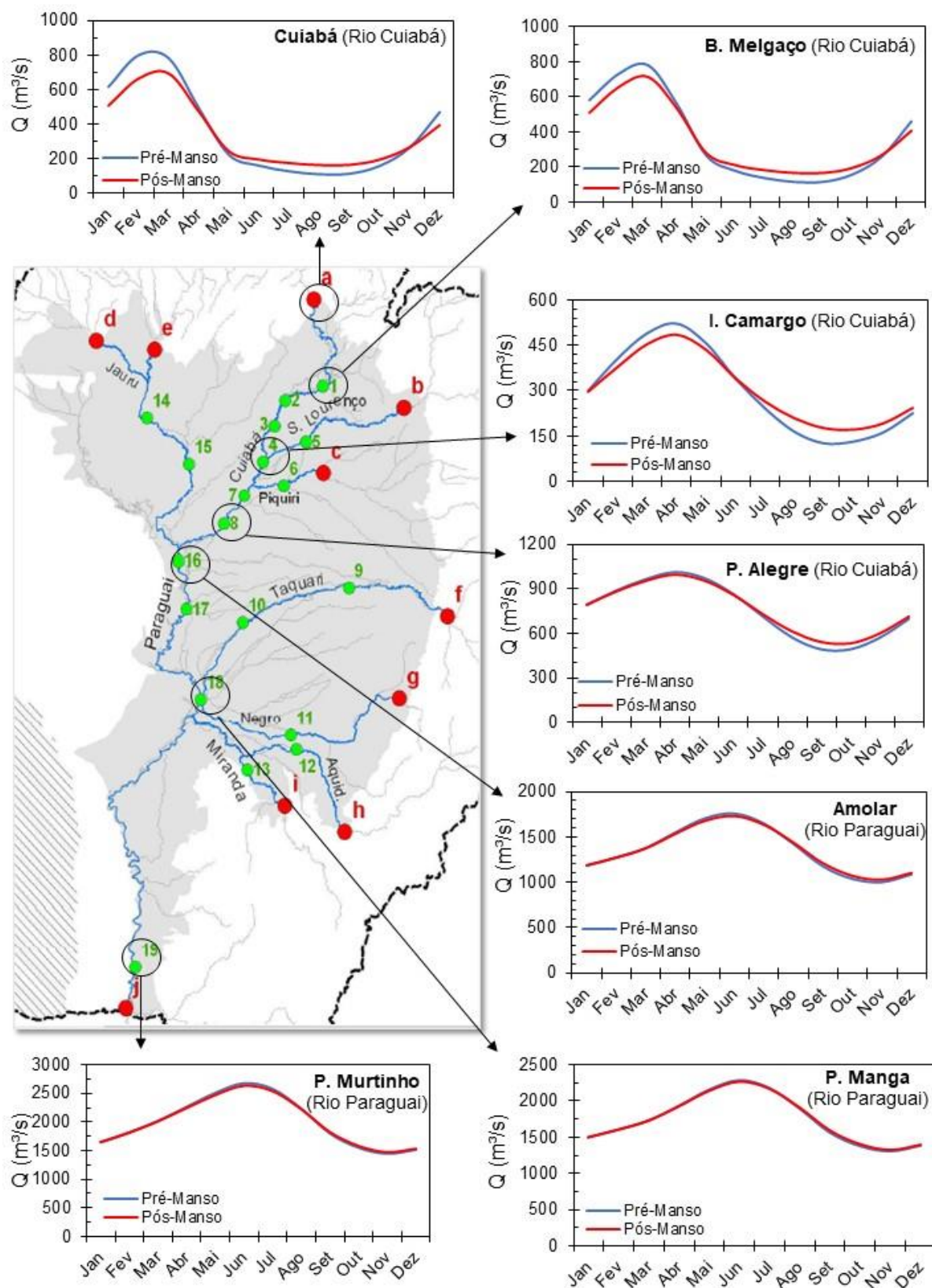


Figura 30. Vazões médias mensais para para alguns pontos de análise para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2019)



Além dos hidrogramas, foi analisada a mudança nas curvas de permanência da condição de contorno Cuiabá e nos pontos de controle P. Alegre (8), Amolar (16) e P. Murtinho (19) (Figura 31). A curva de permanência de vazão, também conhecida como curva de duração, informa a frequência com que uma vazão de determinada magnitude é igualada ou superada durante o período de registro de vazões (VILLELA e MATOS, 1975). A Figura 31 confirma os resultados anteriores e exibe considerável redução das vazões de pico e o aumento das vazões mínimas na CC Cuiabá, de modo que em pelo menos 10% do tempo as vazões foram reduzidas em cerca de 100 m<sup>3</sup>/s. Após a confluência com o rio Paraguai, do ponto Amolar em diante, as diferenças entre as curvas são pouco visíveis e estas praticamente se sobrepõem.

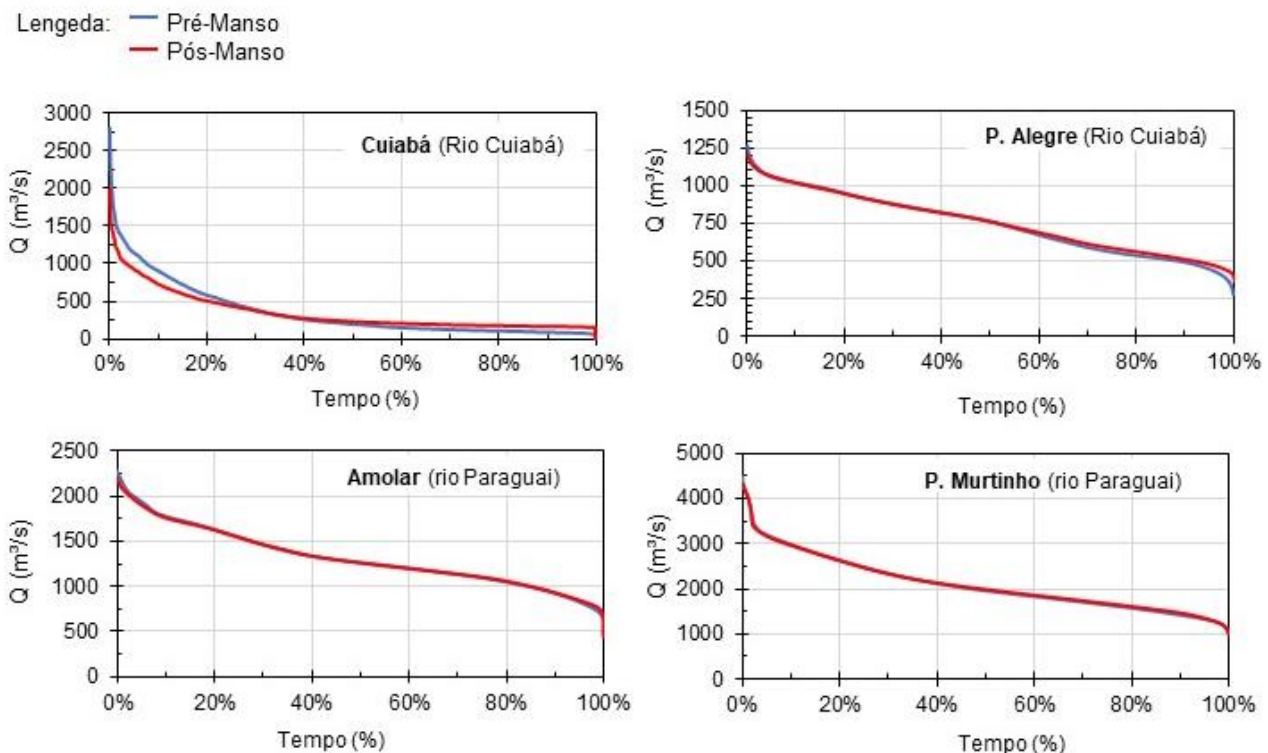


Figura 31. Curva de permanência de alguns pontos de análise para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2019)

### Quantificação da alteração hidrológica: IHA, RVA e RVA\_LT

Após a caracterização geral dos dados de vazão gerados pelo SIRIPLAN para os períodos pré e pós-impacto (sem Manso e com Manso, respectivamente), foram aplicadas metodologias de quantificação da alteração hidrológica. Dessa forma, para cada ponto de análise dos rios Cuiabá e Paraguai, os valores de IHA, RVA (categoria central e análise das três categorias) e RVA\_LT (categoria central) foram computados.

## **IHA**

Em um primeiro momento foram analisadas as alterações relativas (%), ou seja, a quantificação direta da mudança pré e pós-Manso para cada IHA. Os resultados são exibidos para alguns pontos de análise ao longo dos rios Cuiabá e Paraguai e, como esperado, tendem a diminuir com a distância da condição de contorno Cuiabá (Figura 32). Os valores de alteração relativa para os demais pontos são exibidos no APÊNDICE D.

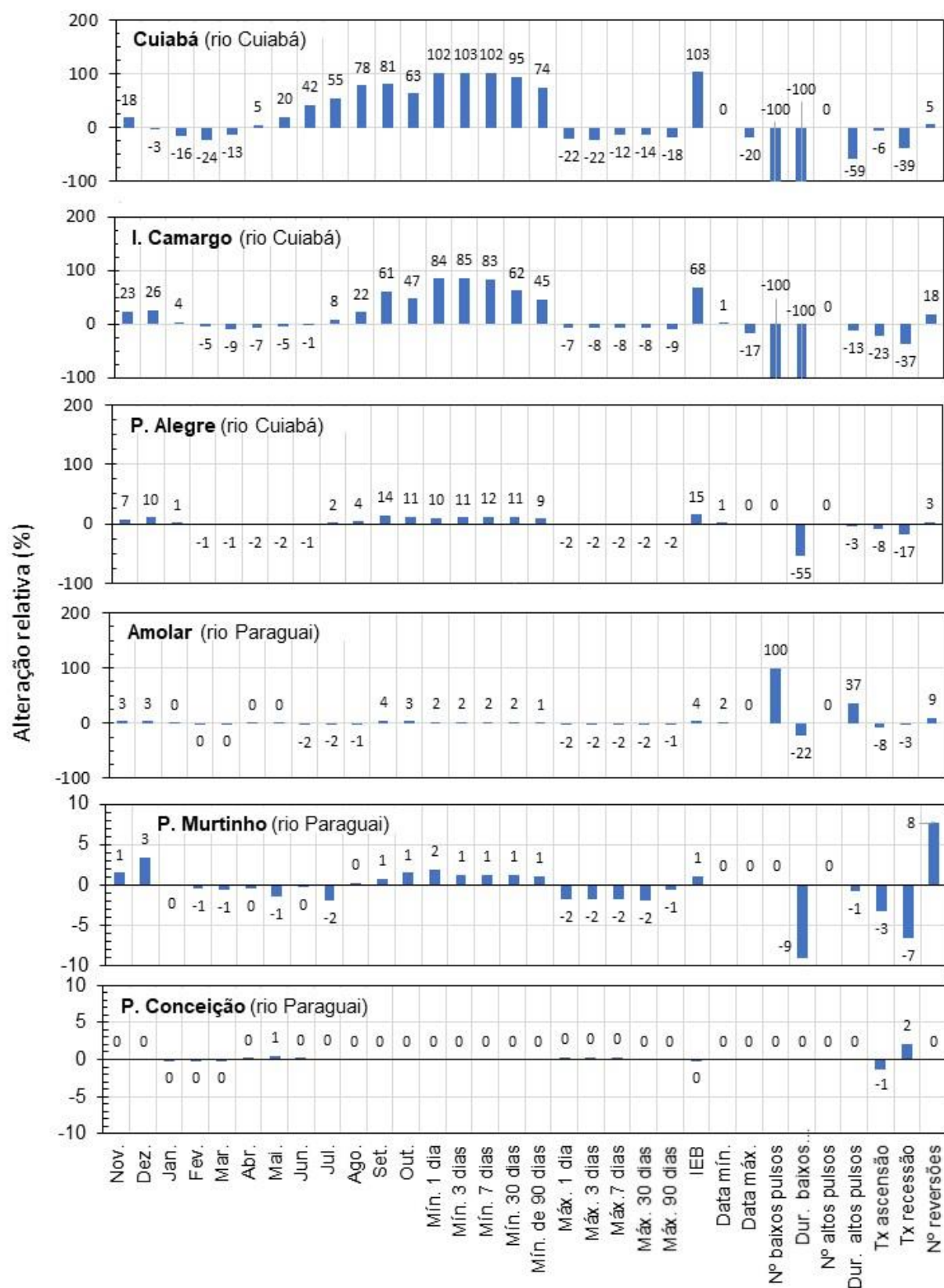


Figura 32. Alteração Relativa (%) para alguns pontos de análise dos rios Cuiabá e Paraguai para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).  
Fonte: Autora (2019)



Na condição de contorno Cuiabá (a), a UHE Manso aumenta entre 20% e 80% as vazões medianas dos meses de maio a novembro, que correspondem ao período de vazante-estiagem, enquanto que nos meses de cheia (dezembro a abril), ocorrem reduções de até 24%. Consequentemente, os indicadores de vazões mínimas de diferentes durações também aumentam (100%), ao passo que ocorre uma redução de 22% nas vazões máximas de 1 e 3 dias. Os indicadores do grupo 3, data de vazão mínima e máxima anual, apresentaram alterações de menor magnitude e, de maneira geral, houve uma antecipação da vazão máxima anual em torno de 20%, cerca de 14 dias antes do esperado. No grupo 4, as maiores alterações ocorreram nos indicadores número e duração de baixos pulsos, que apresentaram redução de 100%. As taxas de ascensão e recessão também apresentaram reduções, enquanto o número de reversões subiu.

Nos postos a jusante da CC Cuiabá foram observadas alterações de padrão semelhante, embora de magnitude reduzida. Em P. Alegre (8), último ponto do rio Cuiabá antes da confluência com o rio Paraguai, as vazões medianas de setembro a dezembro, as vazões mínimas de 1, 3, 7, 30 e 90 dias e o índice de fluxo de base apresentaram um aumento médio de 11%. Nesse ponto, a duração de baixos pulsos foi o indicador mais modificado, apresentando uma redução de 55%, o que pode ser explicado pelo aumento das vazões mínimas somando à hipersensibilidade desse indicador, contabilizado apenas por números inteiros. Nos demais indicadores não foram observadas alterações visíveis.

Ao longo do rio Paraguai, são exibidas menores modificações no regime fluvial, com exceção de Amolar (16) e S. Francisco (17), que apresentaram um aumento de 100% no número de baixos pulsos (APÊNDICE D). Ainda no rio Paraguai, foram observadas pequenas mudanças em alguns indicadores de P. Conceição (15), localizado 246 km a montante da confluência com o rio Cuiabá. Isso pode ser explicado pelo efeito de remanso, comum em rios com altas vazões, ou ainda pelas trocas de vazão lateral canal-planície no trecho entre P. Conceição (15) e o rio Cuiabá, resultando na condução do escoamento pela planície até o rio Paraguai, comportamento anteriormente reportado por PAZ (2010). No que se refere aos pontos de controle localizados nos demais rios, não foram observadas mudanças, o que já era esperado, uma vez que estes não recebem influência direta do rio Manso.

O comportamento observado nos primeiros pontos do rio Cuiabá se assemelha aos usualmente reproduzidos na literatura como sendo efeitos ocasionados por barragens: a redução das vazões nos períodos de cheia e aumento durante os períodos mais secos, além do aumento no número de reversões e diminuição nas taxas de ascensão e recessão (LU et al., 2018; MITTAL et al., 2014). Mittal et al. (2014) destacaram que as barragens eliminaram cheias de grandes magnitudes no rio Kangsabati, na Índia, e que diversas espécies de peixes da região seriam sensíveis à redução das vazões mais elevadas. O efeito de regularização ocasionado pela barragem sobre as vazões mínimas

pode ter consequências diversas sobre a fauna do Pantanal, como o tuiuiú (*Jabiru mycteria*), que habita margens de rios e áreas inundadas, se alimenta de peixes e se reproduz durante o período de vazões baixas.

### **RVA e RVA\_LT** (categoria central)

Para a quantificação das modificações com base na frequência de ocorrência, foi utilizada a abordagem tradicional do RVA, ou seja, a computação de frequência de valores na categoria central – entre os 34º e 67º percentis (APÊNDICE D). Assim como a análise de alteração relativa, a abordagem tradicional do RVA também indicou mudanças mais expressivas nos pontos Cuiabá (a), B. de Melgaço (1), P. Cercado (2), S. João (3) e I. Camargo (4), todos localizados no rio Cuiabá.

Os resultados indicam que, nesses pontos, a operação da UHE de Manso tende a reduzir em até 100% os indicadores de vazões mínimas de diferentes durações, as vazões medianas dos meses de estiagem (entre julho e novembro) e o número e duração de baixos pulsos. Entretanto apenas os resultados dos indicadores de baixos pulsos obtidos pelo RVA corroboram com os resultados observados na análise da alteração relativa, uma vez que as vazões mínimas e medianas dos períodos mais secos aumentaram em magnitude. Logo, além da diferença de grandeza, o comportamento geral de aumento ou redução dos indicadores difere em alguns pontos.

A abordagem tradicional do RVA foi utilizada por Pffeifer e Ionita (2017) para investigar mudanças históricas no regime dos rios Elbe e Rhine, na Alemanha. Os autores constataram que no rio Elbe ocorreu um aumento nas vazões mínimas e relacionaram tais mudanças a barragens construídas em um rio tributário. O comportamento geral de redução dos indicadores dos grupos 4 e 5, observado pela alteração relativa e corroborado pelo RVA, também foi reportado por Zhang et al. (2014), que constataram forte impacto das hidrelétricas no regime do rio East (na China), levando a uma redução na frequência no número e duração de baixos pulsos, além da taxa de ascensão.

No que se refere ao RVA\_LT é possível concluir que tal adaptação tende a diminuir os valores de alteração hidrológica, se comparado à metodologia tradicional (APÊNDICE D). Isso acontece em função dos limites de tolerância, evitando que pontos localizados exatamente nos limites superior ou inferior do RVA, ou muito próximos a eles, sejam contabilizados. Entretanto problemas foram observados nos indicadores dos grupos 2 e 4, que não apresentaram reduções dos valores obtidos com a abordagem RVA tradicional.

Utilizando a classificação adotada por Richter et al. (1997), a Figura 33 ilustra a quantidade de indicadores considerados como de alteração baixa ( $RVA < |33\%|$ ), moderada ( $|34\%| < RVA < |67\%|$ ) e alta ( $RVA > |67\%|$ ) para os pontos de análise dos rios Cuiabá e Paraguai. No rio Cuiabá, a alteração tende a diminuir mais notadamente a partir do posto P. Taiamã (7), no rio Cuiabá, após a

contribuição do rio Piquiri. No rio Paraguai, nenhum indicador foi classificado como de alteração alta ( $RVA > |67\%|$ ) e a maioria dos indicadores sofreram baixa alteração ( $RVA < |33\%|$ ).

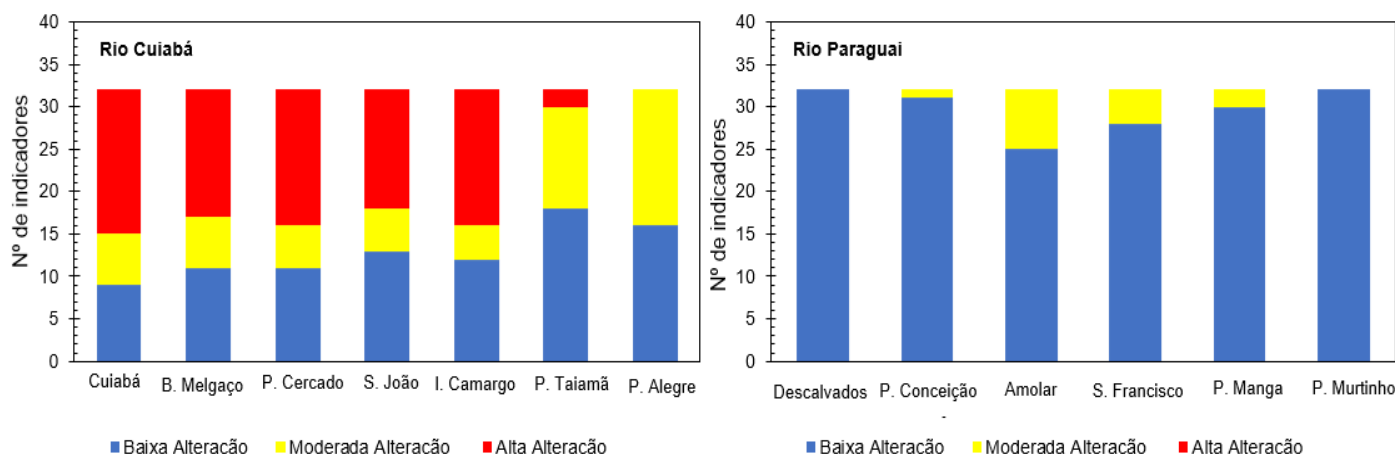


Figura 33. Número de indicadores (do total de 32 analisados) classificados como de baixa ( $RVA < |33\%|$ ), moderada ( $|34\%| < RVA < |67\%|$ ) ou alta ( $RVA > |67\%|$ ) alteração nos pontos de análise dos rios Cuiabá e Paraguai para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2019)

A Tabela 9 resume os valores gerais de taxas de alteração relativa, RVA e RVA\_LT, calculados pela média absoluta dos 32 IHA para cada condição de contorno e ponto de controle. Observa-se, de maneira geral, uma redução da influência da hidrelétrica de Manso ao longo do rio Cuiabá, e mais adiante, após sua confluência com o rio Paraguai. Os resultados apresentados estão em concordância com os estudos realizados por Souza Filho (2012), que avaliou, a partir de dados observados, o efeito dos empreendimentos hidrelétricos já existentes e em operação até o ano de 2010 sobre o regime de vazões na BAP e constatou que o rio Cuiabá tende a ser o curso mais afetado pela regularização das barragens da região.

Tabela 9. Média dos 32 IHA (em módulo) para Alteração relativa, RVA e RVA\_LT por posto fluviométrico – Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Rio	Posto fluviométrico	Alteração Relativa (%)	RVA (%)	RVA_LT (%)
Rio Cuiabá	<b>Cuiabá</b>	44%	64%	60%
	Barão de Melgaço	42%	58%	56%
	Porto Cercado	36%	58%	61%
	São João	30%	59%	59%
	Ilha Camargo	31%	58%	53%
	P. Taiaimã	7%	32%	34%
	P. Alegre	7%	31%	27%
Rio Jauru	<b>Porto Espiridião</b>	0%	0%	0%
Rio São Lourenço	<b>A. C. Grande</b>	0%	0%	0%
	SJ Borireu	0%	0%	0%
Rio Piquiri	<b>São Jeronimo</b>	0%	0%	0%
	SJ Piquiri	0%	0%	0%

<b>Rio Taquari</b>	<b>Coxim</b>	0%	0%	0%
	São Gonçalo	0%	0%	0%
	P. Rolom	0%	0%	0%
<b>Rio Negro</b>	<b>P. Bocaína</b>	0%	0%	0%
	F. Rio Negro	0%	0%	0%
<b>Rio Aquidauana</b>	<b>Aquidauana</b>	0%	0%	0%
	P. Ciríaco	0%	0%	0%
<b>Miranda</b>	<b>Miranda</b>	0%	0%	0%
	T. Fogo	0%	0%	0%
	<b>Cáceres</b>	0%	0%	0%
<b>Rio Paraguai</b>	Descalvados	0%	1%	1%
	P. Conceição	0%	7%	1%
	Amolar	7%	16%	11%
	São Francisco	6%	16%	7%
	Porto da Manga	5%	10%	9%
	Porto Murtinho	2%	6%	8%

Fonte: Autora (2019)

Utilizando os valores da Tabela 9 relativos à metodologia tradicional do RVA, e ainda com base na classificação adotada por Richter et al. (1997), foi elaborado o mapa de alteração hidrológica (Figura 34) para os rios do Pantanal, como adotado pela maioria dos trabalhos de literatura (ALRAJOULA et al., 2016; SONG et al., 2016; XU e WANG, 2016). A maior parte dos trechos apresentou baixa alteração, com exceção dos postos a montante da confluência do rio S. Lourenço com o rio Cuiabá: B. Melgaço (1), P. Cercado (2), S. João (3) e I. Camargo (4).

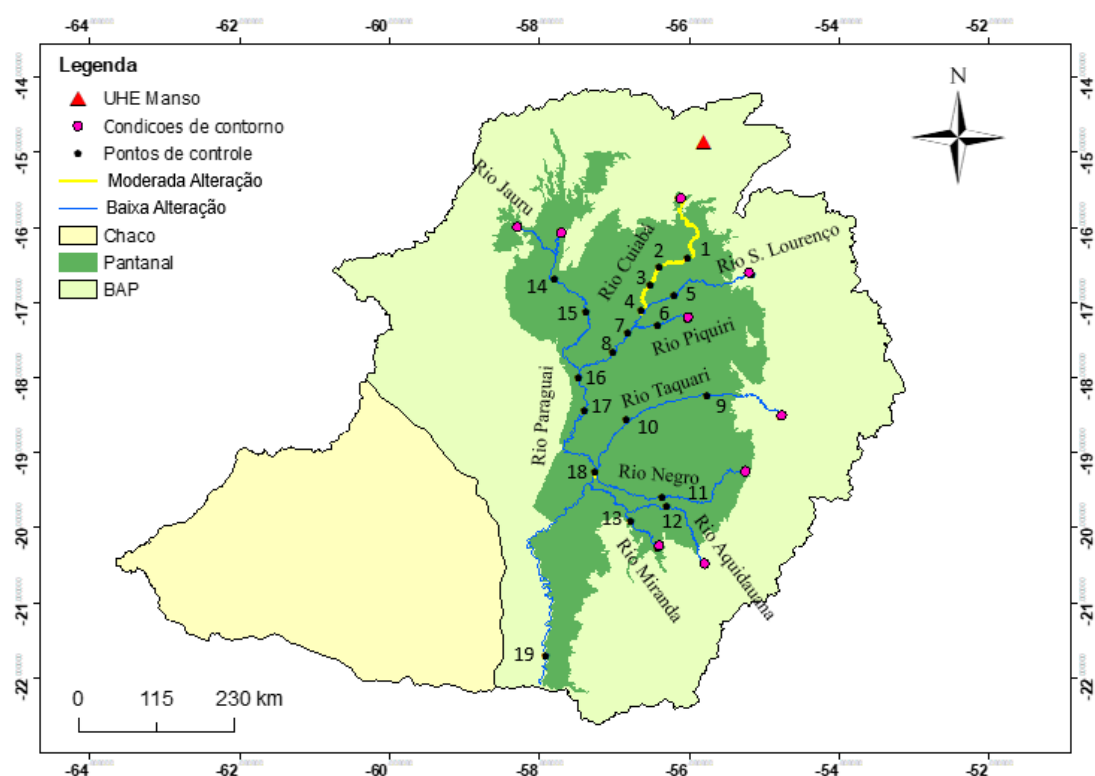


Figura 34. Classificação dos trechos dos rios do Pantanal de acordo com a magnitude da alteração hidrológica (RVA) considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2019)

## **RVA – Análise das três categorias**

A Figura 35 exibe as modificações nas categorias superior, central e inferior em pontos de controle dos rios Cuiabá e Paraguai. Na CC Cuiabá (a), o indicador número de baixos pulsos apresenta um aumento expressivo (1.200%) na frequência de eventos dentro da categoria inferior, o que significa que houve uma redução nas medianas anuais de tal indicador. Segundo o IHA (2009), os baixos pulsos são valores de vazão abaixo do 25º percentil da série pré-impacto. Assim, a redução no número de baixos pulsos pode ser explicada pelo aumento das vazões mínimas observado nos demais indicadores. Os baixos pulsos são mantidos pela contribuição da água subterrânea no rio e possuem forte influência na diversidade e quantidade de organismos aquáticos fluviais, especialmente aqueles adaptados a baixas vazões (CHEN, 2012).

Os indicadores do grupo 2 exibiram um aumento de 200% nas vazões mínimas de diferentes durações e nas vazões medianas dos meses de estiagem (agosto a outubro), indicando que a operação de Manso tende a aumentar as vazões mínimas, devido à regularização causada pela barragem e operação da UHE Manso. Esse comportamento está de acordo com a análise preliminar de alteração relativa, que também apontou um aumento desses indicadores, ao contrário da análise da categoria central (abordagem tradicional e RVA\_LT).

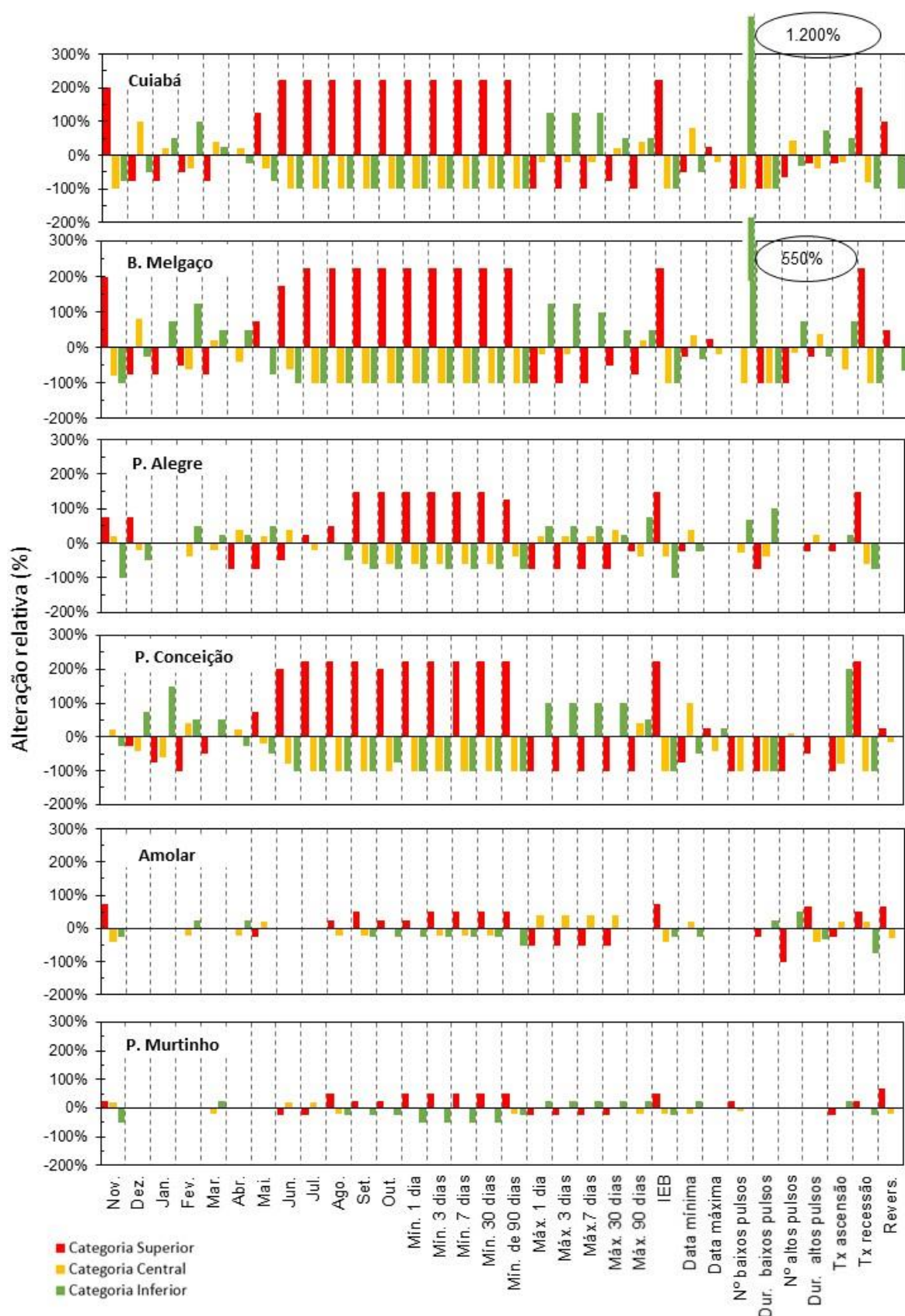


Figura 35. Análise das três categorias do RVA para alguns pontos de análise dos rios Cuiabá e Paraguai considerando a mudança entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Cenário Pós-impacto (com a UHE Manso). Os valores acima de 300% foram cortados do gráfico para melhor visualização dos resultados.  
Fonte: Autora (2019)

Em concordância com as análises do IHA, as vazões mínimas de diferentes durações tendem a subir para valores acima do limite superior (aumento de ocorrência de 200% na categoria superior), ao passo que as vazões máximas apresentam, em geral, leve redução (aumento de ocorrência menor do que 100% na categoria inferior). Resultados semelhantes foram encontrados por Zeilhofer e Moura (2009), que analisaram os impactos relacionados à barragem da hidrelétrica de Manso em diferentes pontos do rio Cuiabá, incluindo Cuiabá e Barão de Melgaço, e observaram que em períodos chuvosos houve uma redução de cerca de 20% na magnitude do escoamento, ao passo que, para períodos de estiagem, houve um aumento de aproximadamente 50%.

Apesar de ter consequências positivas, como proporcionar maior viabilidade para navegação, o aumento das vazões mínimas afeta ecossistemas não adaptados a condições de umidade, criando condições favoráveis para espécies exóticas e reduzindo a ocorrência de espécies locais (GAO et al. 2012; MITTAL et al., 2014; WANG et al. 2018). De acordo com Chen (2012), as vazões mínimas são responsáveis por diversos processos de ecossistemas fluviais, permitindo o desenvolvimento de espécies específicas de plantas. No que se refere à redução das vazões máximas, é esperado que ocorra prejuízo ao pulso de inundação, podendo causar a redução na extensão de áreas inundadas, interrupção na conectividade lateral e longitudinal entre trechos do rio, além de afetar a circulação de nutrientes e matéria orgânica (JUNK, BAYLEY e SPARKS, 1989; MITTAL et al., 2014; ZERLOTTI, SANTANA e CALHEIROS, 2011).

O grupo 4, relacionado à frequência e duração de altos e baixos pulsos, exibiu comportamento variável a depender do ponto de controle, sendo a redução no número de baixos pulsos o efeito mais pronunciado nos postos Cuiabá e B. Melgaço. De maneira geral, o comportamento dos indicadores dos grupos 4 e 5 diferem dos reportados por Fatin-Cruz et al. (2015b). Os autores avaliaram a UHE Ponte da Pedra (210 MW), localizada no rio Correntes, e constataram que os indicadores mais modificados foram número e duração de altos e baixos pulsos, que apresentaram um aumento próximo a 20%, e taxa de ascensão e recessão, com redução de 60% e 41%, respectivamente. No estudo de Fatin-Cruz et al. (2015b), os indicadores dos demais grupos apresentaram mudanças de magnitude inferior, de aproximadamente 8%, em média.

Em P. Conceição (15), no rio Paraguai, as mudanças são ainda mais expressivas do que as observadas no último ponto de controle do rio Cuiabá. Isso pode ser explicado porque, apesar de não receber contribuição direta da vazão regularizada pela UHE de Manso, P. Conceição (15) recebe, por meio do escoamento pela planície, aporte de água oriunda do extravasamento em trechos do rio Cuiabá. Além disso, tal comportamento pode ser resultado do efeito de remanso no rio. Assim, os resultados reforçam a importância das trocas laterais entre os rios e a planície e a inter-relação existente entre diferentes trechos da rede de drenagem do Pantanal.

Em Amolar (16), ponto de controle localizado após confluência dos rios Cuiabá e Paraguai, as alterações são reduzidas, e no ponto mais a jusante do Rio Paraguai, P. Murtinho (19), as modificações são inferiores a 50% para a maioria dos parâmetros. Além disso, os parâmetros dos grupos 1 e 3 não demonstraram modificações visíveis.

A Figura 36 ilustra a computação da alteração hidrológica - RVA - com valores anuais pré e pós-impacto para o indicador número de baixos pulsos no posto Cuiabá (rio Cuiabá). Mostra-se que, na condição de contorno, a UHE Manso modificou expressivamente o número de baixos pulsos, que deixaram de existir após sua operação. Esse resultado se justifica pelo aumento das vazões mínimas, que deixaram de ocorrer abaixo do limite inferior, ou seja, do 25º percentil da série pré-impacto.

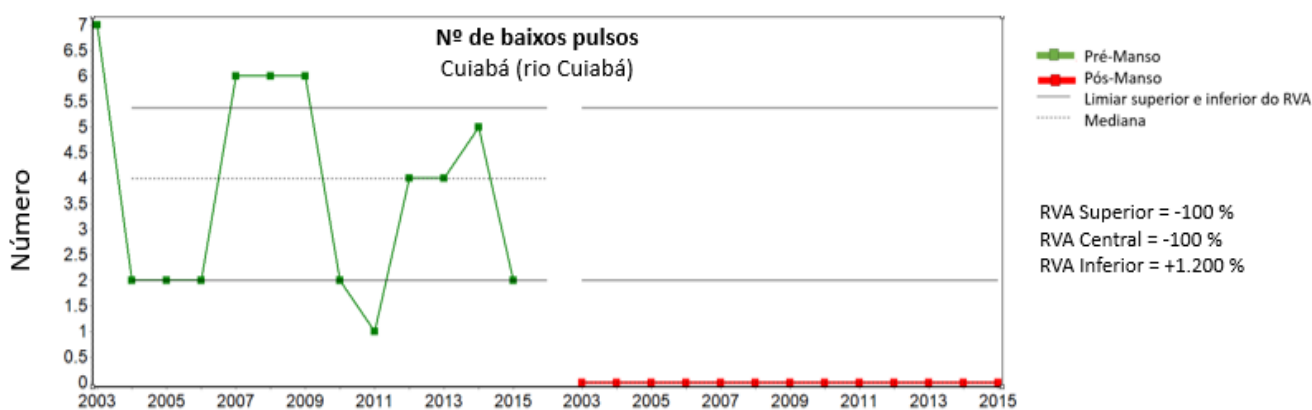


Figura 36 Análise da metodologia RVA para indicador Nº de baixos pulsos, no posto Cuiabá, considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2018)

### 6.1.2 Análise de área inundada e padrão espacial de inundação

Dada sua inter-relação com o regime fluvial e de modo a complementar os resultados obtidos, foi também analisada a alteração no padrão espacial de inundação do Pantanal. A Figura 37 ilustra o padrão de área inundada mínima, média e máxima mensal no Pantanal para as condições pré (sem a UHE Manso) e pós-impacto (com a UHE Manso), bem como sua diferença considerando como lâmina mínima 0,02 metros de profundidade. Os gráficos mostram que a operação de Manso aparenta possuir efeitos menos expressivos em termos de área inundada, do que comparado aos resultados de vazões, uma vez que são pouco perceptíveis as modificações em termo de área inundada mínima, média e máxima no Pantanal (Figura 37a). Por outro lado, em uma maior escala (Figura 37b), é possível visualizar que a hidrelétrica altera principalmente a área inundada máxima, que é reduzida em mais de 100 km<sup>2</sup> nos meses mais secos, com picos de redução nos meses de maio, julho, agosto e outubro. Entretanto esse decréscimo, que pode ser explicado pela redução das vazões de pico, representa cerca de 0,1% da área inundada média do Pantanal. A diminuição da área máxima inundável resulta, conseqüentemente, em uma diminuição da área inundada média, podendo chegar



a menos 160 km<sup>2</sup> no mês de junho, com exceção dos meses de outubro e novembro que exibem um aumento em extensão de cerca de 20 km<sup>2</sup>. Os resultados mostram ainda que a hidrelétrica de Manso não possui efeito na área inundada mínima mensal.

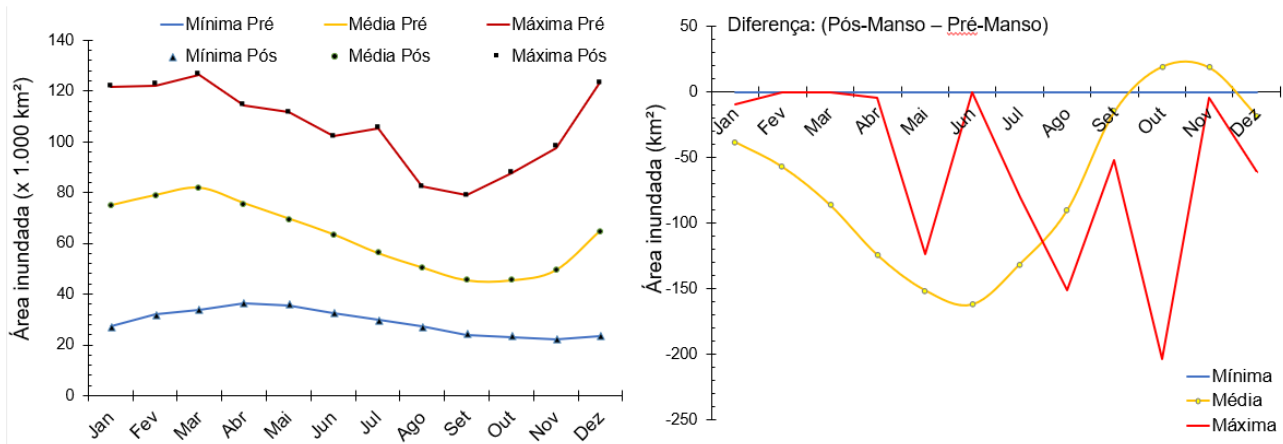


Figura 37. Área inundada mínima, média e máxima no Pantanal para todos os meses do ano considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso) a) Valores de área inundada (x 1.000 km<sup>2</sup>); b) Diferença de área inundada em km<sup>2</sup>  
Fonte: Autora (2019)

Os hidrogramas da Figura 38 mostram as diferenças de área inundada entre os períodos Pós e Pré-Manso para faixas marginais de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai para os anos de 2010, 2011 e 2012. As alterações, que tendem a diminuir de acordo com a largura da faixa, no rio Cuiabá, possuem comportamento semelhante aos observados nas análises de vazão: aumento da área inundada nos meses mais secos e diminuição das áreas inundadas nos períodos de cheia. Por sua vez, na área ao redor do rio Paraguai, as mudanças são de menor magnitude e o comportamento predominante é de redução da área inundada, sendo estas, inferiores a 1 km<sup>2</sup>. Esse resultado já era esperado porque o trecho superior do rio Paraguai não recebe confluência do rio Cuiabá e, conseqüentemente, influência direta de Manso, suavizando os resultados.

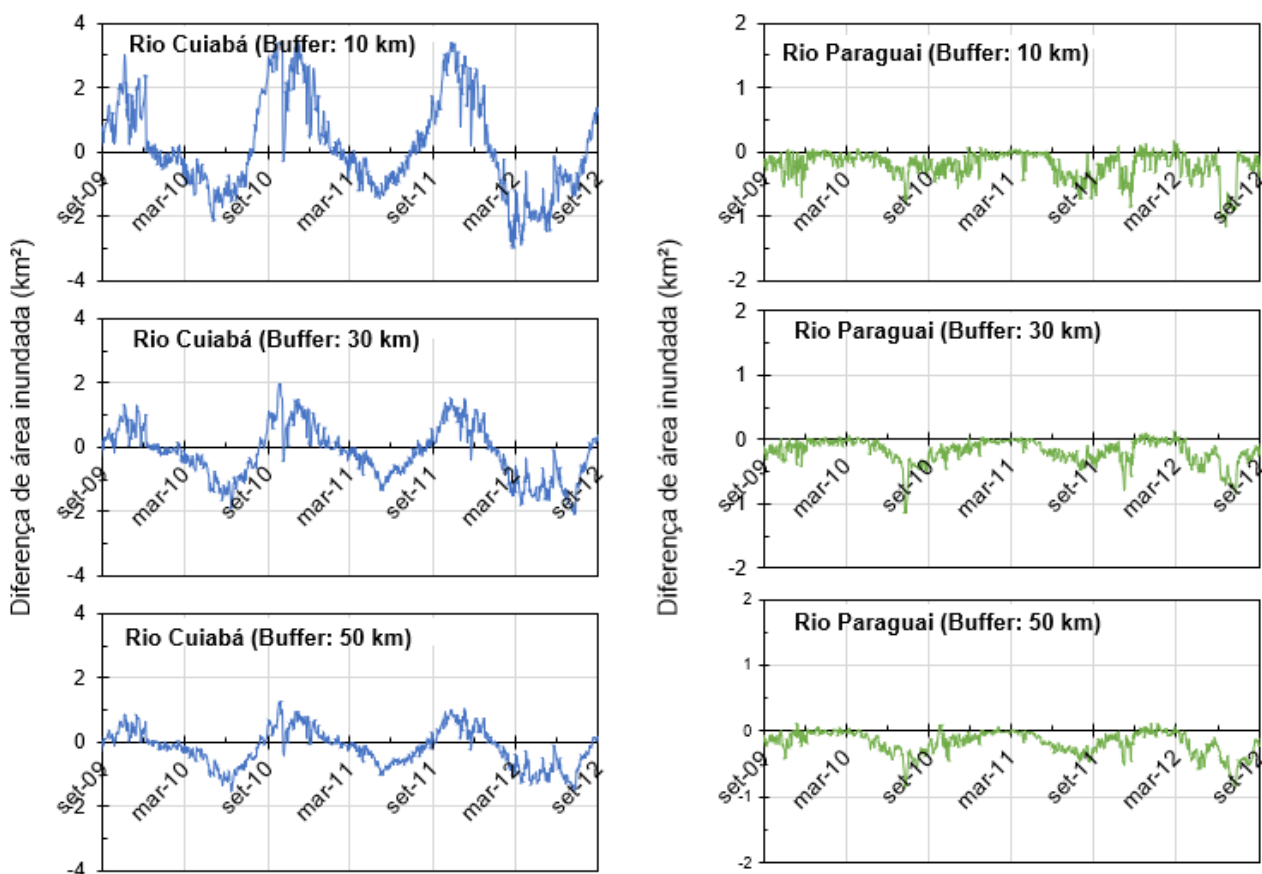


Figura 38. Diferença de área inundada (Pós - Pré) para Buffers de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso)

Fonte: Autora (2019)

A Tabela 10 exibe os valores de alteração relativa e RVA (categoria central) para os 32 IHA. A análise de alteração relativa mostra que, em termos de magnitude, a hidrelétrica de Manso ocasiona poucas modificações para os parâmetros analisados, variando na maioria dos casos entre -4,1 e 4,6% (Tabela 10). No entanto os indicadores relacionados ao número e duração de baixos e altos pulsos exibiram alterações mais relevantes, de até - 29%. No Rio Paraguai, as mudanças são menores que às observadas no rio Cuiabá, embora ainda sejam detectadas modificações em uma faixa de 50 km marginal ao rio. Em termos de frequência de ocorrência, a análise do RVA (categoria central) mostra resultados de até -80% (para o indicador índice de fluxo de base a uma faixa de 10 km do rio Cuiabá) e a inexistência de um padrão de condições gerais.

Tabela 10. Valores em porcentagem de alteração relativa e RVA (categoria central) em faixas marginais de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso)

		Rio Cuiabá						Rio Paraguai					
		10 km		30 km		50 km		10 km		30 km		50 km	
		IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA
<b>Grupo 1</b>													
	Nov.	2	-20	1	0	1	-20	-1	0	0	20	0	0
	Dez.	0	-20	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0
	Jan.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fev.	-1	0	0	0	0	-20	0	0	0	-20	0	0
	Mar.	-1	-20	0	0	0	0	0	-20	0	-20	0	0
	Abr.	-1	-40	-1	0	0	40	0	0	0	0	0	0
	Mai.	-1	-20	-1	0	-1	0	0	0	0	20	0	0
	Jun.	0	20	-1	0	-1	-20	0	20	0	20	0	0
	Jul.	-1	-20	-1	0	-1	-20	0	-20	0	0	0	0
	Ago.	1	0	0	-20	0	-20	0	20	0	-20	0	0
	Set.	2	0	1	-20	0	-20	0	-20	0	20	0	20
	Out.	3	-20	1	-60	0	-20	0	0	0	0	0	20
<b>Grupo 2</b>													
	Mín. 1 dia	3	-20	2	40	1	20	0	-20	0	-20	0	0
	Mín. 3 dias	3	-20	2	20	1	20	-2	-20	0	0	0	0
	Mín. 7 dias	3	40	2	40	1	0	-2	0	0	-20	0	0
	Mín. 30 dias	4	0	1	40	1	20	0	0	0	20	0	20
	Mín. de 90 dias	2	0	1	0	1	20	0	0	0	0	0	0
	Máx. 1 dia	0	0	0	-20	0	0	0	0	0	0	0	0
	Máx. 3 dias	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Máx. 7 dias	0	0	0	-20	0	0	0	0	0	0	0	0
	Máx. 30 dias	-1	0	0	0	0	0	0	-20	0	0	0	0
	Máx. 90 dias	-1	-40	0	-20	0	0	0	0	0	-20	0	0
	IEB	3	-80	1	0	0	0	0	0	0	-20	-1	0
<b>Grupo 3</b>													
	Data mínima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-20
	Data máxima	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Grupo 4</b>													
	Nº baixos pulsos	20	0	0	-13	0	-22	-14	0	-14	17	0	0
	Dur. baixos pulsos	-29	-60	-14	40	0	-20	0	-17	0	-20	0	-14
	Nº altos pulsos	0	33	0	14	9	-17	-8	0	9	-17	0	0
	Dur. altos pulsos	-20	13	0	-20	-17	-60	0	-14	0	-13	0	0
<b>Grupo 5</b>													
	Tx ascensão	0	0	5	0	4	-40	0	0	1	0	0	20
	Tx recessão	0	-40	3	-20	-1	0	-1	0	2	0	-1	-20
	Revers.	-2	17	-4	0	1	0	-3	-40	-2	0	0	20

Fonte: Autora (2019)

As Figuras Figura 39 e Figura 40 ilustram graficamente os resultados da análise das três categorias do RVA nos rios Cuiabá e Paraguai, respectivamente. Os gráficos mostram que há considerável redução da alteração hidrológica com o aumento do buffer considerado em análise, de modo que a 50 km do rio Cuiabá, a maioria das alterações é da ordem de 20%. Um grande contraste

é observado no indicador número de baixos pulsos, que exibiu um aumento na frequência de ocorrência de 200% na categoria superior.

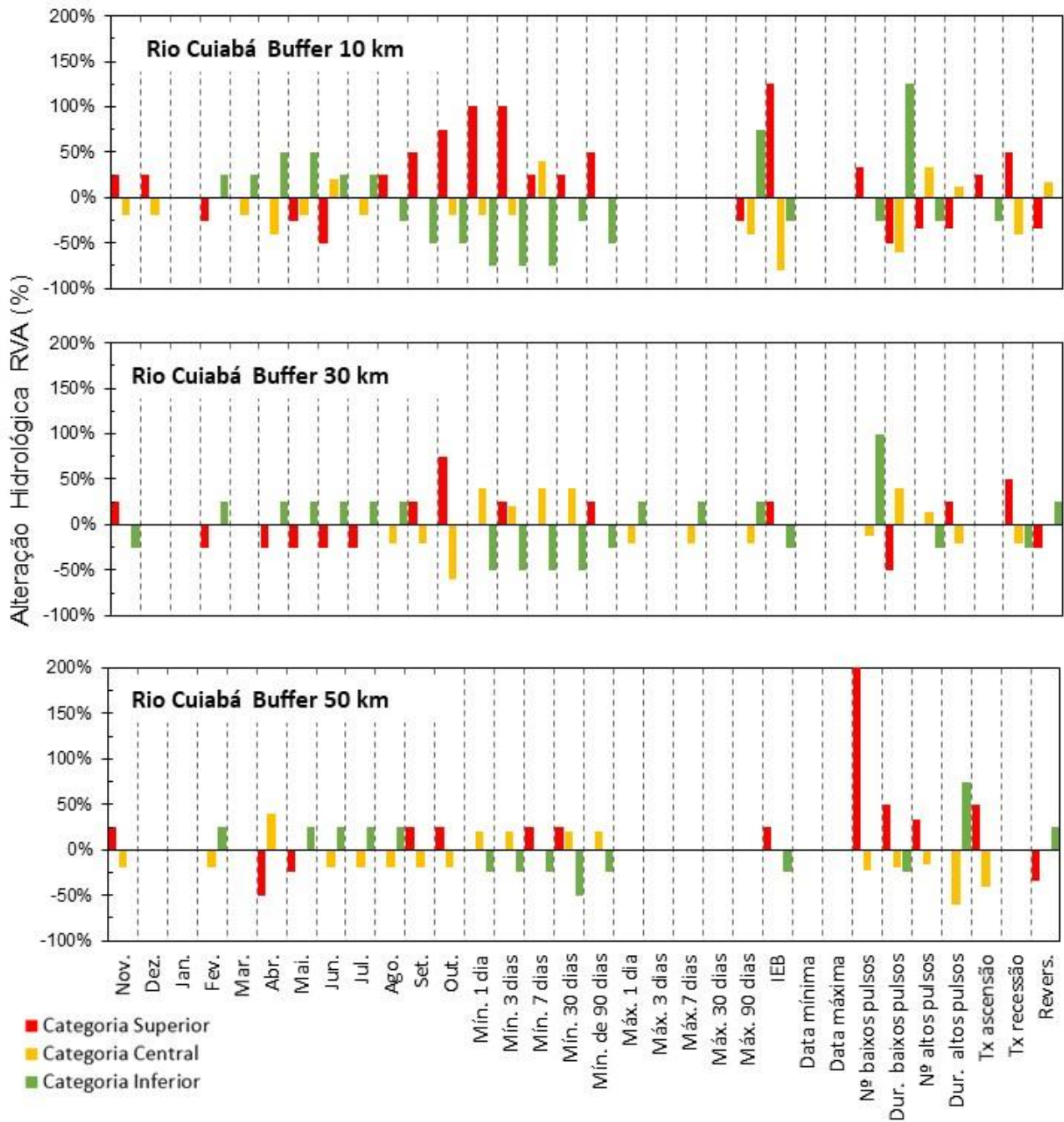


Figura 39. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Cuiabá em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso)  
Fonte: Autora (2019)

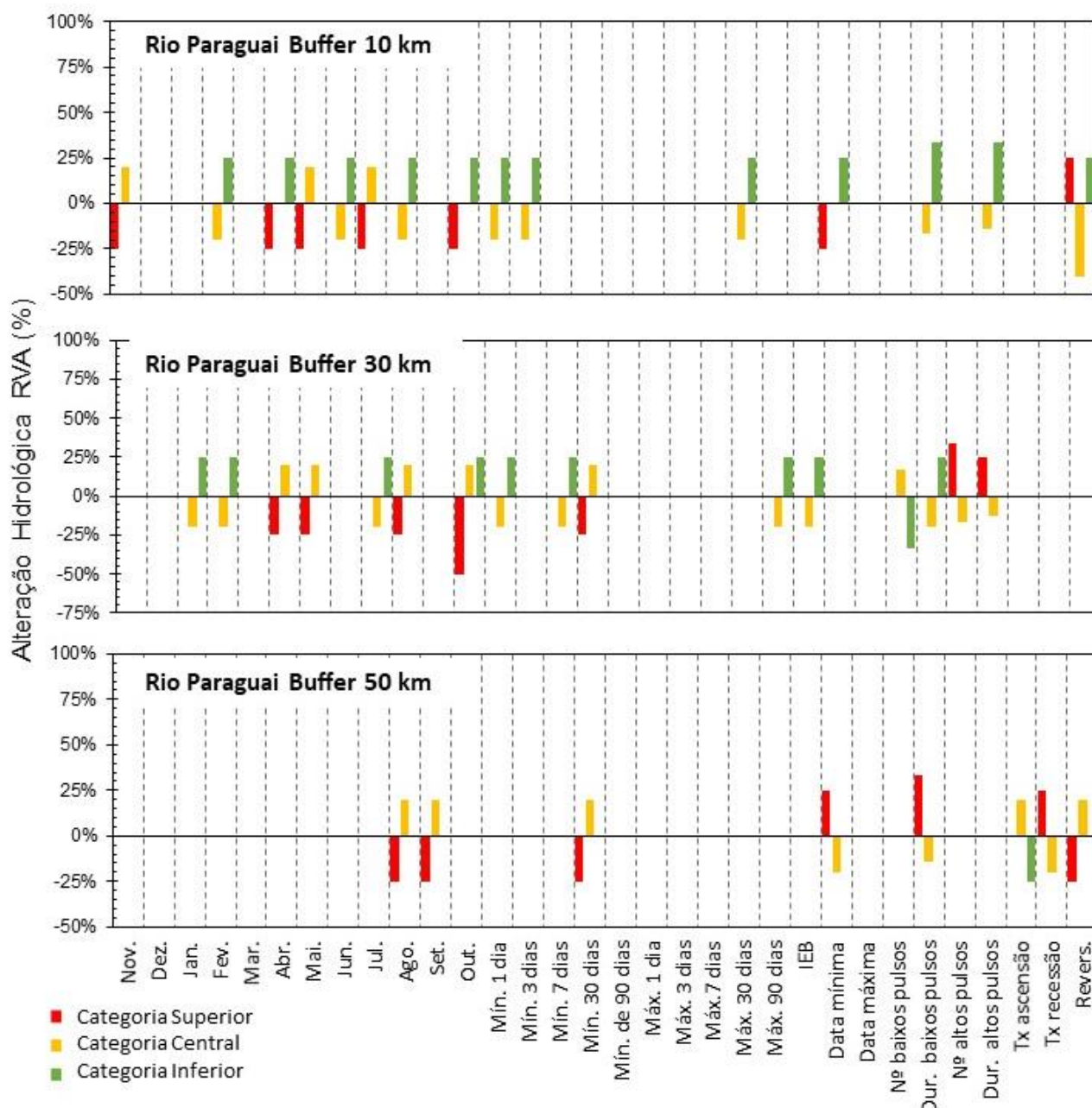


Figura 40. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Cuiabá em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso)  
 Fonte: Autora (2019)

A Figura 41 exibe o comportamento do indicador número de baixos pulsos antes e após a operação da UHE Manso. No período pré-impacto são observados muitos valores anuais em cima dos limiares superior e inferior do RVA. De acordo com o manual do IHA (TNC, 2009), os valores iguais aos limites do RVA são contabilizados na categoria central. Partindo dessa consideração, na série pré-impacto, foi contabilizado apenas um pulso na categoria superior, o que resultou uma alteração de 200%. Por se tratarem de números inteiros, casos semelhantes são mais propícios a ocorrerem no número de altos e baixos pulsos, o que pode explicar o fato de os resultados do RVA\_LT terem sido pouco satisfatórios para estes indicadores.

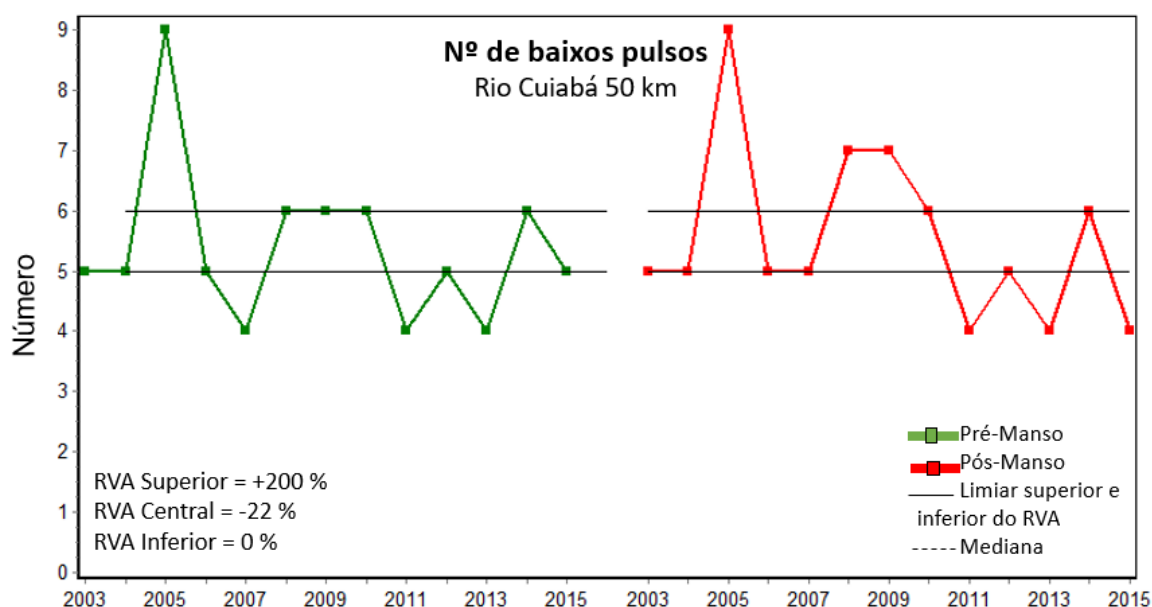


Figura 41. Análise da metodologia RVA para indicador N° de baixos pulsos para um buffer de 50 km do rio Cuiabá considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2018)

Uma análise global, dada pela média, em módulo, dos 32 indicadores, mostra que as modificações tendem a diminuir no sentido montante para jusante, de modo que a 50 km do rio Paraguai, as modificações são próximas a 0% (Tabela 11).

Tabela 11. Média dos 32 IHA (em módulo) para alteração relativa e RVA de área inundada no Pantanal considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Rio	Buffer	Alteração Relativa (%)	RVA (%)
Rio Cuiabá	10 km	3,28	16,95
	30 km	1,34	12,71
	50 km	1,32	13,09
Rio Paraguai	10 km	1,08	7,84
	30 km	1,01	9,56
	50 km	0,18	4,82

Fonte: Autora (2019)

A análise em termos de buffers permite apenas uma identificação mais genérica das alterações em termos de área inundada. Na realidade, as mudanças ocorrem a nível de pixel, de modo que nem toda a extensão do buffer ao longo dos rios sofre a mesma influência da UHE. Dessa forma, para uma melhor visualização dos resultados e identificação de áreas inundadas mais afetadas, também foram realizadas análises de padrão espaço-temporal de inundação.



A Figura 42 exibe o aumento ou diminuição da frequência de inundação ocasionados pela barragem de Manso. Como esperado, as alterações mais visíveis ocorrem no entorno dos rios Cuiabá e Paraguai, embora acabem afetando em algum nível outras regiões, como o entorno do rio Piquiri, em função da dinâmica de águas na planície. Na maioria dos trechos modificados é observada uma redução na frequência de inundação, de até 14%. Isso indica que, em função da redução das vazões máximas, o transbordamento para a planície foi prejudicado, diminuindo a frequência de inundação em diversos trechos. Por outro lado, nos trechos a montante da confluência com o rio Paraguai observa-se que Manso aumentou a frequência de inundação em cerca de 6% entre S. João (3) e I. Camargo (4) e, em menor magnitude, nas proximidades de B. Melgaço. Além disso, a frequência de inundação parece aumentar em alguns pontos entre o rio Cuiabá e Paraguai, mais precisamente entre os postos I. Camargo (4) e P. Conceição (15), o que corrobora os resultados obtidos pela análise do regime de vazões. PAZ (2010) estimou, por meio de simulações matemáticas, que ocorre constante transbordamento após o posto I. Camargo (4), podendo alcançar trechos do rio Paraguai. Assim como os resultados observados para o escoamento, os mapas indicam que a água se movimenta pela planície, inundando grandes áreas.

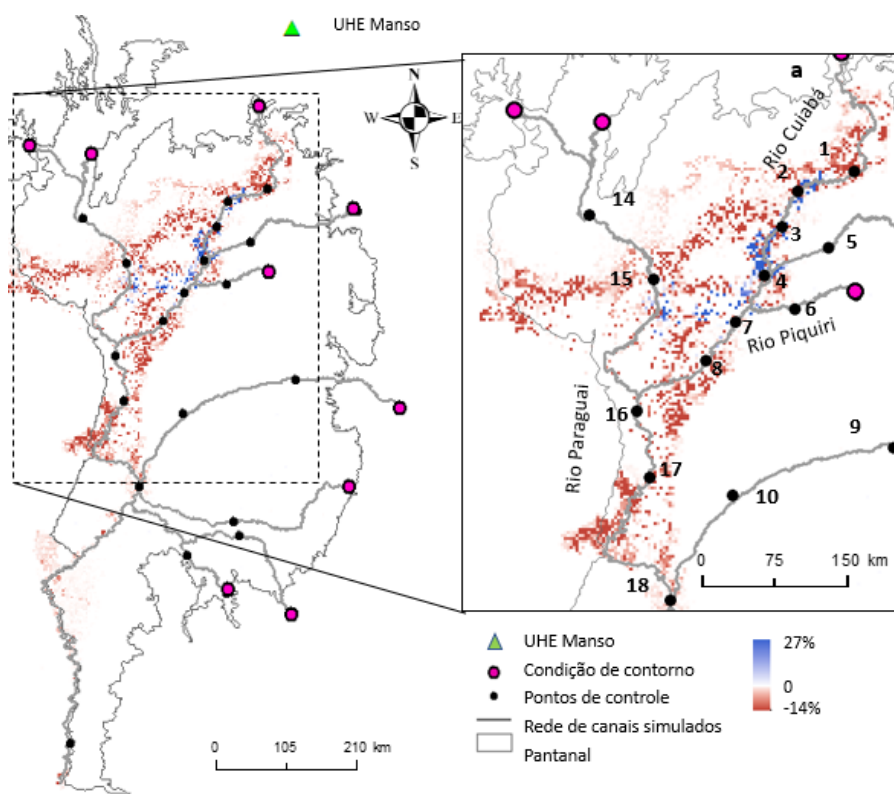


Figura 42. Diferença da frequência de inundação para lâmina de 20 cm considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2019)

A Figura 43 exibe, em metros, o aumento ou diminuição da lâmina d'água média ao longo dos anos analisados (2004 a 2015) e, assim como o mapa de frequência, os aumentos são mais expressivos ao longo do rio Cuiabá e entre os postos I. Camargo e P. Conceição.

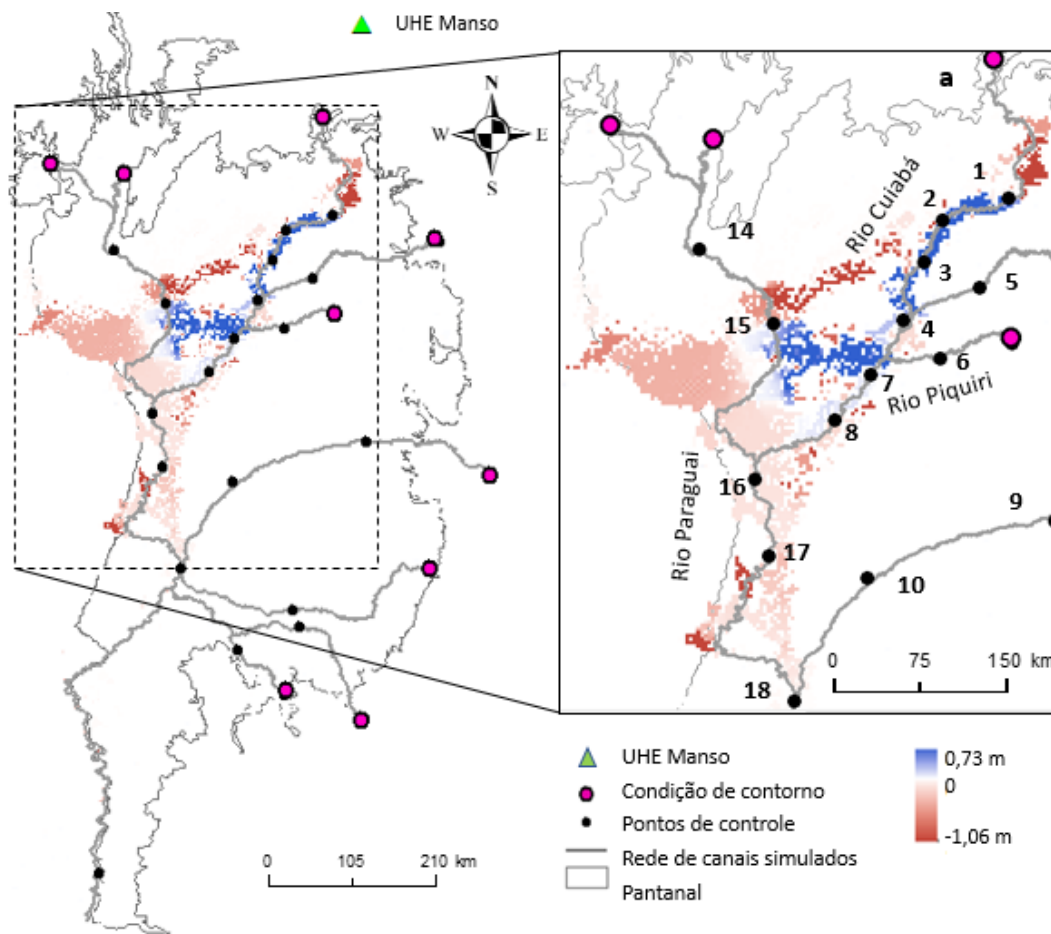


Figura 43. Diferença do nível médio de água simulada ao longo da série histórica de 2004 a 2015 considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2019)

A estrutura dos ecossistemas e a distribuição de espécies estão ligadas a aspectos como frequência, duração e intensidade de inundações (DAMASCENO-JUNIOR et al., 2005). Assim, nas margens do rio Cuiabá (entre B. Melgaço e P. Taimã), o aumento da área inundada causado pela UHE Manso pode promover o aumento do movimento lateral e vertical de peixes e aves aquáticas, além de uma maior produção de biomassa e diversidade de macrófitas aquáticas. Por outro lado, a área inundada às margens do trecho superior do rio Paraguai - a montante de Amolar - pode sofrer um aumento na concentração de elementos como nitrogênio e fósforo e diminuição da produtividade de macrófitas aquáticas, como reportado por SILVA e GIRARD (2004). O comportamento geral de diminuição da frequência de inundação e área inundada também foi reportado por Talukdar e Pal (2017), que avaliaram o efeito da barragem de Komardanga, em Bangladesh, baseados em análise de imagens orbitais Landsat.



## **6.2 Análise II – Impacto de todas as Barragens**

Essa análise foi realizada com o objetivo de avaliar o impacto causado pela operação dos diversos aproveitamentos hidrelétricos (já existentes e planejados) localizados em diferentes pontos do planalto da BAP sobre o regime de vazões e área inundada no Pantanal. Para isso, a condição pré-impacto foi estabelecida considerando apenas a operação da hidrelétrica de Manso, enquanto a condição pós-impacto considerou, além dessa hidrelétrica, todos os demais empreendimentos, de diferentes portes (CGE, PCH ou UHE) e em diferentes fases (planejadas, em construção ou em operação).

### **6.2.1 Análise de vazões**

Assim como na análise I, a avaliação das modificações no regime fluvial foi realizada em duas dimensões: visualizando as características gerais do escoamento (comparação de hidrogramas, vazões médias mensais e curva de permanência) e pela quantificação da alteração hidrológica utilizando as metodologias IHA e RVA (1. RVA tradicional, considerando apenas a categoria central; 2. RVA\_LT, também considerando a categoria central; e 3. RVA considerando as mudanças nas três categorias).

#### **Características gerais do escoamento**

Em função do planejamento e existência de hidrelétricas a montante de todas as condições de contorno, em um primeiro momento, foram comparados seus hidrogramas obtidos pela simulação com o SIRIPLAN. A Figura 44 mostra que as mudanças provocadas pelas hidrelétricas nas condições de contorno são pouco perceptíveis, mesmo após uma análise em maior escala, tomando como exemplo o ano hidrológico 2001-2002. Os pontos Cuiabá (a), Coxim (f) e P. Bocaína (g) exibiram, em alguns dias, modificações mais visíveis, especialmente nas vazões de pico. Ressalta-se que a montante de Coxim, condição de contorno com maiores mudanças no hidrograma, existe uma concentração de dezenas de empreendimentos do tipo PCH, além da UHE Sucuri, que possui uma potência instalada de 38 MW.

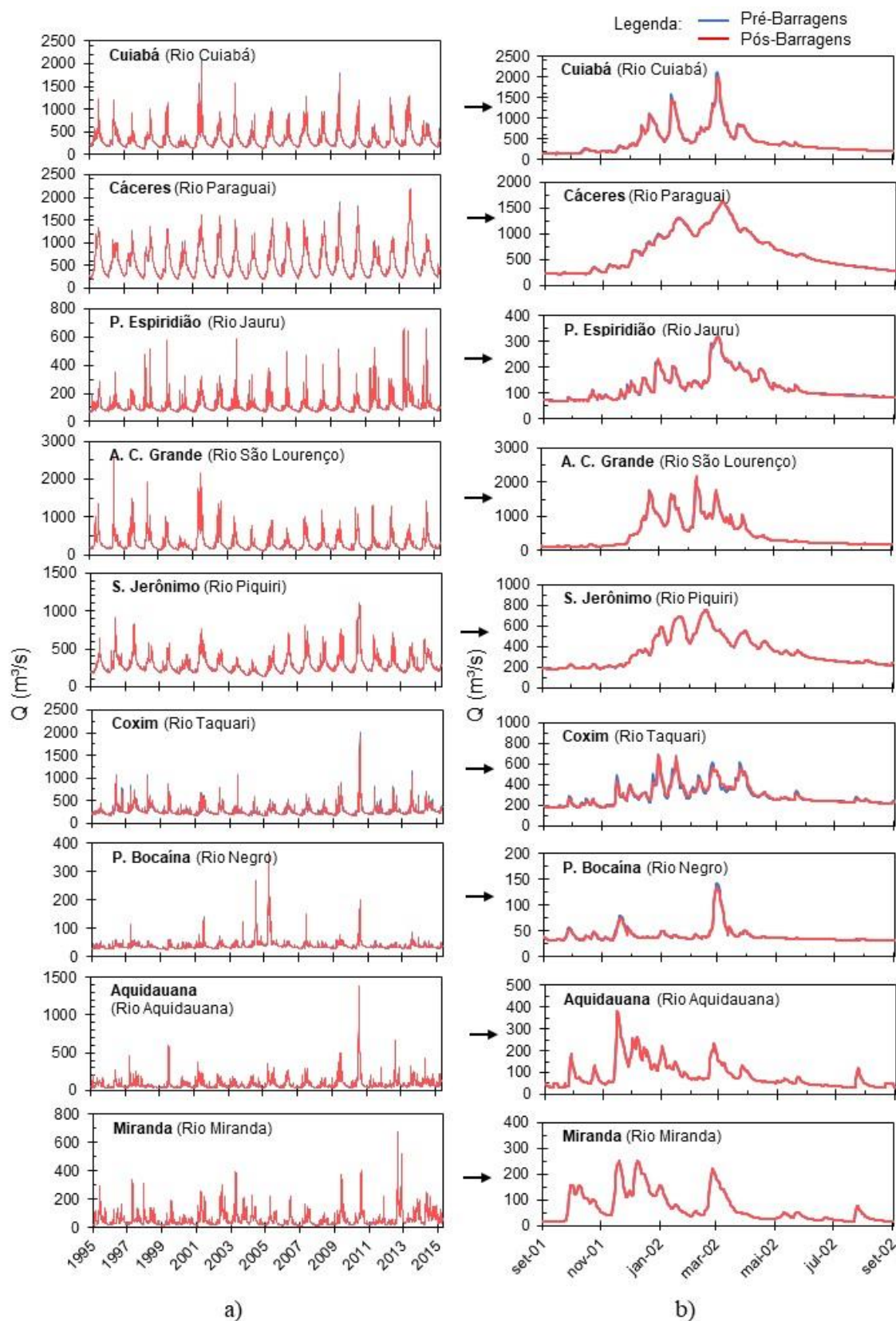


Figura 44. Hidrogramas simulados pelo SIRIPLAN das condições de contorno dos rios simulados na comparação dos cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos): a) Em uma análise geral, para todos os anos simulados (20 anos) e b) Em detalhes, considerando um ano hidrológico (2001-2002).

Fonte: Autora (2019)

A diferença percentual entre os valores pré e pós impacto para cada condição de contorno está indicada na Tabela 12. Os dados mostram que, em termos de vazão média, as condições de contorno Aquidauana (h) e Miranda (i) não sofreram mudança, o que se justifica pela não existência de aproveitamentos hidrelétricos a montante desses pontos. As demais condições de contorno apresentaram mudanças sutis em termos de vazão média, sendo todas em caráter negativo e magnitude inferior a 1%. No entanto é importante ressaltar que a vazão média pode ocultar variações dentro da série de dados.

Tabela 12. Vazão média para o período simulado (1995 - 2015) para cada condição de contorno e sua respectiva diferença relativa (%) na comparação dos cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).

Condição de contorno	Rio	Q média (m <sup>3</sup> /s)		Dif. Rel. (%)
		Pré-impacto	Pós-impacto	
Cuiabá	Cuiabá	341,26	340,34	-0,27
Cáceres	Paraguai	560,92	559,05	-0,33
P. Espiridião	Jauru	115,58	115,05	-0,46
A. C. Grande	S. Lourenço	297,31	297,16	-0,05
S. Jerônimo	Piquiri	296,43	295,88	-0,18
Coxim	Taquari	277,24	276,09	-0,41
P. Bocaína	Negro	40,90	40,74	-0,39
Aquidauana	Aquidauana	85,75	85,75	0,00
Miranda	Miranda	58,14	58,14	0,00

Fonte: Autora (2019)

De forma semelhante às condições de contorno, foram visualizadas poucas variações nos hidrogramas nos pontos de controle ao longo do rio Paraguai e seus tributários, confirmando que, de fato, a operação dos empreendimentos considerados tem pouco efeito em termos de magnitude da vazão e instante de tempo (Figura 45). Em uma análise mais detalhada, percebem-se leves reduções nas vazões de pico em determinados dias. Em S. Gonçalo (9), no rio Taquari, são observadas mudanças mais visíveis: reduções nas vazões de pico de até 30 m<sup>3</sup>/s (cerca de 9%) e aumento das vazões no período de estiagem em torno de 20 m<sup>3</sup>/s (aproximadamente 8%). Isso mostra que o efeito das hidrelétricas ainda continua no rio Taquari, mesmo após 200 km. Nos pontos mais a jusante da bacia, ocorrem alterações de menor magnitude e que só podem ser visualizadas a nível diário, como no ponto P. Murtinho (19).

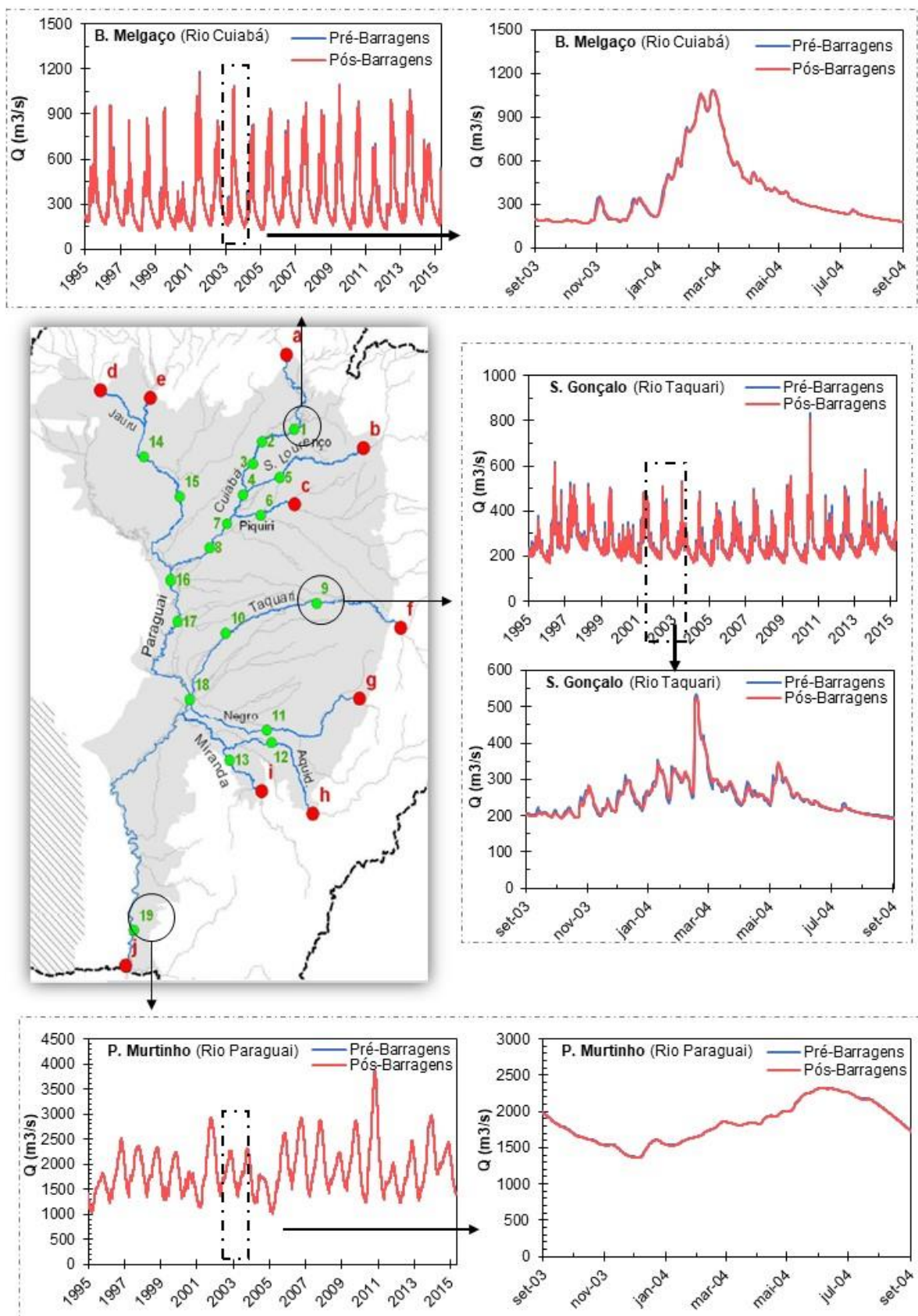


Figura 45. Hidrogramas simulados pelo SIRIPLAN para alguns pontos de controle para os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) em duas escalas: considerando todo período simulado (1995 – 2015) e o ano hidrológico 2003-04.

Fonte: Autora (2019)

A Figura 46 exemplifica hidrogramas de vazão mensal para alguns pontos de controle. Embora a análise visual dos hidrogramas indique a ausência de alterações, os dados de vazão mensal apresentados no APÊNDICE E mostram que, para a maioria dos pontos de análise, existem mudanças sutis, com comportamento predominante de redução, especialmente nos meses que antecedem o período de cheia. Os postos do rio Paraguai apresentaram as maiores alterações, com reduções de até 6,5 m<sup>3</sup>/s, representando 1,77% (mês de novembro, em Cáceres), seguidos dos postos do rio Taquari, com reduções de até 4,4 m<sup>3</sup>/s, cerca de 2,14% (mês de setembro, em Coxim).



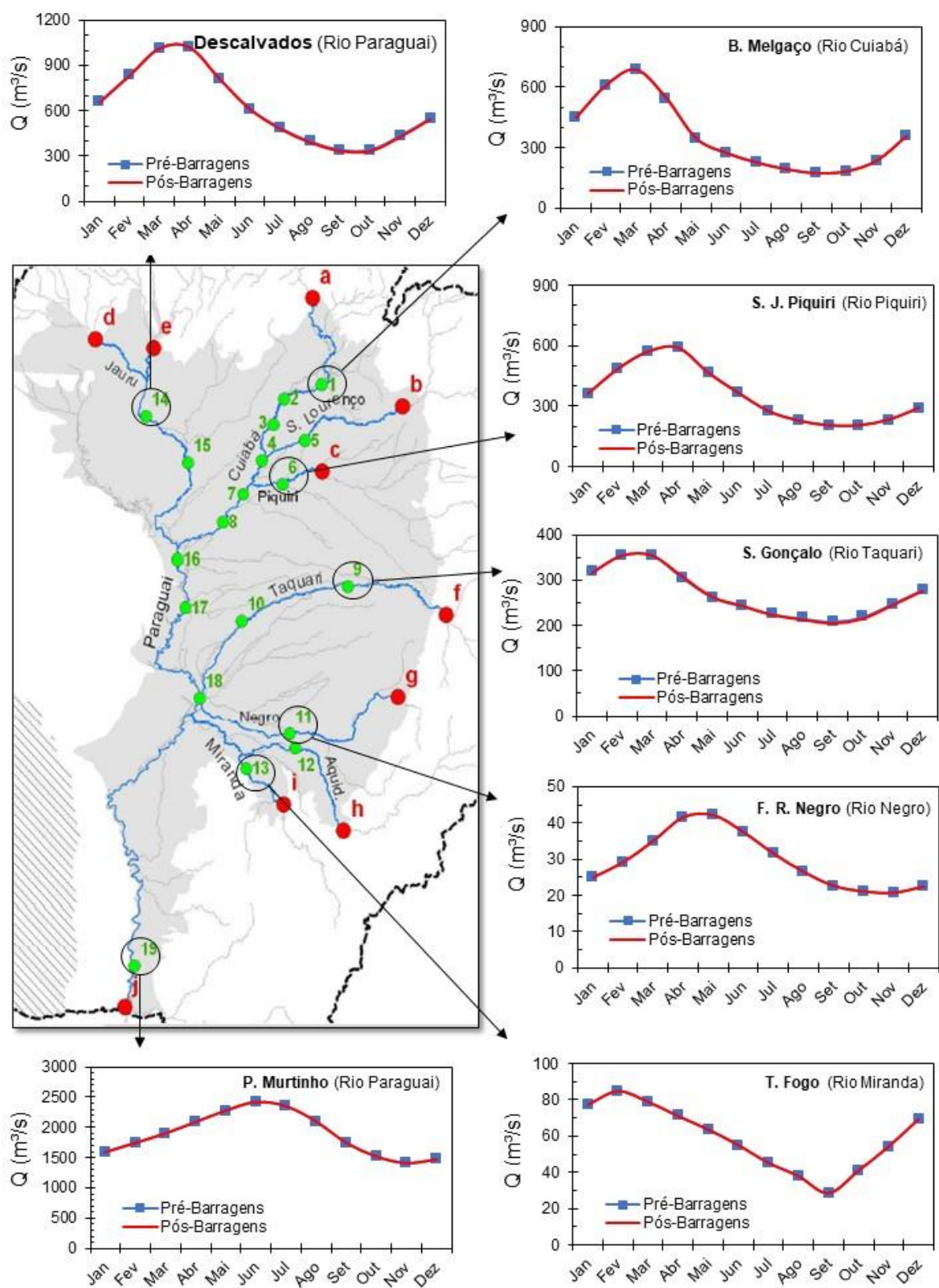


Figura 46. Vazões médias mensais para alguns pontos de controle para os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).

Fonte: Autora (2019)

Em razão dos resultados observados no APÊNDICE E, a análise de mudança na curva de permanência foi realizada para as condições de contorno Coxim e Cáceres e para seus primeiros pontos de controle (Figura 47). No rio Taquari, a condição de contorno Coxim e o ponto S. Gonçalo não apresentaram modificações aparentes. Em Cáceres, as vazões passaram a ter, em 95% do tempo, valores inferiores aos observados sob condições naturais (redução de cerca de 12%). A 126 km de Cáceres, no primeiro ponto de controle do rio Paraguai, Descalvados (14), ainda é observado comportamento semelhante, embora menos visível.

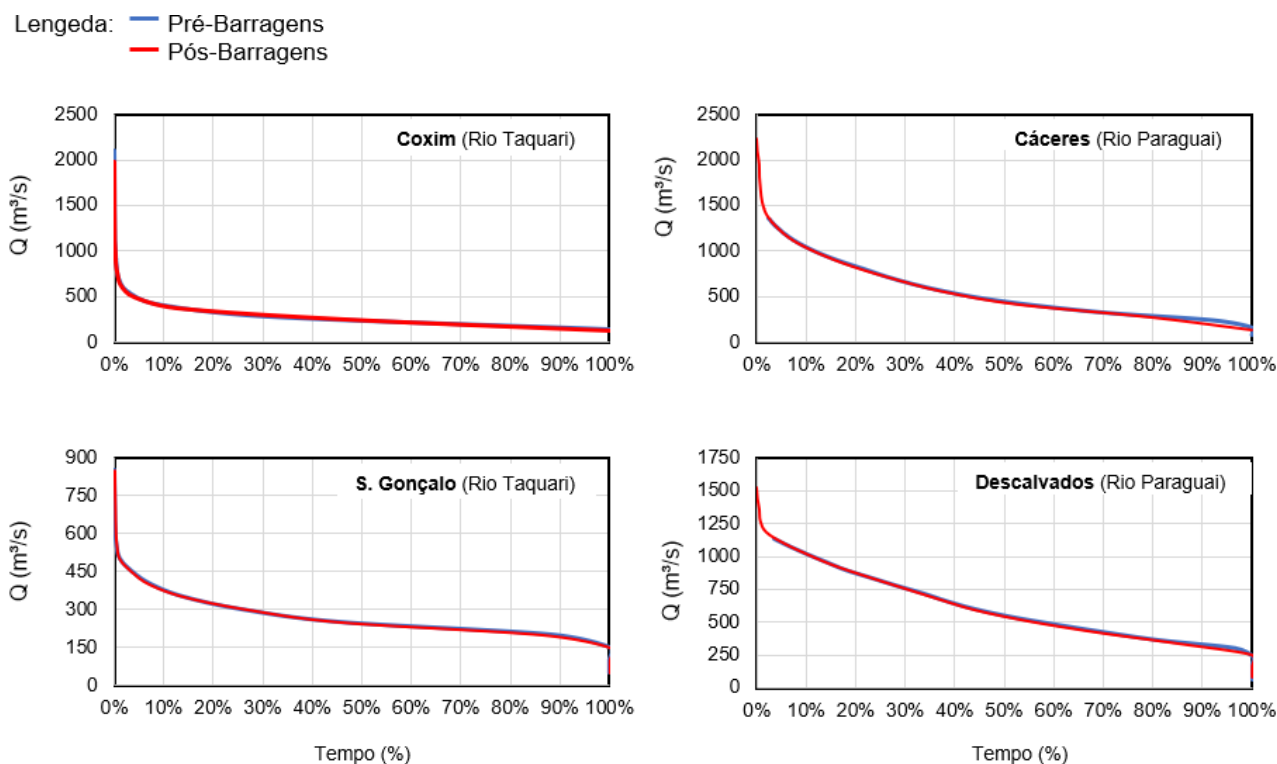


Figura 47. Curva de Permanencia de alguns pontos de análise para os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).

Fonte: Autora (2019)

### Quantificação da alteração hidrológica: IHA, RVA e RVA\_LT

Após a caracterização geral dos dados de vazão gerados pelo SIRIPLAN para os períodos pré e pós-impacto (apenas Manso e com todos os empreendimentos hidrelétricos, respectivamente), foram aplicadas metodologias de quantificação da alteração hidrológica. Dessa forma, para cada ponto de análise dos rios simulados, os valores de IHA, RVA (categoria central) e RVA\_LT (categoria central) foram computados (APÊNDICE F).

#### IHA

As alterações relativas são exibidas em pontos de análise ao longo dos rios Cuiabá (Figura 48), Paraguai (Figura 49) e também para alguns pontos localizados em outros rios (Figura 50). Os gráficos mostram que há uma variação no comportamento de cada indicador, embora os efeitos, assim

como na Análise I, tendam a diminuir no sentido montante-jusante. Em todos os rios, a alteração relativa média para a maioria dos indicadores é inferior a 2%, com exceção dos indicadores do grupo 4 e 5, que apresentaram valores de até 225%, como em B. Melgaço (1).

Embora sutis, são visualizadas em quase todos os rios reduções nas vazões mínimas de diferentes durações, efeito já reportado na literatura para PCHs (KIBLER e TULLOS, 2013; SABINO et al, 2017; MANTEL, HUGHES e MULLER, 2010). Apesar de possuir semelhante comportamento de redução das vazões mínimas, a magnitude das alterações diverge das observadas por Sabino et al. (2017), que avaliaram, por meio da alteração relativa dos IHA, o efeito da PCH S. Lourenço sobre o rio S. Lourenço. Os autores constataram, a partir de uma série histórica de 50 anos em um posto a jusante da PCH, reduções nas vazões mínimas de diferentes durações (em torno de 30%) e aumento da máxima de 1 e 3 dias (34 e 16%, respectivamente). Os autores destacam que, por se tratarem de dados observados, a magnitude das alterações pode ter influência de fatores externos como o regime de precipitações e uso do solo, por exemplo, o que pode ter elevado a magnitude dos valores.

De acordo com Fantin-Cruz et al. (2015b), o efeito de redução das vazões mínimas pode estar relacionado à baixa capacidade de regularização de reservatórios de menor dimensão, como os das CGHs e PCHs. Mantel, Hughes e Muller (2010) reportaram o efeito cumulativo de diversas barragens de pequeno porte na quantidade e a qualidade da água em rios da África do Sul. Os autores associaram ao aumento da densidade de pequenas barragens, a redução das vazões mínimas, do escoamento subterrâneo e da ocorrência de macroinvertebrados na região estudada.



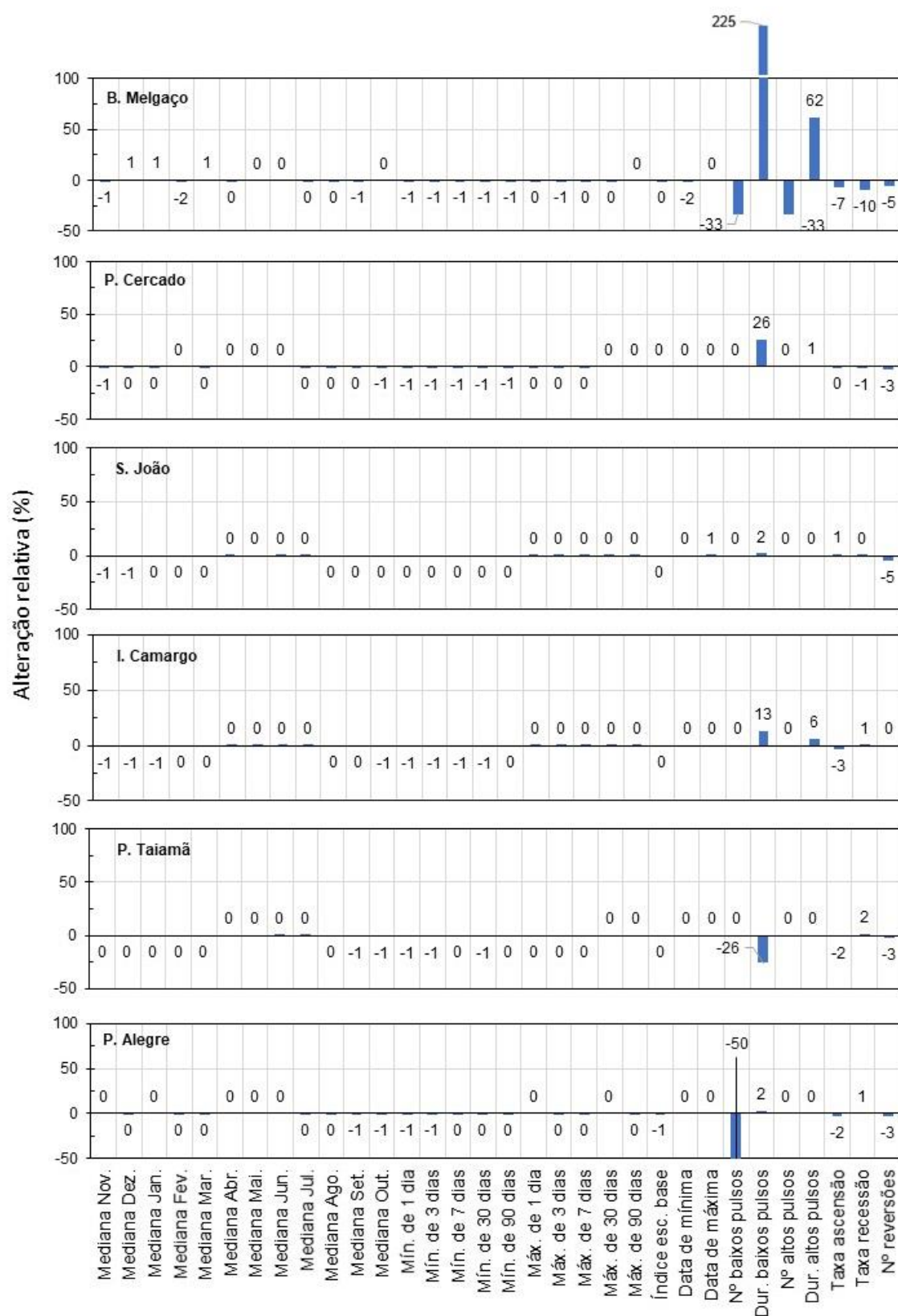


Figura 48. Alteração Relativa (%) para os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) para pontos de controle do rio Cuiabá. Para melhor visualização dos resultados, os gráficos com valores acima de 100% foram cortados.  
Fonte: Autora (2019)

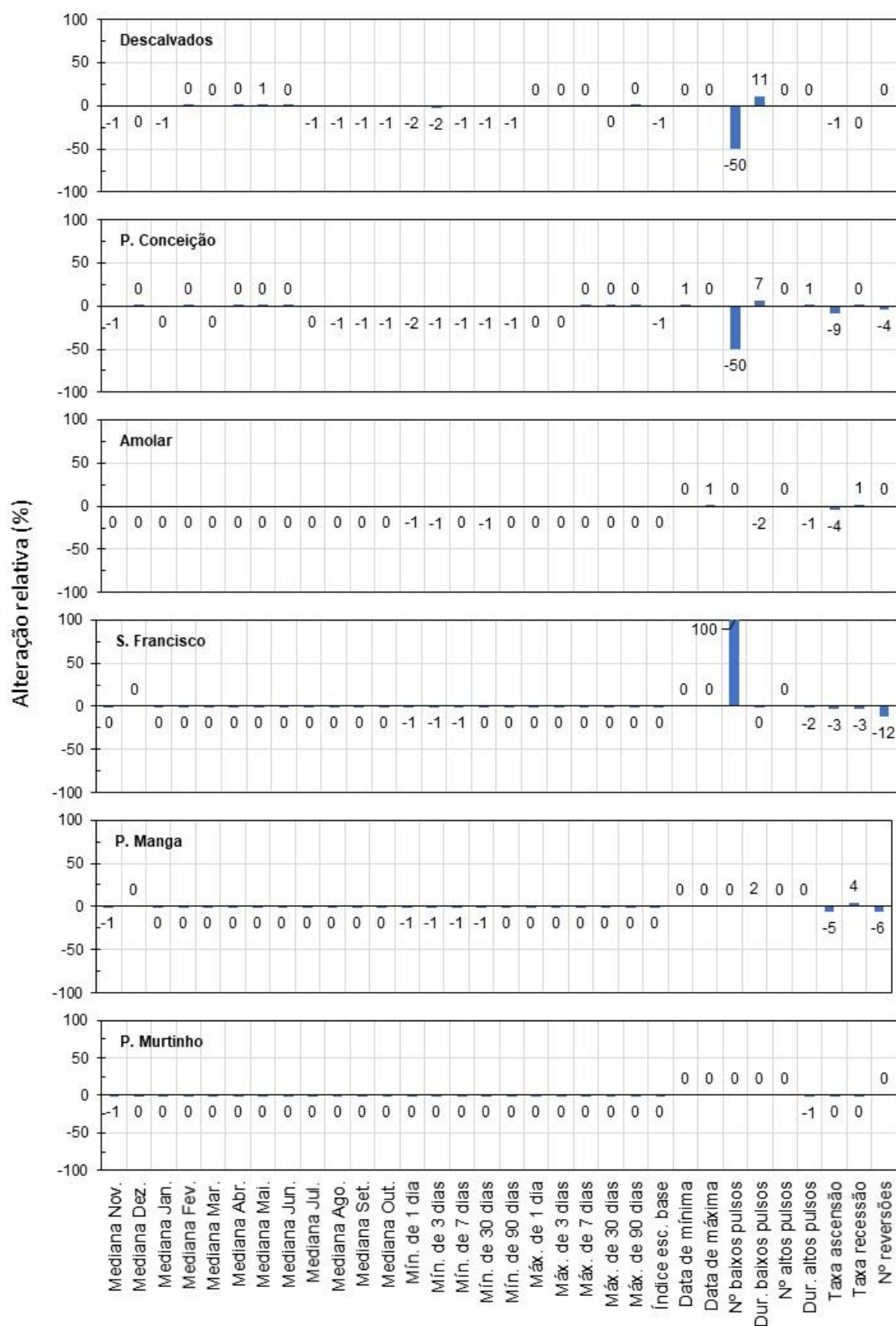


Figura 49. Alteração Relativa (%) entre os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) para pontos de controle do rio Paraguai.  
Fonte: Autora (2019)

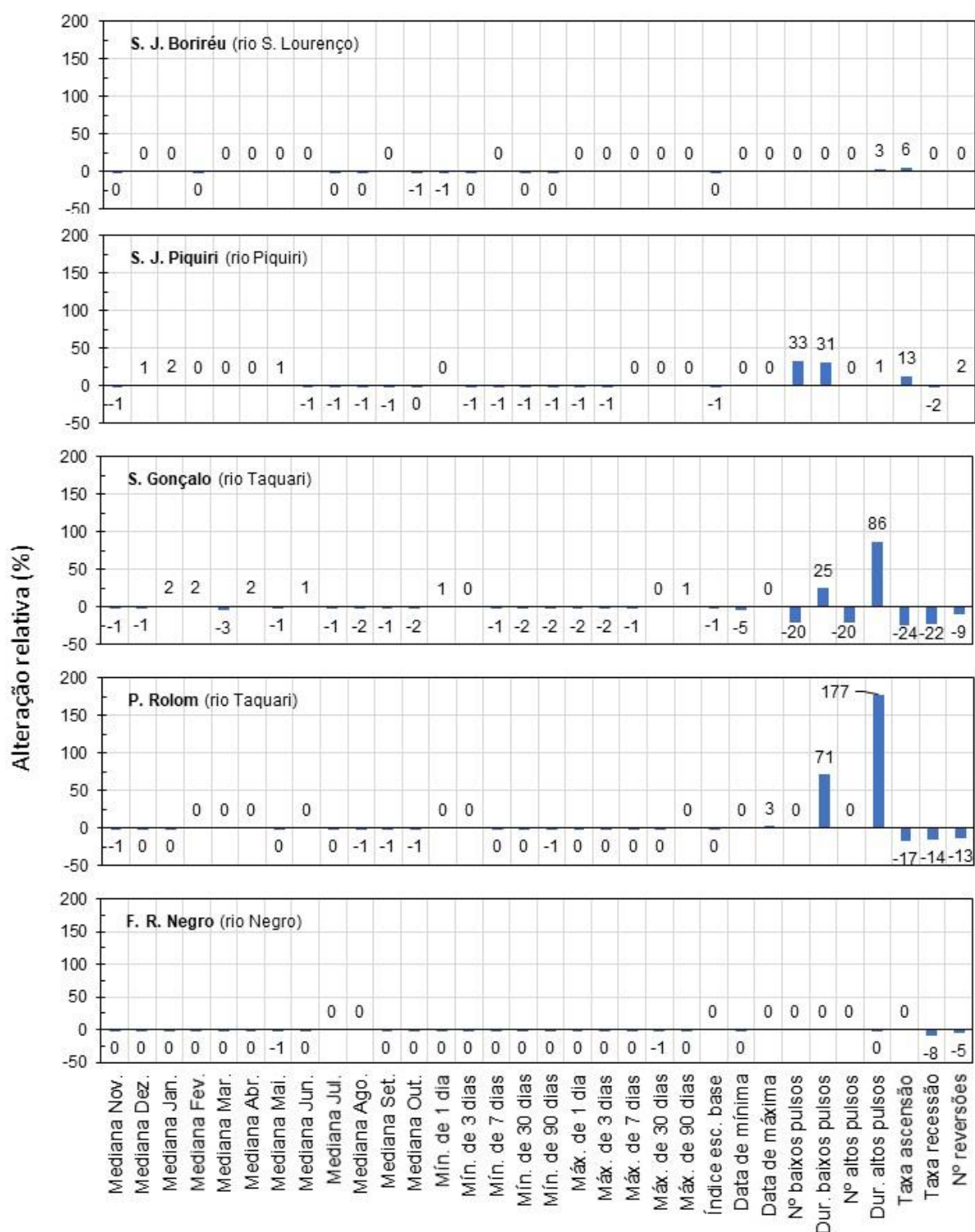


Figura 50. Alteração Relativa (%) entre os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) para diferentes pontos de controle nos rios S. Lourenço, Piquiri, Taquari e Negro.  
 Autora (2019)

No primeiro ponto de controle do rio Cuiabá, B. Melgaço (1), os indicadores duração de altos e baixos pulsos sofreram as maiores mudanças, apresentando um aumento de 62% e 225%, respectivamente. A duração de altos e baixos pulsos representa o tempo médio de ocorrência de

vazões abaixo do 25º ou acima do 75º percentil da série pré-impacto, respectivamente. Isso significa que no ponto mais próximo da condição de contorno Cuiabá as vazões mais baixas e mais altas passaram a ocorrer por um período de tempo superior ao observado na condição pré-impacto, ou seja, quando existia apenas a UHE Manso. Nos postos a jusante de B. Melgaço (1), a magnitude da alteração desses indicadores tende a diminuir, embora na maioria dos postos do rio Cuiabá a duração de baixos pulsos tenha sido o indicador mais alterado. Em I. Camargo (4), ponto após a confluência com o rio S. Lourenço, onde estão localizadas diversas hidrelétricas, ocorreu um aumento na duração de baixos pulsos, enquanto em P. Taiamã (7), após a contribuição do rio Piquiri, o indicador passa a diminuir novamente. Isso pode ser explicado pelo baixo número de hidrelétricas a montante da CC S. Jerônimo (c), e, por consequência, de alteração no rio Piquiri, que acaba amortecendo as alterações existentes no rio Cuiabá.

No rio Paraguai, o número de baixos pulsos foi o indicador com maiores mudanças: nos primeiros pontos de controle foram exibidas reduções de cerca de 50% desse indicador, que, após a confluência com o rio Cuiabá apresentou menores alterações. A cerca de 87 km a jusante da confluência com o rio Cuiabá, em S. Francisco (17), ocorre um aumento de 100% do mesmo indicador, possivelmente pela contribuição da planície oriunda das vazões laterais dos rios Taquari e Cuiabá. Os indicadores do grupo 5 variaram de comportamento, com tendência geral de redução.

Assim como nos rios Cuiabá e Paraguai, no rio Piquiri, as alterações são, de maneira geral, muito baixas ou inexistentes, embora o número e a duração de baixos pulsos tenham aumentado em aproximadamente 33%. Por sua vez, no rio Taquari, o indicador mais alterado foi a duração de altos pulsos. No ponto de controle mais a jusante do rio Taquari, o impacto neste indicador aumentou (de 86% em S. Gonçalo para 177% em P. Rolom). Os altos pulsos ocorrem durante fortes chuvas, quando o nível da água sobe, mas não extravasa para a planície, amenizando a temperatura e elevando o nível de oxigênio dissolvido, facilitando inclusive o acesso de organismos a diferentes trechos dos rios (MATHEWS e RICHTER, 2007). Vale salientar que na região entre S. Gonçalo (9) e P. Rolom (10) há uma intensa perda de água para a planície, de modo que o aumento na duração de altos pulsos em P. Rolom não era esperado. Ainda no rio Taquari, os indicadores do grupo 5 exibiram reduções variando entre -24% e -9%.

#### **RVA e RVA\_LT (categoria central)**

Os resultados da análise do RVA (APÊNDICE F) mostram que, além da grande diferença de magnitude em relação à análise da alteração relativa, o comportamento geral de aumento ou redução dos indicadores difere em alguns pontos. Isso acontece porque enquanto a alteração relativa é contabilizada pela diferença entre a mediana das medianas anuais dos valores pós e pré-impacto, no RVA, a quantificação é calculada pela diferença entre o número de valores medianos anuais dentro

da categoria central nos períodos pré e pós-impacto. Assim, uma simples análise de alteração relativa pode não ser suficiente para descrever satisfatoriamente o comportamento dos pontos, ocultando algumas mudanças a nível anual.

O comportamento geral dos pontos analisados mostra que as vazões medianas mensais e as vazões mínima e máxima de diferentes durações exibiram uma redução na frequência de ocorrência na maioria dos meses (entre -43% e -14%). De modo análogo à análise I, pouco efeito foi observado no grupo 3, ou seja, nos dias de mínima e máxima anual. Com relação aos indicadores dos grupos 4 e 5, o comportamento variou de acordo com o ponto analisado, mas apresentou predominância de reduções, que alcançaram até -86%, como o indicador taxa de ascensão no posto S. Gonçalo (9), no rio Taquari. No que se refere ao RVA\_LT, assim como na Análise I, a consideração dos limites de tolerância tende a diminuir as alterações, reduzindo a magnitude das mesmas em até 30%, embora tenha pouco ou nenhum efeito sobre os indicadores do grupo 4.

A Figura 51 exibe a quantidade de indicadores classificados como de alteração baixa ( $RVA < |33\%|$ ), moderada ( $|34\%| < RVA < |67\%|$ ) e alta ( $RVA > |67\%|$ ) para os postos dos rios analisados. Nesse caso, o comportamento predominante foi de baixa alteração para a grande maioria dos indicadores, embora nos rios Cuiabá e Taquari tenham ocorrido alterações moderadas e altas em alguns indicadores.

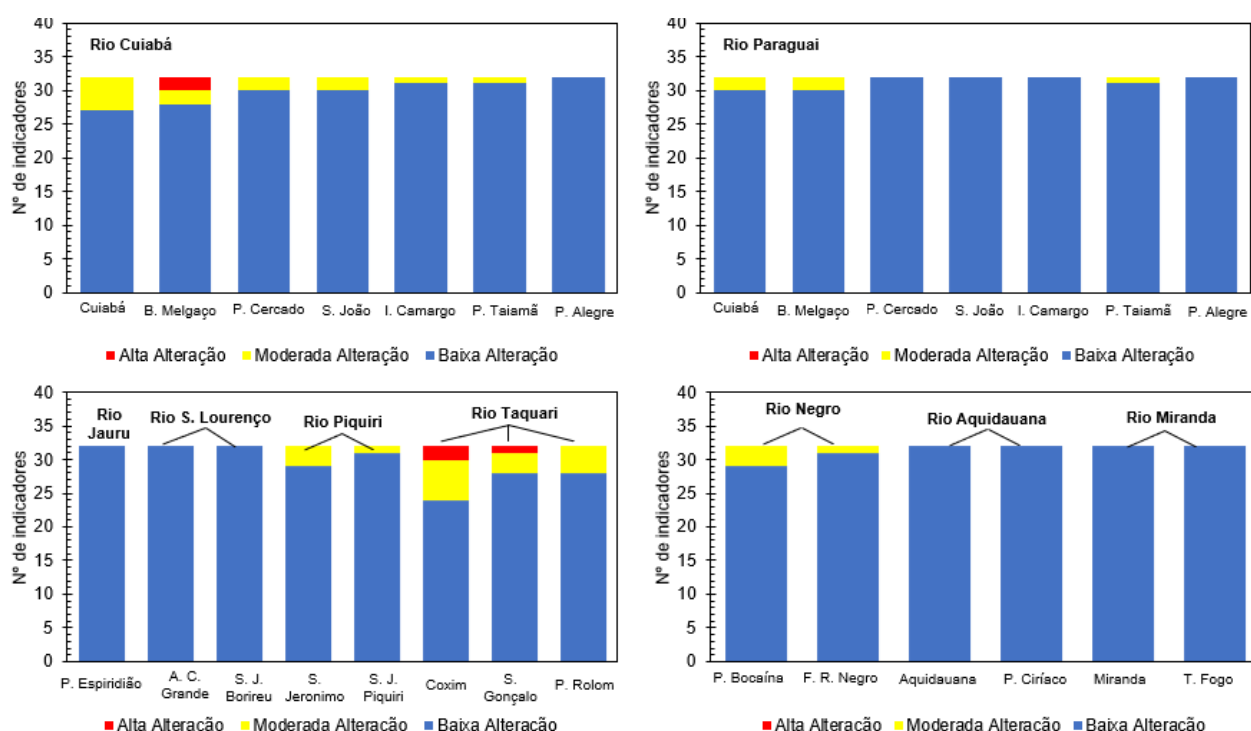


Figura 51. Número de indicadores classificados como de Baixa, Moderada ou Alta Alteração nos rios analisados na comparação entre os cenários Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).

Fonte: Autora (2019)

A Tabela 13 resume os valores gerais de taxas de alteração relativa, RVA e RVA\_LT calculados pela média absoluta dos 32 IHA para cada condição de contorno e ponto de controle. Observa-se que o impacto das hidrelétricas é, em geral, baixo ( $RVA < |33\%$ ) e que as maiores modificações ocorreram nos pontos mais próximos aos empreendimentos hidrelétricos considerados. A partir da tabela infere-se que os rios mais atingidos pela operação das hidrelétricas são os rios Cuiabá, Paraguai, Piquiri, Negro e Taquari, especialmente nos trechos mais a montante. É importante destacar que Cáceres, CC do rio Paraguai, apresentou baixa alteração relativa, mas sofreu uma das maiores diferenças em termos de vazão média mensal. Isso indica que, provavelmente, a mediana utilizada no cálculo da alteração relativa, ocultou mudanças mais expressivas na série de dados.

Tabela 13. Alteração relativa, RVA e RVA\_LT geral (%) por posto fluviométrico – Cenário Pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e Cenário Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos)

Rio	Posto fluviométrico	Alteração Relativa (%)	RVA (%)	RVA_LT (%)
Rio Cuiabá	<b>Cuiabá</b>	5%	18%	10%
	Barão de Melgaço	12%	19%	8%
	Porto Cercado	1%	12%	1%
	São João	1%	9%	4%
	Ilha Camargo	1%	9%	3%
	P. Taiamã	1%	13%	3%
Rio Jauru	P. Alegre	2%	12%	4%
	<b>Porto Espiridião</b>	0%	12%	0%
Rio São Lourenço	<b>A. C. Grande</b>	0%	10%	2%
	SJ Borireu	0%	6%	1%
Rio Piquiri	<b>São Jeronimo</b>	2%	15%	5%
	SJ Piquiri	3%	14%	6%
Rio Taquari	<b>Coxim</b>	8%	26%	20%
	São Gonçalo	8%	22%	15%
	P. Rolom	9%	17%	12%
Rio Negro	<b>P. Bocaína</b>	7%	19%	9%
	F. Rio Negro	1%	7%	1%
Rio Aquidauana	<b>Aquidauana</b>	0%	0%	0%
	P. Ciriaco	0%	0%	0%
	<b>Miranda</b>	0%	0%	0%
Miranda	T. Fogo	0%	0%	0%
	<b>Cáceres</b>	2%	15%	7%
Rio Paraguai	Descalvados	3%	14%	6%
	P. Conceição	3%	13%	5%
	Amolar	0%	12%	0%
	São Francisco	4%	13%	1%
	Porto da Manga	1%	11%	1%
	Porto Murtinho	0%	13%	0%

Fonte: Autora (2019)

Os valores de RVA da Tabela 12 foram utilizados para compor o mapa de alteração hidrológica para os rios do Pantanal considerando a operação conjunta de todos os empreendimentos

hidrelétricos (Figura 52). Nesse caso, todos os trechos analisados apresentaram baixa alteração ( $RVA < |33\%$ ).

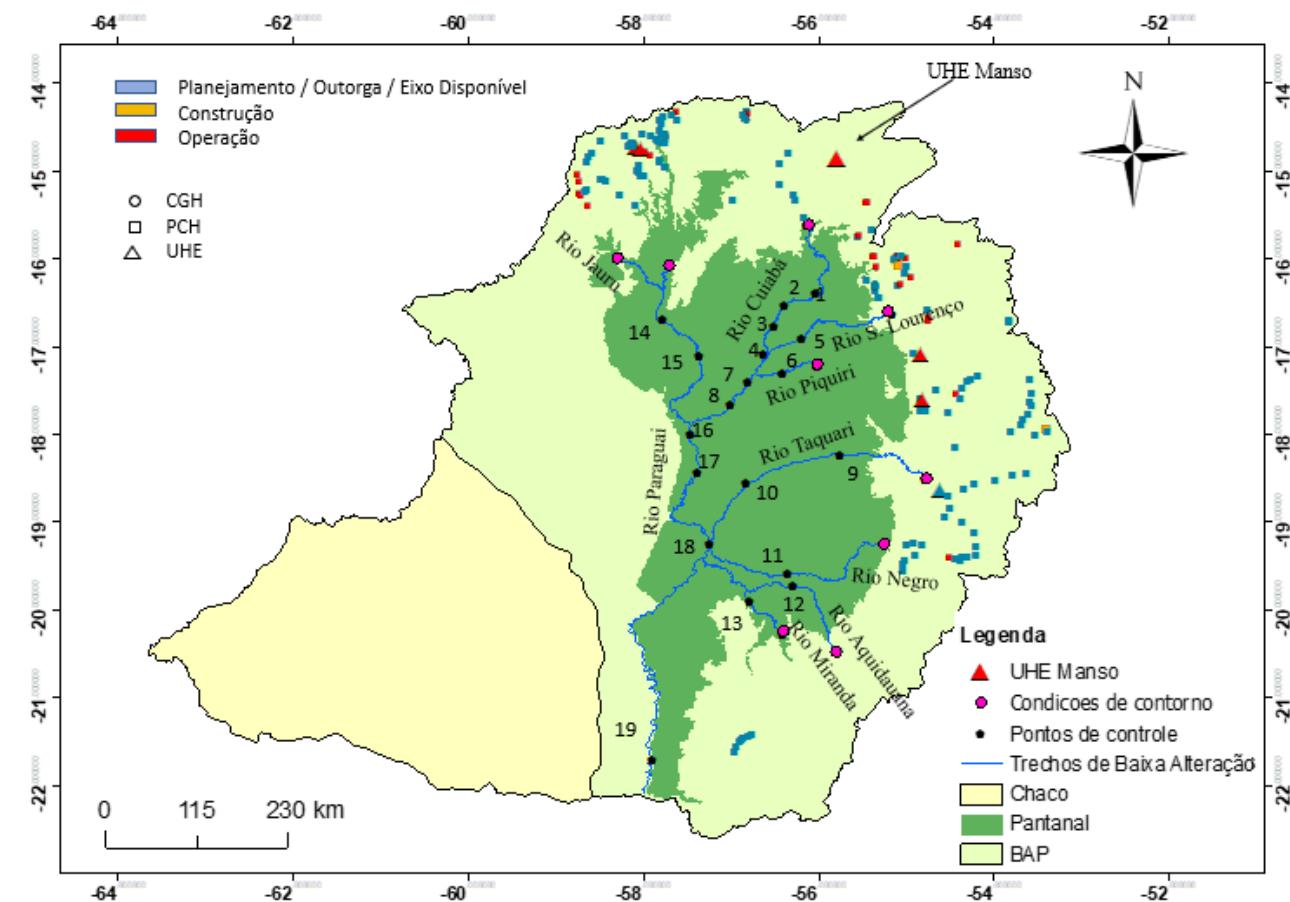


Figura 52. Classificação dos trechos dos rios do Pantanal de acordo com a magnitude da alteração hidrológica (RVA) considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos)

Fonte: Autora (2019)

### RVA – Análise das três categorias

Assim como na Análise I, optou-se por avaliar as mudanças nas três categorias do RVA. As Figuras Figura 53, Figura 54 e Figura 55 exibem as modificações nas categorias superior, central e inferior em pontos de controle que apresentaram, de acordo com a análise tradicional, maiores modificações nos rios Cuiabá, Paraguai e em pontos de outros rios (S. Lourenço, Piquiri, Taquari e Negro), respectivamente. Na maioria dos pontos observados ocorreu uma intensificação das condições de estiagem, assim como mostram os resultados de alteração relativa e abordagem tradicional do RVA (categoria central). As vazões medianas dos meses mais secos (julho – agosto) tendem a diminuir cerca de 25% e as vazões mínimas de diferentes durações apresentam redução de até 50% com a operação conjunta das hidrelétricas.



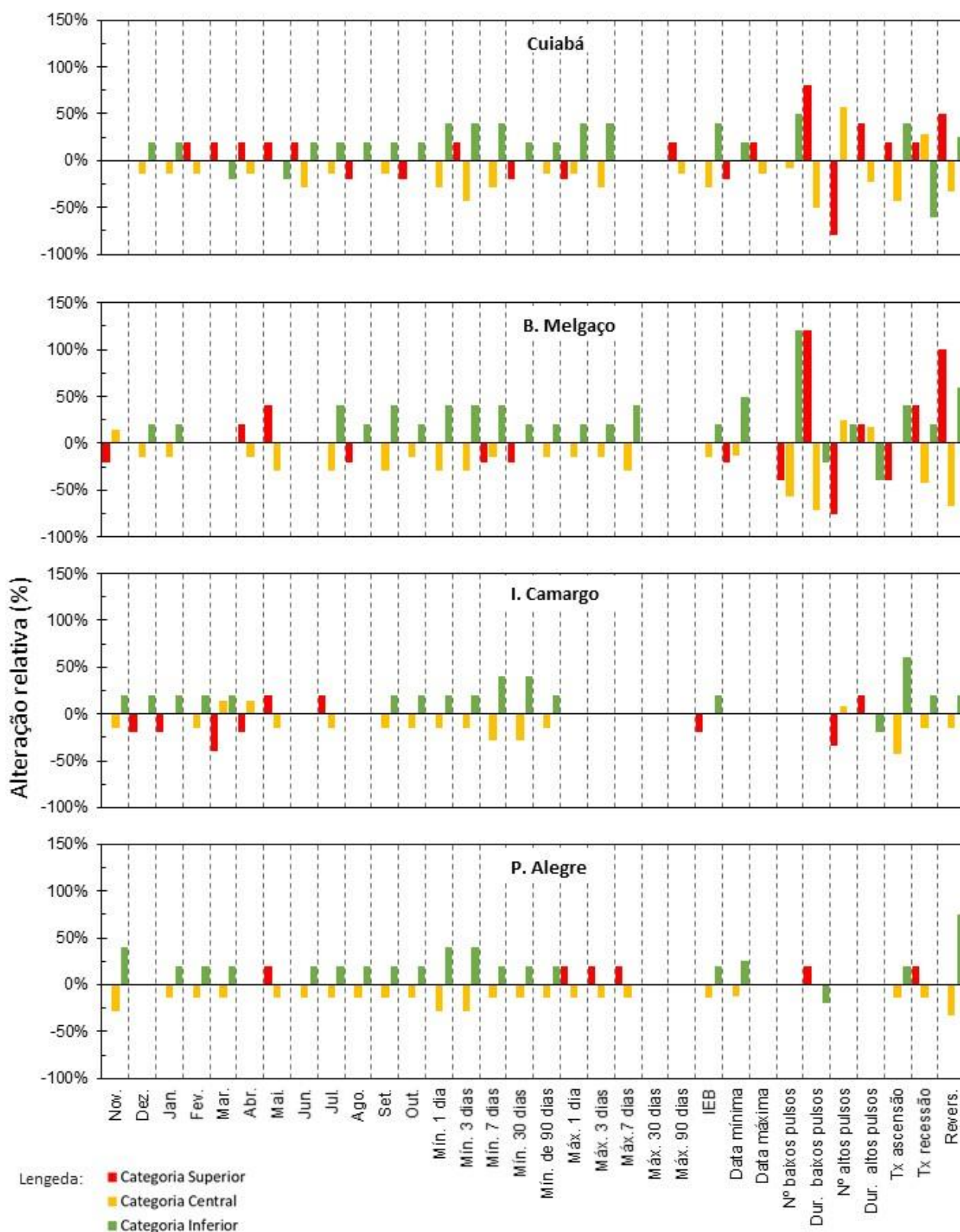


Figura 53. Análise das três categorias do RVA para pontos de análise ao longo do rio Cuiabá considerando os cenários pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).

Fonte: Autora (2019)



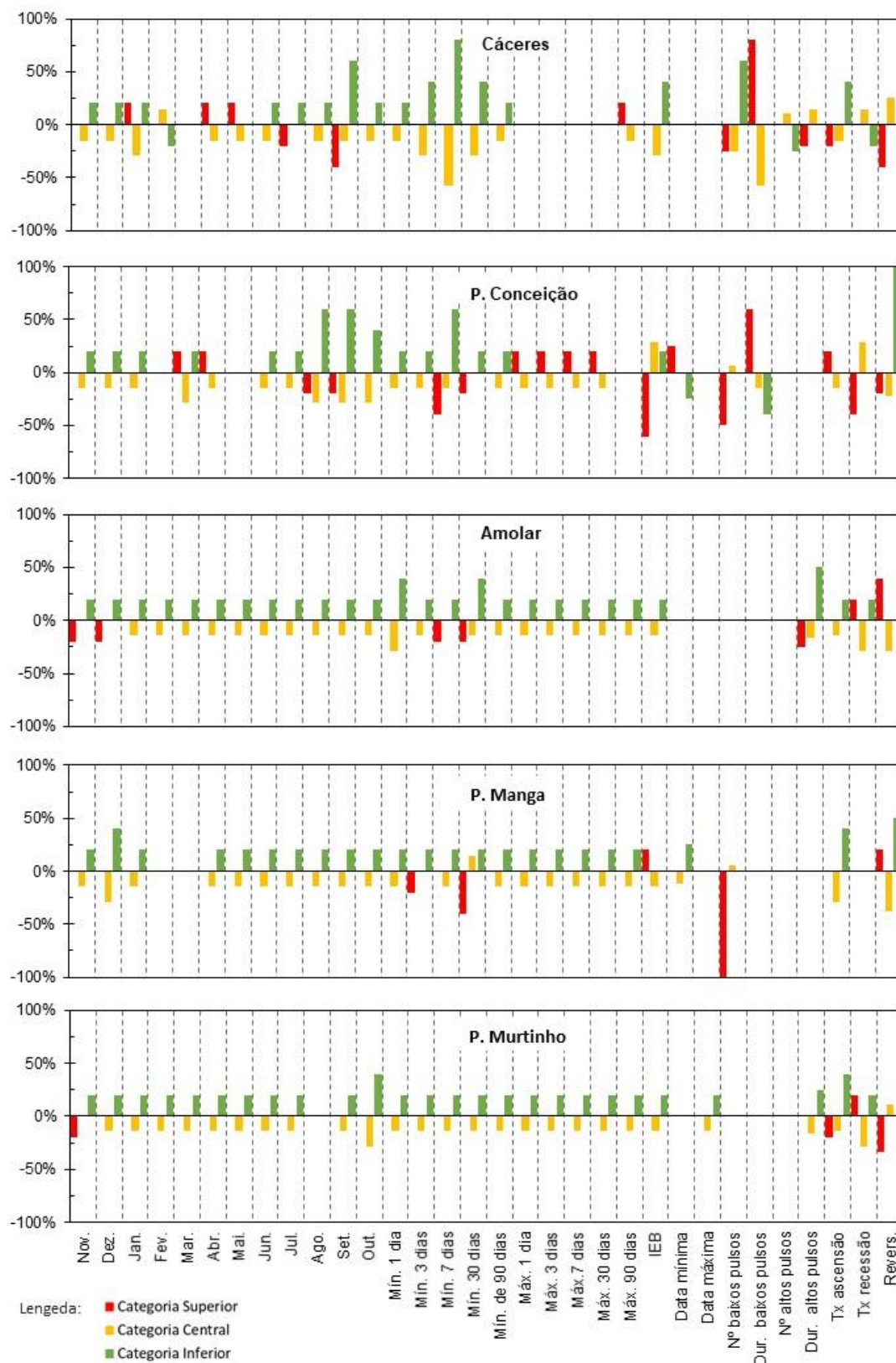


Figura 54. Análise das três categorias do RVA para pontos de análise ao longo do rio Paraguai considerando os cenários pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).

Fonte: Autora (2019)

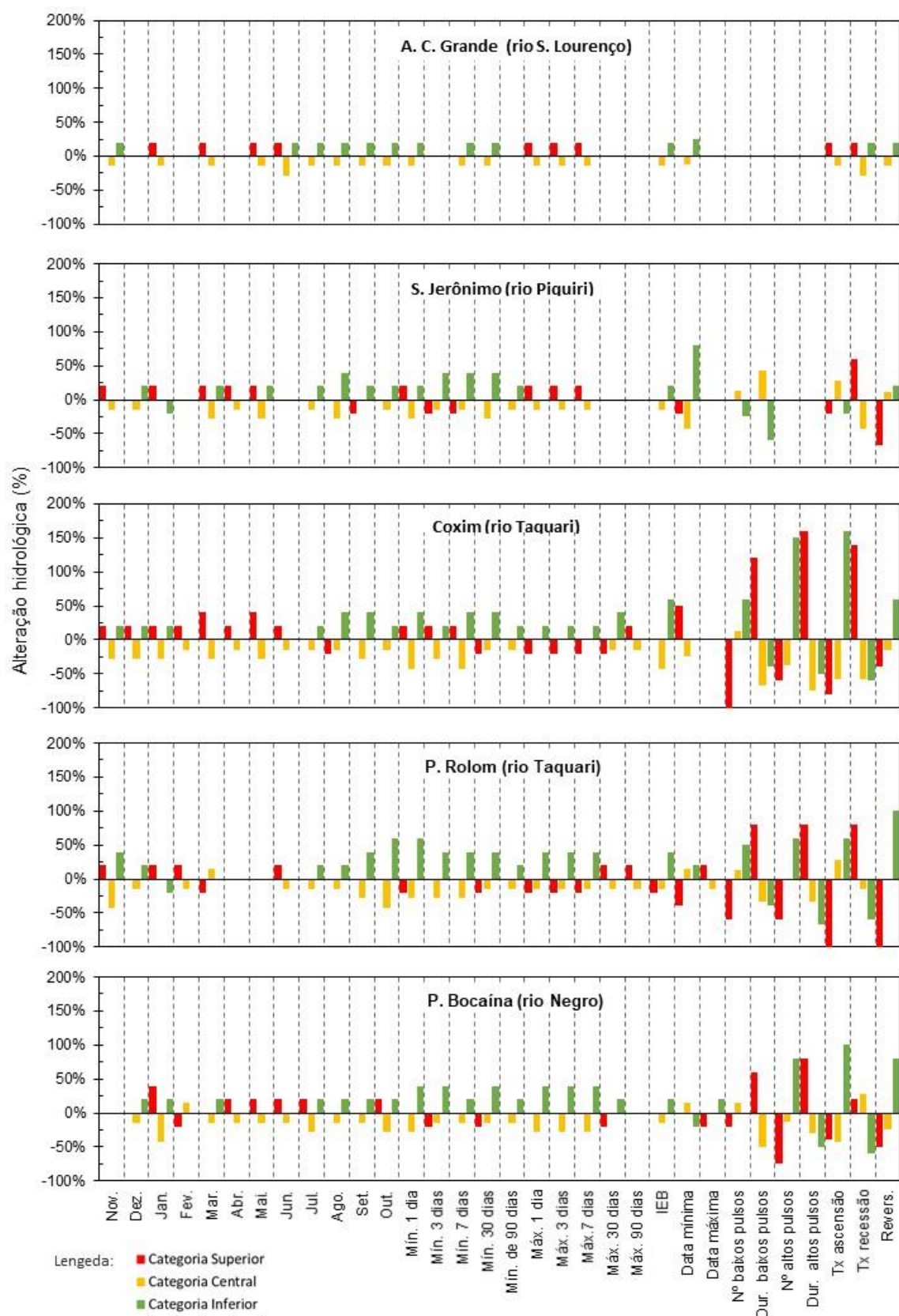


Figura 55. Análise das três categorias do RVA para pontos de análise em outros rios (S. Lourenço, Piquiri, Taquari e Negro) considerando os cenários pré-impacto (com apenas a UHE Manso) e pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos).

Fonte: Autora (2019)

Na CC Cuiabá, a duração de baixos pulsos tende a aumentar 80%, o que significa que as vazões abaixo do 25º percentil da série pré-impacto ocorrem durante um maior período de tempo, em concordância com os resultados dos indicadores dos grupos 1 e 2. A 130 km a jusante desse ponto, em B. Melgaço (1), o mesmo indicador aumenta ainda mais, cerca de 120%, enquanto o número de baixos pulsos diminui na mesma proporção. Após a confluência com o rio S. Lourenço, a maior parte dos indicadores apresenta redução de magnitude, sendo estas em torno de 25%. O comportamento segue de forma semelhante após a confluência com o rio Paraguai, exceto por P. Manga (18), que apresenta uma redução de 100% no número de baixos pulsos na categoria superior, indicando forte diminuição no número de pulsos neste posto. Após confluência com o rio Cuiabá, a maioria dos indicadores de todos os postos (Amolar, P. Manga e P. Murtinho) apresentaram um aumento na frequência de ocorrência na categoria inferior, ou seja, diminuição em suas medianas, sendo estas de aproximadamente 25%.

Nos rios Piquiri e S. Lourenço, os padrões foram semelhantes aos pontos mais a jusante dos rios Cuiabá e Paraguai, embora seja observado pouco ou nenhum efeito no grupo 4. No rio Taquari, a CC Coxim exibiu um aumento de 120% nos indicadores duração de baixos e altos pulsos e taxa de recessão, enquanto o número de altos pulsos e taxa de ascensão apresentam uma diminuição da mesma intensidade (120%). Vale salientar que tal comportamento não seria exibido pela abordagem tradicional, uma vez que seria contabilizada a mudança apenas na categoria central, que é de menor magnitude e possui comportamento distinto, amenizando ou superestimando o efeito geral em situações como essa.

A análise do RVA pela ótica das três categorias mostrou que com a consideração dos empreendimentos hidrelétricos foram alteradas as condições de contorno de quase todos os rios, em especial da CC Coxim, que apresentou mudanças nas medianas de todos os meses do ano. Os indicadores mais alterados foram os do grupo 4 e 5, com forte tendência de aumento da duração de baixos pulsos, intensificando as condições de baixa vazão. Por sua vez, nos rios Aquidauana e Miranda não foram observadas alterações, confirmando os resultados anteriores de que as hidrelétricas próximas ao rio Negro e a jusante do rio Paraguai não tem efeito sobre seu regime fluvial.

Apesar de serem menos significativos que os resultados da Análise I, os resultados indicam que a operação conjunta das hidrelétricas intensifica as condições sazonais já existentes, principalmente no que se refere à estiagem. Como a maioria dos aproveitamentos hidrelétricos considerados possui reservatórios de menor capacidade, o aumento das vazões mínimas, efeito comum da regularização, não ocorre. Por outro lado, a intensificação das condições de vazões baixas causadas por essas hidrelétricas pode prejudicar diversas espécies que dependem do pulso de inundação, alterando seu comportamento e ciclo de vida.

A Figura 56 exibe o gráfico da metodologia RVA com valores anuais pré e pós-impacto para a) número de baixos pulsos em B. Melgaço (rio Cuiabá) e P. Manga (rio Paraguai); duração de baixos pulsos em B. Melgaço (rio Cuiabá) e vazão mínima de 1 dia em P. Conceição (rio Paraguai).

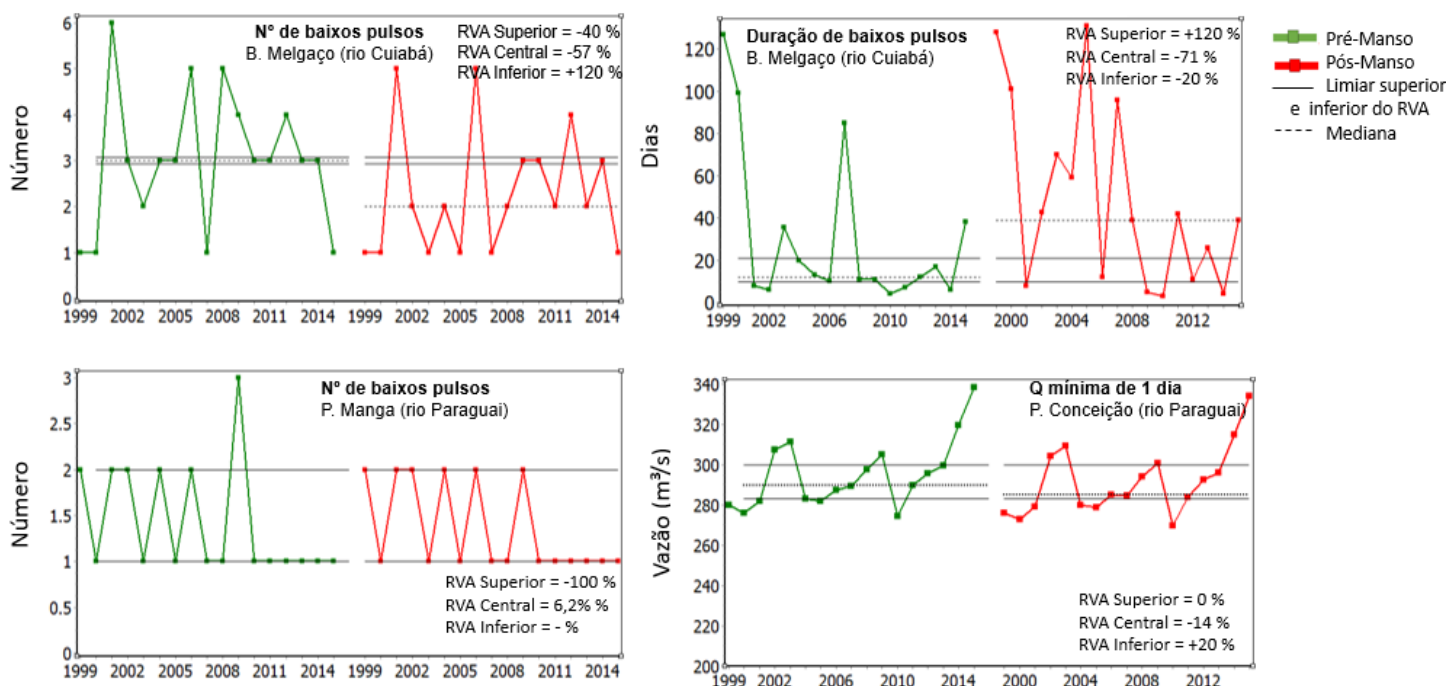


Figura 56. Análise da metodologia RVA para os indicadores N° e duração de baixos pulsos e vazão mínima de 1 dia, considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso).

Fonte: Autora (2018)

Em B. Melgaço, grande parte dos valores medianos anuais do IHA número de baixos pulsos migraram para a categoria inferior, contabilizando a alteração hidrológica. Por outro lado, na duração de baixos pulsos houve migração destes para a categoria superior, indicando que apesar de possuir menos ocorrências ao longo do ano, vazões abaixo do 25º percentil se tornam mais duradouras com a operação das hidrelétricas.

Em P. Manga, a ocorrência de um pulso a mais resultou em uma mudança de 100% na categoria superior. De acordo com o manual do software IHA (TNC, 2009), valores acima dos limiares superior e inferior do RVA são contabilizados na categoria central, ou seja, nesse caso, não existam eventos na categoria superior e, após a ocorrência de um pulso a mais no ano de 2008, a categoria superior apresentou 100% de alteração. Em P. Conceição (15), os valores medianos anuais foram muito semelhantes, mas a ocorrência de um valor perto do limite resultou em uma alteração de 20% na categoria inferior.

O manual do IHA adverte que os valores obtidos pelo *software* devem ser utilizados com parcimônia e observância às limitações existentes em cada caso. Nos casos ilustrados, a proximidade

e até mesmo a ocorrência de valores anuais nos limiares superior e inferior do RVA pode resultar em valores superestimados, uma vez que o padrão anual se mantém praticamente o mesmo.

Assim como mostra a análise I, a operação dos diversos empreendimentos resulta em uma redução das vazões máximas de diferentes durações, afetando a extensão da planície de inundação e todos os processos relacionados aos pulsos de inundação. Lu et al. (2018) estudaram o efeito de barragens de pequeno porte na China. Os autores utilizaram dados sintéticos por meio de modelagem hidrológica distribuída e constataram pouca influência das PCH sobre as vazões mensais, redução das taxas de ascensão e recessão, do número de altos pulsos e aumento no número de reversão. Contrariamente aos resultados aqui observados, os autores relataram um aumento no número de baixos pulsos e diminuição da duração de baixos pulsos e vazão mínima de diferentes durações. Lu et al. (2018) sugeriram ainda que, apesar de não formarem grandes lagos, as PCH também deveriam possuir requisitos de vazão mínima e afirmaram que os indicadores de vazão mínima e os do grupo 4 variam a dependem do tipo de usina e regra de operação.

### **6.2.2 Análise de área inundada**

A Figura 57 ilustra o padrão de área inundada mínima, média e máxima mensal para as condições pré (considerando apenas a hidrelétrica de Manso) e pós-impacto (considerando a operação de todas as hidrelétricas), bem como sua diferença considerando como lâmina mínima 2 cm de profundidade. O gráfico mostra que, assim como as análises de vazões, a operação das hidrelétricas tem pouco efeito em termos de área inundada, sendo esses visíveis apenas em maior escala. A diferença entre as condições pós e pré-barragens mostra um comportamento geral de redução da área inundada. A área inundada mínima sofre uma redução em todos os meses do ano, variando entre 19 e 71 km<sup>2</sup>, com picos de redução nos meses de fevereiro, março e setembro. A área máxima inundada também diminuiu em quase todos os meses, embora em menor magnitude, em média 20 km<sup>2</sup>. Os meses de junho e agosto, por outro lado, apresentaram um aumento de área inundada máxima próximo a 10 km<sup>2</sup>. Tais mudanças implicaram em uma diminuição da área inundada média, que variou entre 10 (nos meses de cheia) e 45 km<sup>2</sup> (nos meses de estiagem).



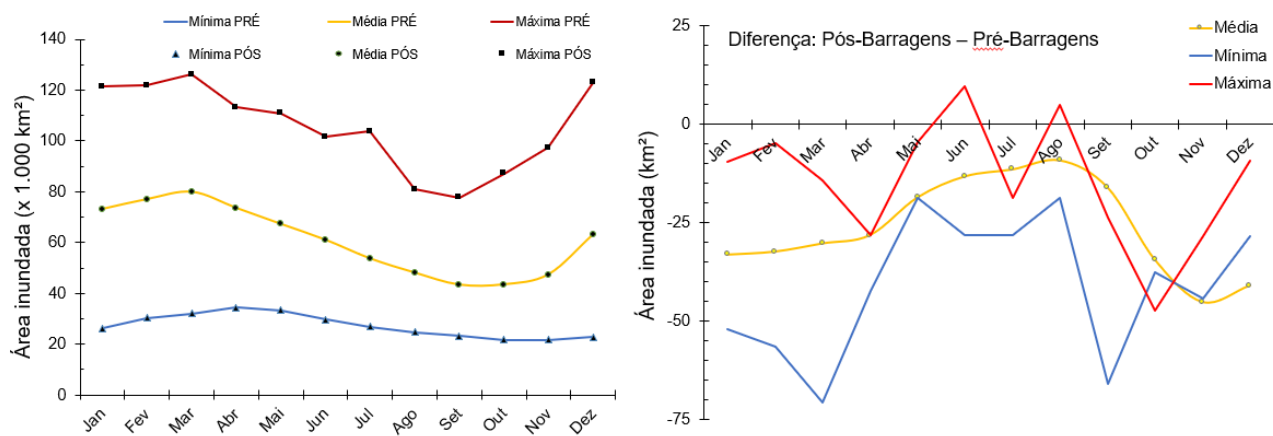


Figura 57. Área inundada mínima, média e máxima no Pantanal para todos os meses do ano considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos) a) Valores de área inundada (x 1.000 km²); b) Diferença de área inundada em km²

Fonte: Autora (2019)

Os gráficos da Figura 58 mostram as diferenças de área inundada para faixas marginais de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai. Como as alterações não são visíveis em uma escala de km², optou-se por exibi-las em m² (\*1.000). De forma geral, o padrão predominante é de redução, principalmente no período que antecede as cheias, podendo resultar em até menos 800.000 m², ou seja, 0,8 km² de área inundada em um raio de 10 km do rio Paraguai. Tal comportamento tem relação com a diminuição das vazões mínimas e máximas e pode vir a prejudicar determinadas espécies que se reproduzem ou se desenvolvem em sítios específicos, que não viriam a ser inundados com a operação das barragens. É importante destacar que os buffers em questão abrangem áreas de influência de outros rios, o que pode ter alguma interferência nos resultados.

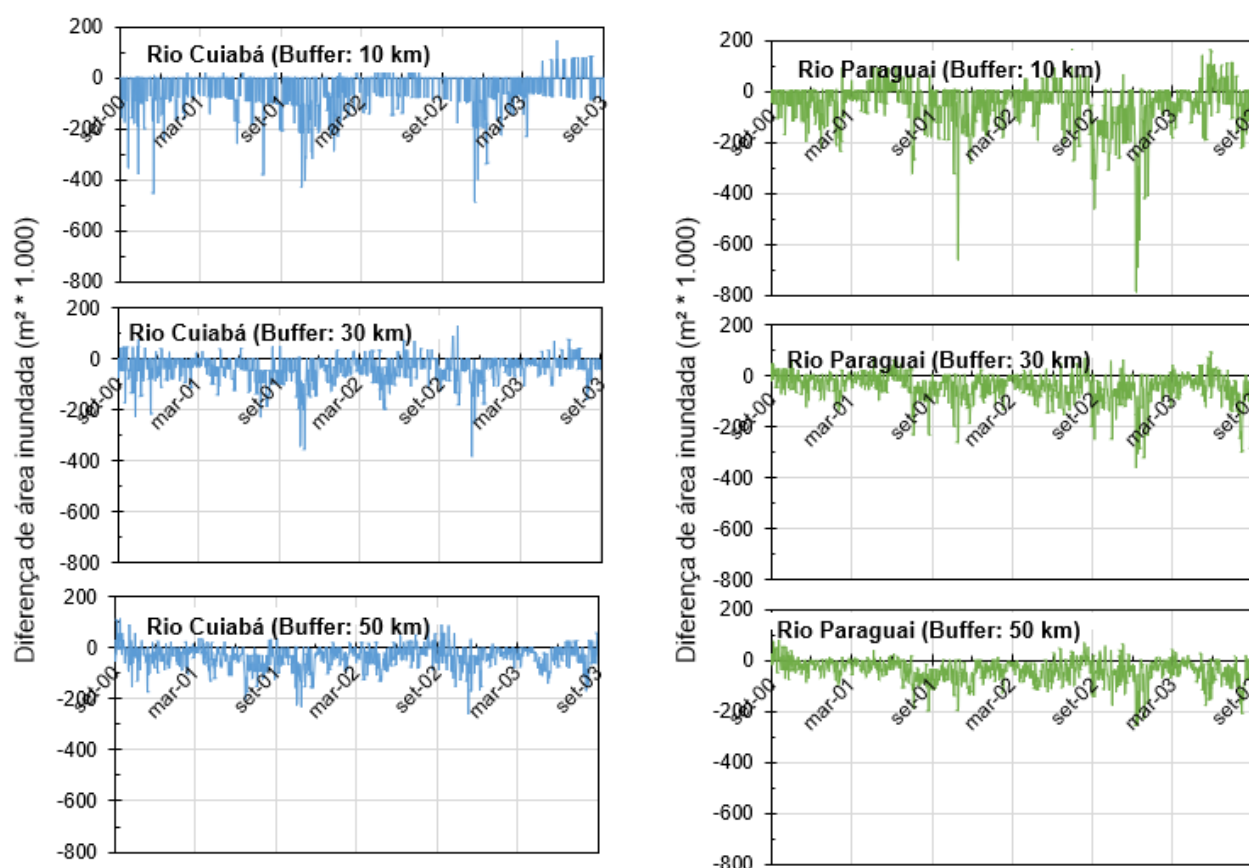


Figura 58. Diferença de área inundada em m<sup>2</sup> (\*1.000) para Buffers de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todas as hidrelétricas)

Fonte: Autora (2019)

A análise do IHA/RVA foi realizada para área inundada dos três diferentes buffers analisados: 10, 30 e 50 km nas margens dos rios Cuiabá e Paraguai (Tabela 14). Os resultados indicam que a operação conjunta dos empreendimentos não causa alteração expressiva no padrão de inundações. As maiores alterações ocorreram na área inundada mínima de 1, 3, 7 e 30 dias e nos números de reversões.

Tabela 14. Valores em porcentagem de alteração relativa e RVA (categoria central) em faixas marginais de 10, 30 e 50 km dos rios Cuiabá e Paraguai considerando as mudanças entre os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e Pós-impacto (com todas as hidrelétricas)

Buffer	Rio Cuiabá						Rio Paraguai					
	10 km		30 km		50 km		10 km		30 km		50 km	
	IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA	IHA	RVA
<b>Grupo 1</b>												
Nov.	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Dez.	-0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
Jan.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Fev.	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
Mar.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Abr.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0
Mai.	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-14.3	0.0	0.0
Jun.	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	-14.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Jul.	0.0	0.0	0.0	-14.3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-14.3	0.0	0.0

	Ago.	0.0	0.0	-0.1	-14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
	Set.	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Out.	-0.2	0.0	-0.2	0.0	0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
<b>Grupo 2</b>													
	Mín. 1 dia	0.0	-14.3	0.0	-14.3	0.0	-14.3	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0
	Mín. 3 dias	-0.1	-14.3	-0.1	-14.3	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-14.3	-0.1	0.0
	Mín. 7 dias	0.0	-14.3	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.2	-14.3	-0.1	0.0	0.0	0.0
	Mín. 30 dias	-0.1	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-14.3	0.0	0.0
	Mín. de 90 dias	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	-0.1	0.0	-0.1	0.0
	Máx. 1 dia	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Máx. 3 dias	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Máx. 7 dias	0.0	-14.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Máx. 30 dias	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Máx. 90 dias	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	IEB	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	-28.6	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Grupo 3</b>													
	Data mínima	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.3	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	Data máxima	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Grupo 4</b>													
	Nº baixos pulsos	0.0	25.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Dur. baixos pulsos	-25.0	-14.3	-14.3	0.0	0.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Nº altos pulsos	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Dur. altos pulsos	0.0	0.0	0.0	-20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Grupo 5</b>													
	Tx ascensão	-1.1	-14.3	0.2	0.0	-1.9	0.0	-0.4	0.0	-0.5	-14.3	-0.4	0.0
	Tx recessão	-0.3	-28.6	-5.1	0.0	-3.6	0.0	-4.8	0.0	0.1	0.0	-3.1	0.0
	Revers.	-3.0	60.0	-2.1	16.7	0.0	0.0	1.1	28.6	0.0	-14.3	-1.1	0.0

Fonte: Autora (2019)

A Tabela 15 mostra uma análise global dos 32 indicadores, com valores em módulo e em porcentagem, para alteração relativa e alteração hidrológica (RVA – categoria central). De acordo com a tabela, as modificações tendem a diminuir no sentido montante jusante, de modo que a 50 km do rio Paraguai, as modificações são praticamente nulas. Além disso, infere-se que, de maneira geral, são baixas as modificações ocasionadas pela operação das hidrelétricas.

Tabela 15. Alteração hidrológica geral - Área Inundada - Barragens

Rio	Buffer	Alteração Relativa - IHA (%)	Alteração hidrológica geral - RVA (%)
Rio Cuiabá	10 km	0,01	6,75
	30 km	0,01	2,93
	50 km	0,00	1,41
Rio Paraguai	10 km	0,00	2,68
	30 km	0,00	2,68
	50 km	0,00	0,00

Fonte: Autora (2019)



As Figuras Figura 59 e Figura 60 ilustram graficamente os resultados da análise das três categorias do RVA nos rios Cuiabá e Paraguai, respectivamente. Os gráficos mostram que há considerável redução da alteração hidrológica com o aumento do buffer considerado em análise e que, ao contrário da análise das vazões, nem todos os indicadores sofrem mudança com a operação das hidrelétricas.

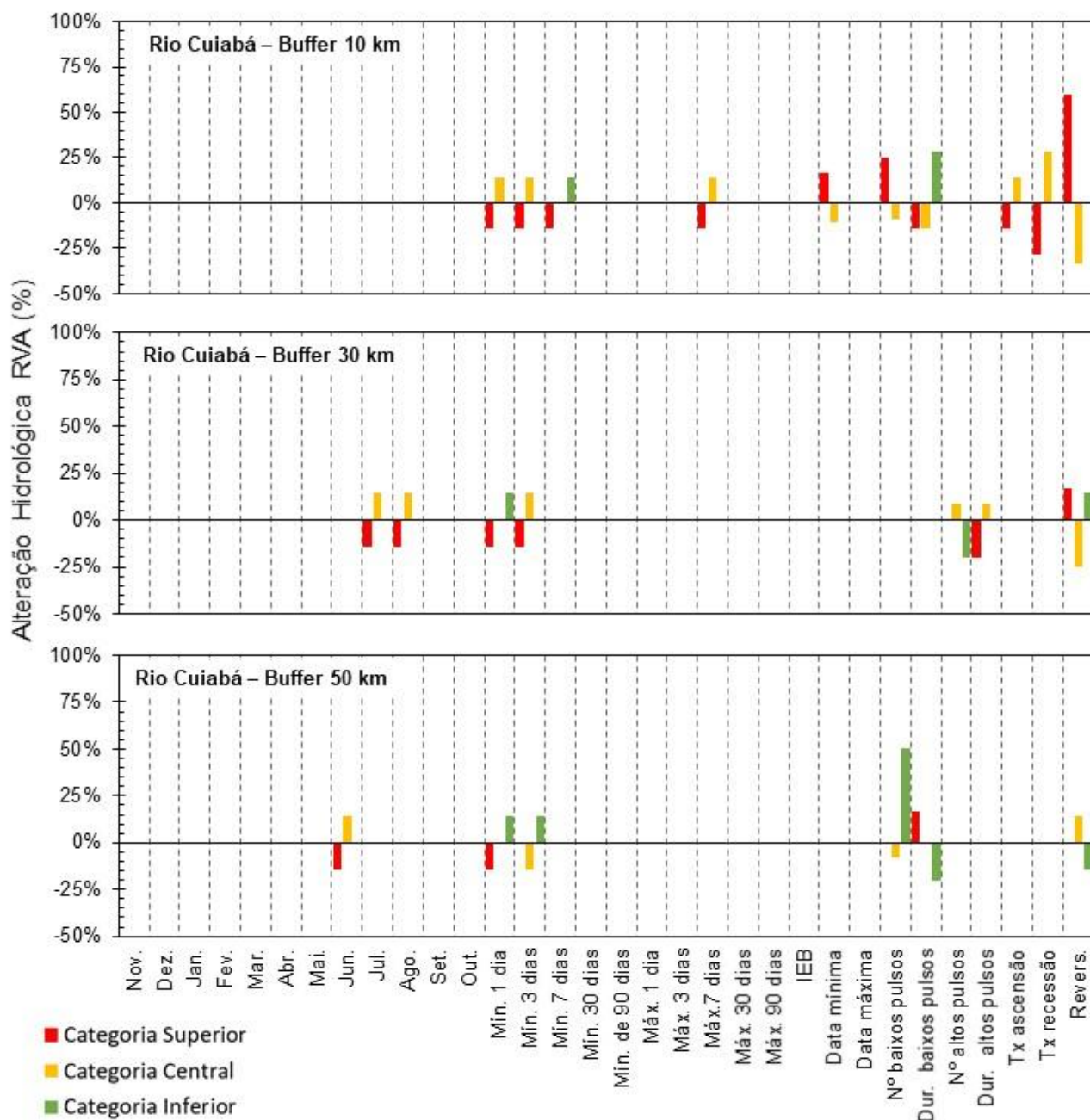


Figura 59. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Cuiabá em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE de Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas).

Fonte: Autora (2019)

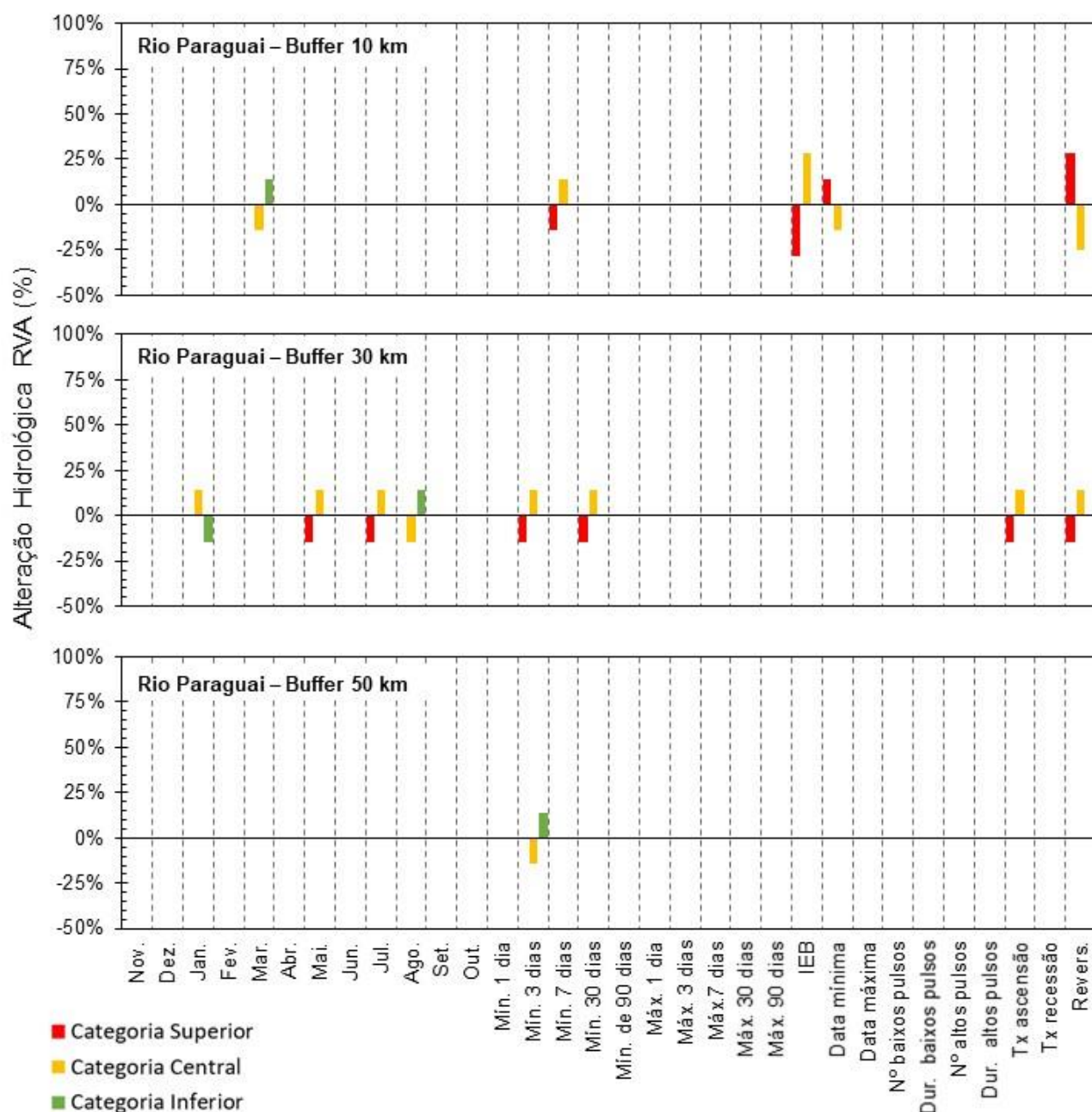


Figura 60. Análise RVA para as categorias superior, central e inferior do rio Paraguai em buffers de 10 km, 30 km e 50 km considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE de Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas).

Fonte: Autora (2019)

Com o objetivo de avaliar espacialmente as áreas inundadas mais afetadas, foram realizadas análises de padrão espaço-temporal de inundação. A Figura 61 mostra as mudanças ocasionadas pela operação conjunta das hidrelétricas em termos de frequência de inundação. No geral, são observadas poucas variações, sendo as mais visíveis no entorno dos rios Paraguai e Taquari. O comportamento predominante é de redução da frequência de inundação, o que era esperado em razão da diminuição das vazões mínimas e máximas. Por outro lado, no trecho superior no rio Taquari (onde forma o leque) e nos pontos a montante do rio Paraguai, ocorre um leve aumento da frequência de inundação (de até 0,74%).

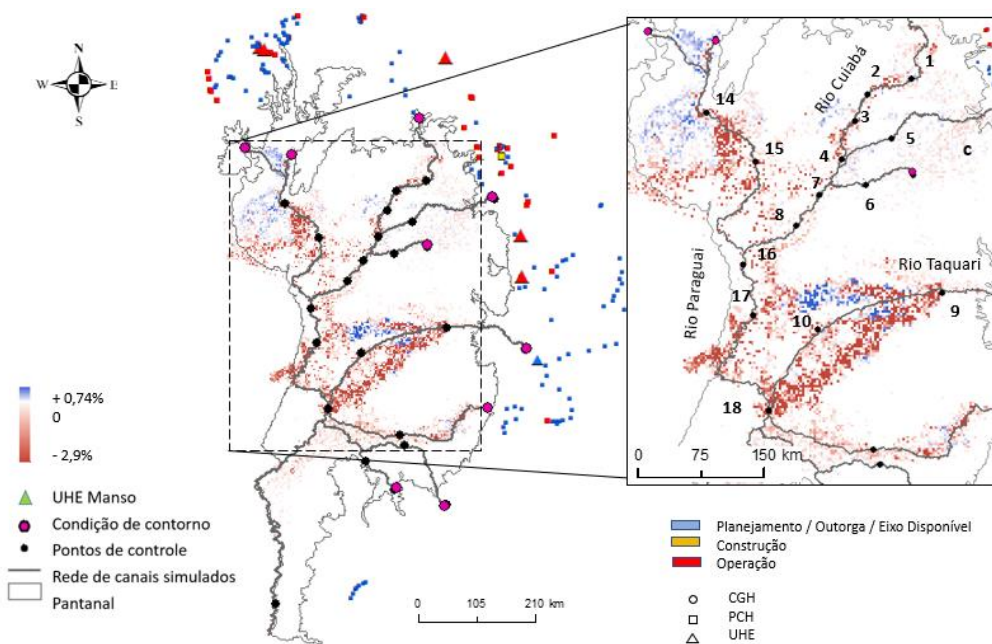


Figura 61. Diferença da frequência de inundação para lâmina de 20 cm considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas).  
Fonte: Autora (2019)

A Figura 62 mostra, em metros, o aumento ou diminuição da lâmina d'água média ao longo do período analisado, que varia entre -0,1 e + 0,01 m, sendo mais uma vez predominante o comportamento de redução. Assim como o mapa de frequência, as maiores reduções ocorrem na parte superior do rio Paraguai e no entorno do rio Taquari. Apesar disso, vale salientar que as referidas modificações foram de baixa magnitude, principalmente quando considerado o tamanho da série de dados.

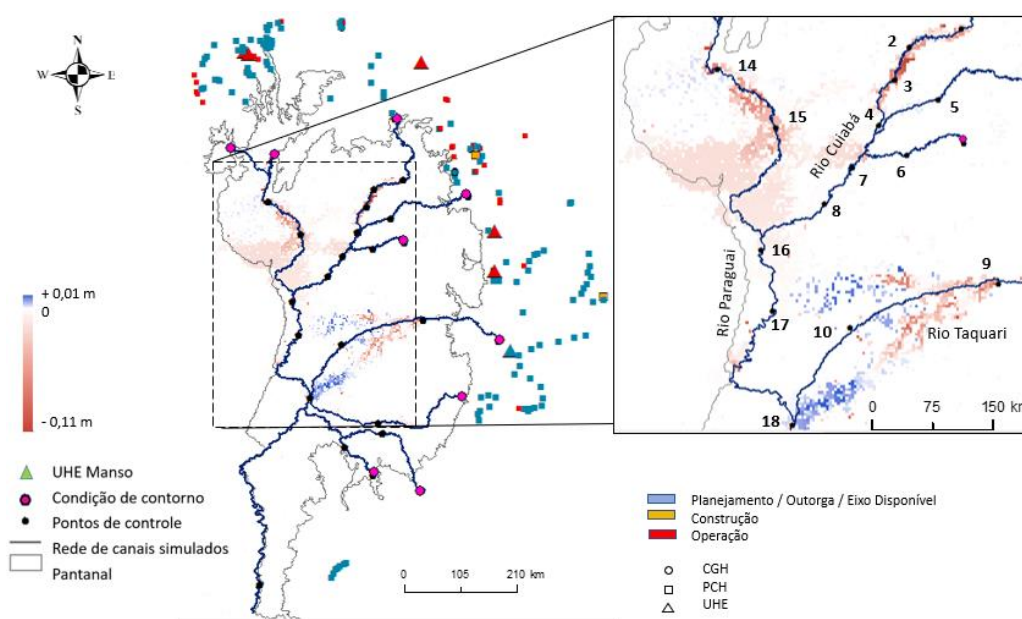


Figura 62. Diferença do nível médio de água simulada ao longo da série histórica de 1995 a 2015 considerando as mudanças entre os cenários pré-impacto (apenas com a UHE Manso) e pós-impacto (com todas as hidrelétricas).  
Fonte: Autora (2019)

### 6.3 Análise crítica do RVA

A adaptação da metodologia do RVA tradicional se deu em razão dos resultados previamente obtidos e limitações observadas. Notou-se que muitas vezes valores considerados baixos como 1 dia ou 1 m<sup>3</sup>/s resultavam em uma mudança de categoria, fazendo com que fosse contabilizada uma alteração hidrológica. O manual do IHA/RVA (TNC, 2009) reforça que a metodologia deve ser utilizada com ponderação, observando a natureza de determinados parâmetros e suas peculiaridades. Além disso, o *software* adota várias regras que podem alterar os resultados gerados, como a consideração dos valores iguais aos limites superior ou inferior na categoria central. Dessa forma, uma mudança de baixa magnitude no ano correspondente para o cenário pós-impacto resultaria em uma mudança de categoria.

A consideração dos limites de tolerância resultou em menores porcentagens de alteração, especialmente na análise das hidrelétricas, gerando resultados mais próximos aos obtidos pela alteração relativa, por exemplo. Por outro lado, os resultados obtidos na análise de Manso variaram, ocorrendo um aumento da alteração em alguns indicadores, o que pode ter ocorrido em virtude de algum erro no procedimento de cálculo adotado, sendo então recomendada sua revisão.

Vale salientar que o RVA\_LT apresenta limitações, como a escolha dos limiares adequados, que pode variar a depender do indicador. Outra limitação diz respeito aos indicadores do grupo 4, especialmente os números de baixos e altos pulsos, que, por se tratarem de valores inteiros, não responderam satisfatoriamente à adaptação proposta e não tiveram seus valores alterados na maioria dos casos. Além disso, uma eventual antecipação ou atraso das vazões mínimas e máximas, mesmo que da ordem de poucos dias, pode resultar em uma modificação expressiva no número de pulsos, uma vez que estes só são contabilizados no ano em que tiveram origem.

## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 7.1 Conclusões

As hidrelétricas são comumente associadas a diversos impactos ambientais, sendo a modificação do regime fluvial um dos mais importantes dada sua relação direta com fatores bióticos e abióticos dentro e além da área de influência direta. A expansão de empreendimentos hidrelétricos no Brasil, mais precisamente na BAP, coloca em questão sua viabilidade e os efeitos a serem sentidos pelo Pantanal. Nesse contexto, esse estudo utilizou modelagem hidrológica distribuída desenvolvida para planícies de inundação, o SIRIPLAN, para simular cenários, permitindo o conhecimento antecipado das mudanças ocasionadas pelas hidrelétricas instaladas na BAP sobre o regime de vazão e área inundada no Pantanal.

O efeito isolado da UHE Manso apresentou forte impacto sobre o regime de vazões e inundação do Pantanal, alcançando trechos além do rio Cuiabá, com efeitos até a jusante da bacia. No regime de vazões, as principais consequências foram o aumento das vazões dos períodos de estiagem e das vazões mínimas de diferentes durações e reduções nas vazões dos meses de cheia. Além disso, a UHE Manso teve efeito sobre trechos a montante da confluência do rio Cuiabá com o rio Paraguai, o que se deve, provavelmente, pelo efeito de remanso pela natureza plana da região ou ainda em razão das trocas laterais canal-planície. Em razão do amortecimento das vazões de pico, a UHE Manso teve impactos sobre a lâmina d'água média e a frequência de inundação, causando no trecho superior do rio Paraguai entre Amolar e Cáceres a diminuição da área inundada. Por outro lado, o aumento das vazões mínimas, principalmente nos primeiros pontos de controle, parece ter contribuído com o aumento da área inundada às margens do rio Cuiabá.

O menor impacto observado na segunda análise pode ser explicado porque a maioria das hidrelétricas é do tipo PCH, ou seja, possuem pouco ou nenhum efeito de regularização. Nessa análise, os principais impactos registrados ocorreram nos grupos 4 (número e duração de baixos e altos pulsos) e 5 (taxas de ascensão, recessão e número de reversões), com expressiva redução no número de baixos pulsos nos primeiros pontos de controle. Apesar de pouco pronunciada, a operação das hidrelétricas resultou na redução das vazões mínimas, ao contrário das reduções geradas pelas grandes barragens. Além disso, as hidrelétricas consideradas apresentaram efeitos em termos de área inundada, reduzindo a frequência de inundação no entorno do rio Paraguai. A diminuição de área inundada também foi observada no entorno do rio Taquari, o que pode vir a intensificar ainda mais o processo de assoreamento na região.

A grande diferença de magnitude observada entre as análises I e II, ou seja, entre a UHE Manso isoladamente e a operação conjunta de todas as hidrelétricas, se justifica pelo elevado porte de Manso (210 MW) em comparação às demais hidrelétricas analisadas, que apresentam potência instalada inferior a 30 MW em sua maioria. Além disso, é importante salientar que a comparação

entre as duas análises deve ser feita com cautela uma vez que na Análise I foram utilizados dados de vazão defluentes, enquanto que na Análise II foram impostas regras de operação com base no nível do reservatório e dados de vazão.

Como comentado anteriormente, a utilização da modelagem hidrológica permite que efeitos sejam isolados, mas é importante salientar que, na realidade, múltiplas causas interagem entre si e que condições climáticas e de uso do solo variam de um período para o outro. Outra limitação do estudo se refere às regras de operação e simplificações adotadas para viabilizar o estudo. Na realidade cada hidrelétrica funciona de acordo com regras e restrições específicas e que variam no tempo. O uso de modelos deve ser realizado com parcimônia, uma vez que podem resultar em cenários não confiáveis e levar a medidas equivocadas de gestão. Além disso, os dados defluentes utilizados na Análise I podem ter influência de fatores externos, como condições climáticas, enquanto as regras de operação desconsideram tais fatores.

Esse estudo apresentou uma abordagem ampla de avaliação, investigando múltiplos pontos localizados a dezenas e centenas de quilômetros a jusante das barragens, enquanto a maioria dos estudos de literatura investiga alterações hidrológicas com base em pontos únicos ou representativos. O uso de metodologias de quantificação de alteração hidrológica para áreas inundadas também representa uma inovação, uma vez que a maioria dos estudos considera como variável apenas o regime de vazão.

A adaptação proposta ao RVA, denominada de RVA\_LT, reduziu a porcentagem de alteração da maioria dos indicadores, mas não teve efeitos sobre os indicadores do grupo 4. Uma das dificuldades da metodologia consiste em determinar a porcentagem de tolerância adequada, que não resulte em uma subestimação dos resultados. Além disso, o RVA\_LT não supre limitações como a não consideração do padrão geral de alteração, uma vez que as maiores mudanças podem ocorrer em outras categorias.

A metodologia RVA mostrou-se adequada para avaliação dos impactos quando consideradas as mudanças em três categorias, uma vez que a metodologia tradicional pode ocultar os efeitos predominantes ou ainda levar a considerações errôneas sobre o comportamento geral dos indicadores. Além disso, a utilização conjunta do RVA com outras análises como alteração relativa, hidrogramas e curva de permanência permite uma maior clareza dos resultados. Os resultados mostraram ainda que alguns indicadores podem apresentar resultados superestimados, como é o caso dos indicadores relacionados aos números de altos e baixos pulsos.

Esse estudo endossa a necessidade de se ter uma visão sistêmica da BAP durante o planejamento e consideração de novos aproveitamentos hidrelétricos da região. A forte inter-relação existente entre o planalto e a planície indica que as hidrelétricas podem ter efeitos mesmo em trechos considerados distantes, resultando em impactos sobre o regime de vazões e inundação do Pantanal.



No entanto, é importante destacar que a análise aqui apresentada considerou apenas dados de vazões médias diárias, ou seja, alterações do regime hidrológico em escala temporal sub-diária não foram consideradas. Dessa forma, a partir dos resultados apresentados nesse trabalho não é possível concluir que as PCHs e CGHs não possuem impacto hidrológico, mas apenas que não resultam em impactos hidrológicos severos em escala temporal diária a sazonal.

## **7.2 Recomendações**

Nesse estudo foram apresentados resultados em termos de vazão e área inundada. Recomenda-se que sejam investigados outros impactos, tanto de outras variáveis hidrológicas (como nível de água, por exemplo), quanto de outra natureza, como transporte de sedimentos e mudanças no ciclo de vida de espécies de peixes existente na BAP. Adicionalmente, dada a inter-relação existente entre esses fatores, recomenda-se que sejam investigados e descritos com maior detalhe os efeitos das alterações hidrológicas aqui observadas sobre as espécies de fauna e flora da região.

No que se refere à modelagem hidrológica, sugere-se ainda a simulação de outros cenários com o objetivo de estabelecer uma configuração de empreendimentos com menor impacto, podendo ainda ser propostas regras de operação visando minimizar os impactos aqui observados. Além disso, como observado no estudo de Ryo et al. (2015), a computação do IHA/RVA pode ser inserida no modelo SIRIPLAN, permitindo a computação da alteração a nível de pixel e assim gerar análises de de forma distribuída espacialmente sobre todo o Pantanal.

Recomenda-se ainda que a adaptação da metodologia RVA considerando limites de transição seja aperfeiçoada, principalmente quanto aos indicadores do grupo 4. Além da investigação de outras porcentagens de tolerância, a adaptação também pode ser empregada para as três categorias de percentil. Para validação dos resultados, recomenda-se ainda que estes sejam comparados aos obtidos por outras metodologias de quantificação da alteração hidrológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, L. E.; LUND, J. R.; MOYLE, P. B.; QUINÕES, R. M.; HERMAN, J. D.; O'REAR, T. A. Environmental hedging: A theory and method for reconciling reservoir operations for downstream ecology and water supply. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 53, n. 9, p.7816-7831, set. 2017. Wiley-Blackwell.
- ALLASIA, D. G.; COLLISCHONN, W.; FAILACHE, N.; COLLISCHONN, B.; TUCCI, CEM.; GERMANO, A. Aplicações e perspectivas do modelo de grandes bacias (MGB) na bacia do Alto Paraguai. In: XXI Congresso Latino-Americano de Hidráulica, 21., 2004, São Pedro. **Anais [...]**. São Pedro: ABRH-USP, 2004.
- ALHO, Cleber J. R.; LACHER, Thomas E.; GONÇALVES, Humberto C. Environmental Degradation in the Pantanal Ecosystem. **Bioscience**, [s.l.], v. 38, n. 3, p.164-171, mar. 1988. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.2307/1310449>.
- ALRAJOULA, M. T.; ZAYED, I. S. A.; ELAGIB, N. A.; HAMDY, M. T. Hydrological, socio-economic and reservoir alterations of Er Roseires Dam in Sudan. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 566-567, p.938-948, out. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.05.029>.
- ANA, Agência Nacional das Águas. Análise integrada e prognóstico da ANA. **Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica Para o Pantanal e Bacia Do Alto Paraguai NA/GEF/PNUMA/OEA: Programa De Ações Estratégicas para o Gerenciamento Integrado do Pantanal e Bacia do Alto Paraguai**. Relatório Final / Agência Nacional de Águas. ANA [et al.]. – Brasília: TDA Desenho & Arte Ltda., 2004.
- ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Atlas de energia elétrica do Brasil. 3.ed., 236 p. Brasília : Aneel, 2008.
- ANTAS, Paulo de Tarso Zuquim. Migration and other movements among the lower Paraná River valley wetlands, Argentina, and the south Brazil/Pantanal wetlands. **Bird Conservation International**, [s.l.], v. 4, n. 2-3, p.181-190, set. 1994. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0959270900002768>.
- ASSAHIRA, C.; PIEDADE, M. T. F.; TRUMBORE, S. E.; WITTMANN, F.; CINTRA, B. B. L.; BATISTA, E. S.; RESENDE, A. F.; SCHONGART, J. Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 396, p.113-123, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.016>.
- ASSINE, Mario Luis. River avulsions on the Taquari megafan, Pantanal wetland, Brazil. **Geomorphology**, [s.l.], v. 70, n. 3-4, p.357-371, set. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.02.013>.
- ASSINE, M. L.; CORRADINI, F. A.; PUPIM, F. N.; MCGLUE, M. M. Channel arrangements and depositional styles in the São Lourenço fluvial megafan, Brazilian Pantanal wetland. **Sedimentary Geology**, [s.l.], v. 301, p.172-184, mar. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sedgeo.2013.11.007>.
- BATES, P.d; ROO, A.p.j de. A simple raster-based model for flood inundation simulation. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 236, n. 1-2, p.54-77, set. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694\(00\)00278-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694(00)00278-x).



BEJARANO, M. D.; SORDO-WARD, A.; ALONSO, C.; NILSSON, C. Characterizing effects of hydropower plants on sub-daily flow regimes. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 550, p.186-200, jul. 2017. Elsevier BV.

BERGIER, Ivan. Effects of highland land-use over lowlands of the Brazilian Pantanal. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 463-464, p.1060-1066, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.036>.

BERGIER, I.; ASSINE, M. L.; MCGLUE, M. M.; ALHO, C. J. R.; SILVA, A.; GUERREIRO, R. L.; CARVALHO, J. C. Amazon rainforest modulation of water security in the Pantanal wetland. **Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 619-620, p.1116-1125, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.163>.

BLACK, A. R.; ROWAN, J. S.; DUCK, R. W.; BRAGG, O. M.; CLELLAND, B. E. DHRAM: a method for classifying river flow regime alterations for the EC Water Framework Directive. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [s.l.], v. 15, n. 5, p.427-446, 2005. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/aqc.707>

BRAMBILLA, Micol; FONTES, Andrea Sousa; MEDEIROS, Yvonilde Dantas Pinto. Cost-benefit analysis of reservoir operation scenarios considering environmental flows for the lower stretch of the São Francisco River (Brazil). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 22, 2017. FapUNIFESP (SciELO).

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional (BEN)** Ano base: 2016. Brasília: MME, 2017. 296 p. Disponível em: [http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+E1% C3%A9trico+-+Novembro+-+2017\\_1.pdf/25f64f4a-ecdf-463f-ba58-968166fbf7ab](http://www.mme.gov.br/documents/1138781/1435504/Boletim+de+Monitoramento+do+Sistema+E1% C3%A9trico+-+Novembro+-+2017_1.pdf/25f64f4a-ecdf-463f-ba58-968166fbf7ab). Acesso em: 30 jan. 2018

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. Secretaria de Coordenação dos Assuntos de Meio Ambiente. Programa Nacional do Meio Ambiente. **Plano de conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal): PCBAP**. Brasília, DF: PNMA, 1997. 12v.

BRAVO, J. M.; ALLASIA, D.; PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Coupled Hydrologic-Hydraulic Modeling of the Upper Paraguay River Basin. **Journal of Hydrologic Engineering**, [s.l.], v. 17, n. 5, p.635-646, maio 2012. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000494](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000494).

BRAVO, J. M.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M.; PILAR, J. V. Otimização de Regras de Operação de Reservatórios com Incorporação da Previsão de Vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.181-196, jan./mar. 2008.

CARVALHO, N.O. Hidrologia da Bacia do Alto Paraguai. *In: Anais do simpósio sobre recursos naturais e sócio-econômicos do Pantanal: manejo e conservação*, 1986, Corumbá. **[Anais...]**. Brasília: EMBRAPA, 1986. p. 43-49.

CASAS-MULET, R.; SALTVEIT, S. J.; ALFREDSEN, K.. The Survival of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) Eggs During Dewatering in a River Subjected to Hydropeaking. **River Research and Applications**, [s.l.], v. 31, n. 4, p.433-446, 21 ago. 2014. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/rra.2827>.

CEBALHO, E. C.; DÍEZ, S.; SANTOS FILHO, M. S.; MUNIZ, C. C.; LÁZARO, W.; MALM, O.; IGNÁCIO, A.R. Effects of small hydropower plants on mercury concentrations in fish. **Environmental Science and Pollution Research**, [s.l.], v. 24, n. 28, p.22709-22716, 16 ago. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-9747-1>.

CHEN, He. Assessment of hydrological alterations from 1961 to 2000 in the Yarlung Zangbo River, Tibet. **Ecohydrology & Hydrobiology**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.93-103, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2478/v10104-012-0009-z>.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G. ; COLLISCHONN, B. ; TUCCI, C. E. M. ; GERMANO, A. O. ; FAILACHE GALLO, N. . Aplicações e perspectivas do modelo de grandes bacias (MGB) na bacia do Alto Paraguai. In: Congresso Latinoamericano de Hidraulica, 2004, São Pedro. **Anais [...]**. São Pedro: Congresso Latinoamericano de Hidraulica, 2004.

COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D. G.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. The MGB-IPH model for large-scale rainfall—runoff modelling. **Hydrological Sciences Journal**, [s.l.], v. 52, n. 5, p.878-895, out. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1623/hysj.52.5.878>.

COLLISCHONN, W.; SOUZA, C. F. ; FREITAS, G. K. ; PRIANTE, G. R. ; AGRA, S. G. ; TASSI, R. . **Em busca do hidrograma ecológico**. In: José Nilson Campos. (Org.). Recursos Hídricos: Jovem Pesquisador 2005. Fortaleza: ABRH, 2005.

COLLISCHONN, W.; TUCCI, C.E.M.; CLARKE, R.T.. Further evidence of changes in the hydrological regime of the River Paraguay: part of a wider phenomenon of climate change?. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 245, n. 1-4, p.218-238, maio 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00348-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00348-1).

CORUMBÁ, Prefeitura Municipal. Corumbá, 2018. Programa social Povo das Águas. Disponível em: < <http://www.corumba.ms.gov.br/noticias/primeira-edicao-de-2018-do-programa-povo-das-aguas-comeca-neste-sabado/22113/>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2018.

DAMASCENO-JUNIOR, Geraldo Alves et al. Structure, distribution of species and inundation in a riparian forest of Rio Paraguai, Pantanal, Brazil. **Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology Of Plants**, [s.l.], v. 200, n. 2, p.119-135, maio 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.flora.2004.09.002>.

DIAS, V. S.; LUZ, M. P.; MEDERO, G. M.; NASCIMENTO, D. T. F. An Overview of Hydropower Reservoirs in Brazil: Current Situation, Future Perspectives and Impacts of Climate Change. **Water**, [s.l.], v. 10, n. 5, 18 p., 3 mai. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w10050592>.

EAST, A. E.; PESS, G. R.; BOUNTRY, J. A.; MAGIRL, C. S.; RITCHIE, A. C.; LOGAN, J. B.; RANDLE, T. J.; MASTIN, M. C.; MINEAR, J. T.; DUDA, J. J.; LIERMANN, M. C.; MCHENRY, M. L.; BEECHIE, T. J.; SHAFROTH, P. B. Large-scale dam removal on the Elwha River, Washington, USA: River channel and floodplain geomorphic change. **Geomorphology**, [s.l.], v. 228, p.765-786, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.08.028>.

EUM, Hyung-il; DIBIKE, Yonas; PROWSE, Terry. Climate-induced alteration of hydrologic indicators in the Athabasca River Basin, Alberta, Canada. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 544, p.327-342, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.034>.

FAN, Fernando; COLLISCHONN, Walter. Integração do Modelo MGB-IPH com Sistema de Informação Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 19, n. 1, p.243-254, 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n1.p243-254>.

FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S. K. Changes in river water quality caused by a diversion hydropower dam bordering the Pantanal floodplain. **Hydrobiologia**, [s.l.], v. 768, n. 1, p.223-238, 23 out. 2015a. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10750-015-2550-4>.

- FANTIN-CRUZ, I.; PEDROLLO, O.; GIRARD, P.; ZEILHOFER, P.; HAMILTON, S. K. Effects of a diversion hydropower facility on the hydrological regime of the Correntes River, a tributary to the Pantanal floodplain, Brazil. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 531, p.810-820, dez. 2015b. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.045>.
- FEARNSIDE, Philip M.. Environmental and Social Impacts of Hydroelectric Dams in Brazilian Amazonia: Implications for the Aluminum Industry. **World Development**, [s.l.], v. 77, p.48-65, jan. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2015.08.015>.
- FLEISCHMANN, A. S.; SIQUEIRA, V. A.; COLLISCHONN, W.; FAN, F. M. 2015 **Desenvolvimento do Módulo de Reservatórios do Modelo Hidrológico MGB-IPH**. In.: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 2015.
- FURQUIM, Sheila Aparecida Correia et al. Salt-affected soils evolution and fluvial dynamics in the Pantanal wetland, Brazil. **Geoderma**, [s.l.], v. 286, p.139-152, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.10.030>.
- GAO, Y.; VOGEL, R. M.; KROLL, C. N.; POFF, N. L.; OLDEN, J. D. Development of representative indicators of hydrologic alteration. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 374, n. 1-2, p.136-147, jul. 2009. Elsevier BV.
- GAO, B.; YANG, D.; ZHAO, T.; YANG, H Changes in the eco-flow metrics of the Upper Yangtze River from 1961 to 2008. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 448-449, p.30-38, jul. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.03.045>.
- GIRARD, Pierre; SILVA, Carolina J da; ABDO, Mara. River–groundwater interactions in the Brazilian Pantanal. The case of the Cuiabá River. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 283, n. 1-4, p.57-66, dez. 2003. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694\(03\)00235-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0022-1694(03)00235-x).
- HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Inundation patterns in the Pantanal wetland of South America determined from passive microwave remote sensing. **Archive F<sup>r</sup> Hydrobiologie**. [s.l.], v. 137, n. 1, p.1–23, 1996.
- HAMILTON, S. K.; SIPPEL, S. J.; MELACK, J. M. Comparison of inundation patterns among major South American floodplains. **Journal of Geophysical Research**, [s.l.], v. 107, n. 20, 2002. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2000jd000306>.
- HE, S.; YIN, X.; YU, C.; XU, Z.; YANG, Z. Quantifying parameter uncertainty in reservoir operation associated with environmental flow management. **Journal of Cleaner Production**, [s.l.], v. 176, p.1271-1282, mar. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.246>.
- HORRITT, M. S.; BATES, P. D.. Predicting floodplain inundation: raster-based modelling versus the finite-element approach. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 15, n. 5, p.825-842, 2001. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.188>.
- HYLANDER, L. D.; GROHN, J.; TROPP, M.; VIKSTROM, A.; WOLPHER, H.; CASTRO E SILVA, E.; MEILI, M.; OLIVEIRA, L. J. Fish mercury increase in Lago Manso, a new hydroelectric reservoir in tropical Brazil. **Journal of Environmental Management**, [s.l.], v. 81, n. 2, p.155-166, out. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.09.025>.
- INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION. **Hydropower Status Report**. Londres: International Hydropower Association, 2017. 81 p
- IORIS, Antonio Augusto Rossotto; IRIGARAY, Carlos Teodoro; GIRARD, Pierre. Institutional responses to climate change: opportunities and barriers for adaptation in the Pantanal and the Upper Paraguay River Basin. **Climatic Change**, [s.l.], v. 127, n. 1, p.139-151, 8 mai. 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1134-z>.

- JUNK, W.J.; BAYLEY, P.B.; SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. **Canadian Journal of Fishers and Aquatic**, 106: 110-127.
- JUNK, Wolfgang J.; CUNHA, Catia Nunes de. Pantanal: a large South American wetland at a crossroads. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 24, n. 4, p.391-401, abr. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.012>.
- KARIM, F.; DUTTA, D.; MARVANEK, S.; PETHERAM, C.; TICEHURST, C.; LERAT, J.; KIM, S.; YANG, A. Assessing the impacts of climate change and dams on floodplain inundation and wetland connectivity in the wet-dry tropics of northern Australia. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 522, p.80-94, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.005>.
- KIBLER, Kelly M.; TULLOS, Desiree D. Cumulative biophysical impact of small and large hydropower development in Nu River, China. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 49, n. 6, p.3104-3118, jun. 2013. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20243>.
- LATRUBESSE, E. M.; ARIMA, E. Y.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V. R.; D'HORTA, F. M.; WIGHT, C.; WITTMANN, F.; ZUANON, J.; BAKER, P. A.; RIBAS, C. C.; NORGAARD, R. B.; FILIZOLA, N.; ANSAR, A.; FLYVBJERG, B.; STEVAUX, J. C. Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, [s.l.], v. 546, n. 7658, p.363-369, 14 jun. 2017. Springer Nature.
- LI, D.; LONG, D.; ZHAO, J.; LU, H.; HONG, Y. Observed changes in flow regimes in the Mekong River basin. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 551, p.217-232, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.061>.
- LIERMANN, Catherine Reidy; ROBERTSON, James; NILSSON, Christer. Implications of Dam Obstruction for Global Freshwater Fish Diversity. **Bioscience**, [s.l.], v. 62, n. 6, p.539-548, jun. 2012. Oxford University Press (OUP).
- LIN, K.; LIN, Y.; XU, Y.; CHEN, X.; CHEN, L.; SINGH, V. P. Inter- and intra- annual environmental flow alteration and its implication in the Pearl River Delta, South China. **Journal of Hydro-environment Research**, [s.l.], v. 15, p.27-40, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jher.2017.01.002>.
- LU, W.; LEI, H.; YANG, D.; TANG, L.; MIAO, Q. Quantifying the impacts of small dam construction on hydrological alterations in the Jiulong River basin of Southeast China. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 567, p.382-392, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.034>.
- MANTEL, S. K.; HUGHES, D. A.; MULLER, N.W. J. Ecological impacts of small dams on South African rivers Part 1: drivers of change - water quantity and quality. **Water SA**, Pretoria, v.36, n.3, p.351-360, Apr. 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S181679502010000300016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S181679502010000300016&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 03 Fev. 2019.
- MARENGO, Jose A.; OLIVEIRA, Gilvan S.; ALVES, Lincoln M. Climate Change Scenarios in the Pantanal. **The Handbook of Environmental Chemistry**, [s.l.], p.227-238, 2015. Springer International Publishing. [http://dx.doi.org/10.1007/698\\_2015\\_357](http://dx.doi.org/10.1007/698_2015_357).
- MATHEWS, Ruth; RICHTER, Brian D. Application of the Indicators of Hydrologic Alteration Software in Environmental Flow Setting1. **Jawra Journal of The American Water Resources Association**, [s.l.], v. 43, n. 6, p.1400-1413, 16 ago. 2007. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1752-1688.2007.00099.x>.
- MITTAL, N.; MISHRA, A.; SINGH, R.; BHAVE, A. G.; van der VALK, M. Flow regime alteration due to anthropogenic and climatic changes in the Kangsabati River, India. **Ecohydrology &**

**Hydrobiology**, [s.l.], v. 14, n. 3, p.182-191, 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecohyd.2014.06.002>.

MORCH, R. B.; CORREIA, A. de B.; LEITE, A. L. da S.; BUENO, C. R.; COGAN, S. A Estratégia de Mercado das Geradoras Hidrelétricas: Uma Análise à luz da Teoria das Restrições. **Revista Eletrônica de Gestão Organizacional**. [s.l.], v. 07, n. 03, p. 331-347, set/dez. 2009. ISSN 1679-1827.

MOREIRA, J. M. L.; CESARETTI, M. A.; CARAJILESCOV, P.; MAIORINO, J. R. Sustainability deterioration of electricity generation in Brazil. **Energy Policy**, [s.l.], v. 87, p.334-346, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2015.09.021>.

MOURA, Sandra Maria Lopes de; KASHIWAQUI, Elaine Antoniassi Luiz; HAHN, Norma Segatti. Effects of impoundment on the body condition of fish in the Manso reservoir, Mato Grosso State, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [s.l.], v. 26, n. 4, p.335-346, dez. 2014. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s2179-975x2014000400002>.

OLDEN, J. D.; POFF, N. L. Redundancy and the choice of hydrologic indices for characterizing streamflow regimes. **River Research and Applications**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.101-121, 2003. Wiley-Blackwell.

OLIVEIRA, M. T.; DAMASCENO-JUNIOR, G. A.; POTT, A.; PARANHOS FILHO, A. C.; SUAREZ, Y. R.; PAROLIN, P. Regeneration of riparian forests of the Brazilian Pantanal under flood and fire influence. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 331, p.256-263, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.08.011>.

OMETTO, J. P.; CIMBLERIS, A. C. P.; DOS SANTOS, M. A.; ROSA, L. P.; ABE, D.; TUNDISI, J. G.; STECH, J. L.; BARROS, N.; ROLAND, F. Carbon emission as a function of energy generation in hydroelectric reservoirs in Brazilian dry tropical biome. **Energy Policy**, [s.l.], v. 58, p.109-116, jul. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.02.041>.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA – ONS. **Inventário das Restrições Operativas Hidráulicas dos Aproveitamentos Hidrelétricos**. DDP-REL – 0046/2016 Disponível em: [http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id\\_arq=14709](http://www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=14709). Acesso em: 04 mai. 2018.

PADOVANI, Carlos Roberto. Monitoramento e sistema de alerta de inundações do Pantanal: proposta e resultados preliminares. In: 2º - Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos SIBRADEN, 2., 2007, Santos. **Anais [...]**. Santos: SIBRADEN, 2007.

PADOVANI, Carlos Alberto. **Dinâmica espaço-temporal das inundações do Pantanal**. 2010. 174 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ecologia Aplicada, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

PADOVANI, Carlos Roberto. **Conversão da vegetação natural do Pantanal para uso antrópico de 1976 até 2017 e projeção para 2050**. Comunicado Técnico – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, EMBRAPA, nº109, ISSN 1981-7231, 6 p., 2017.

PAES, Rafael Pedrollo de; BRANDÃO, João Luiz Boccia. Flood Control in the Cuiabá River Basin, Brazil, with Multipurpose Reservoir Operation. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 27, n. 11, p.3929-3944, 7 ago. 2013. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0388-y>.

PAIVA, R.C.D., BUARQUE, D.C., COLLISCHONN, W., BONNET, M.-P., FRAPPART, F., CALMANT, S., BULHÕES MENDES, C.A., Large-scale hydrologic and hydrodynamic modeling of the Amazon River basin. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 49, n. 3, p.1226-1243, mar. 2013. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1002/wrcr.20067>.

PAZ, Adriano Rolim da. **Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação**. 2010. 235 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PAZ, A. R. da; COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M.; BATES, P. D.; BAUGH, C. Large-scale modelling of channel flow and floodplain inundation dynamics and its application to the Pantanal (Brazil). **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 25, n. 9, p.1498-1516, 2011. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7926>.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; BRAVO, J. M.; BATES, P. D.; BAUGH, C. The influence of vertical water balance on modelling Pantanal (Brazil) spatio-temporal inundation dynamics. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 28, n. 10, p.3539-3553, 2014. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.9897>.

PAZ, Adriano Rolim da; COLLISCHONN, Walter; TUCCI, Carlos. Simulação Hidrológica de Rios com Grandes Planícies de Inundação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 15, n. 4, p.31-43, 2010. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH.

PFEIFFER, Madlene; IONITA, Monica. Assessment of Hydrologic Alterations in Elbe and Rhine Rivers, Germany. **Water**, [s.l.], v. 9, n. 9, 18 p., 8 set. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w9090684>.

PINHO, João Batista de; MARINI, Miguel Ângelo. Using birds to set conservation priorities for Pantanal wetland forests, Brazil. **Bird Conservation International**, [s.l.], v. 22, n. 02, p.155-169, 26 set. 2011. Cambridge University Press (CUP). <http://dx.doi.org/10.1017/s0959270911000207>.

POFF, N. Leroy; WARD, J. V. Implications of Streamflow Variability and Predictability for Lotic Community Structure: A Regional Analysis of Streamflow Patterns. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, [s.l.], v. 46, n. 10, p.1805-1818, out. 1989. Canadian Science Publishing. <http://dx.doi.org/10.1139/f89-228>.

POMPEU, Paulo dos S.; MARTINEZ, Carlos B.. Variações temporais na passagem de peixes pelo elevador da Usina Hidrelétrica de Santa Clara, rio Mucuri, leste brasileiro. **Revista Brasileira de Zoologia**, [s.l.], v. 23, n. 2, p.340-349, jun. 2006. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-81752006000200005>.

PONTES, Paulo Rógenes Monteiro. **Modelagem Hidrológica e Hidrodinâmica Integrada da Bacia do Rio Da Prata**. 2016. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

PONTES, P. R. M.; FAN, F. M.; FLEISCHMANNA, A. S.; PAIVA, R. C. D.; BUARQUE, D. C.; SIQUEIRA, V. A.; JARDIM, P. F.; SORRIBAS, M. V.; COLLISCHONN, W. MGB-IPH model for hydrological and hydraulic simulation of large floodplain river systems coupled with open source GIS. **Environmental Modelling & Software**, [s.l.], v. 94, p.1-20, ago. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.03.029>.

PRINGLE, Catherine M.; FREEMAN, Mary C.; FREEMAN, Byron J.. Regional Effects of Hydrologic Alterations on Riverine Macrobiota in the New World: Tropical-Temperate Comparisons. **Bioscience**, [s.l.], v. 50, n. 9, p.807-823, 2000. Oxford University Press (OUP). [http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568\(2000\)050\[0807:reohao\]2.0.co;2](http://dx.doi.org/10.1641/0006-3568(2000)050[0807:reohao]2.0.co;2).

QUIRÓS, R.; BECHARA, J. A.; RESENDE, E. K. de. Fish diversity and ecology, habitats and fisheries for the un-dammed riverine axis Paraguay-Parana-Rio de la Plata (Southern South

- America). **Aquatic Ecosystem Health & Management**, [s.l.], v. 10, n. 2, p.187-200, 8 jun. 2007. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14634980701354761>.
- REMO, J. W. F.; ICKES, B. S.; RYHERD, J. K.; GUIDA, R. J.; THERRELL, M. D. Assessing the impacts of dams and levees on the hydrologic record of the Middle and Lower Mississippi River, USA. **Geomorphology**, [s.l.], v. 313, p.88-100, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.01.004>.
- RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; POWELL, J.; BRAUN, D. P. A Method for Assessing Hydrologic Alteration within Ecosystems. **Conservation Biology**, [s.l.], v. 10, n. 4, p.1163-1174, ago. 1996. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1523-1739.1996.10041163.x>.
- RICHTER, B. D.; BAUMGARTNER, J. V.; WIGINGTON, R.; BRAUN, D. P. How much water does a river need? **Freshwater Biology**, [s.l.], v. 37, n. 1, p.231-249, fev. 1997. Wiley-Blackwell. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2427.1997.00153.x>.
- RYO, M.; IWASAKI, Y.; YOSHIMURA, C.; OLIVER, C.; SAAVEDRA, V. Evaluation of Spatial Pattern of Altered Flow Regimes on a River Network Using a Distributed Hydrological Model. **Plos One**, [s.l.], v. 10, n. 7, 16 p., 24 jul. 2015. Public Library of Science (PLOS). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0133833>.
- SABINO, A. A.; PAES, R. P.; FANTIN-CRUZ, I.; SILVA, A. R. C. B.; MARCHETTO, M. Efeitos hidrológicos da operação da PCH São Lourenço no regime hidrológico do rio São Lourenço. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 22., 2017, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. p. 1 - 8.
- SANTOS, Cledeilson; SOUZA, Christopher. Efeitos da cascata de reservatórios sobre a variabilidade natural de vazões: o caso do rio Paraná em Porto Primavera. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.698-707, 2015. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH.
- SANTOS, M. O.; BARRETO, I. D. C.; SILVA, I. M. L.; STOSIC, T. Avaliação das alterações hidrológicas da bacia do rio São Francisco causadas pela construção da usina hidrelétrica de Sobradinho. **Scientia Plena**, [s.l.], v. 13, n. 11, 14 dez. 2017. Associação Sergipana de Ciência. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2017.110202>.
- SARAIVA, Blenda Araújo. **Modelo Hidrodinâmico para Planícies de Inundação da Região Amazônica**. 2007. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- SAYAMA, T.; OZAWA, G.; TAWAKAMI, T.; NABESAKA, S.; FUKAMI, K. Rainfall-runoff-inundation analysis of the 2010 Pakistan flood in the Kabul River basin. **Hydrological Sciences Journal**, [s.l.], v. 57, n. 2, p.298-312, fev. 2012. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2011.644245>.
- SEIDL, Andrew F; SILVA, Joao dos Santos Vila de; MORAES, Andre Steffens. Cattle ranching and deforestation in the Brazilian Pantanal. **Ecological Economics**, [s.l.], v. 36, n. 3, p.413-425, mar. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0921-8009\(00\)00238-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0921-8009(00)00238-x).
- SHIAU, Jenq-tzong; WU, Fu-chun. A Histogram Matching Approach for assessment of flow regime alteration: application to environmental flow optimization. **River Research and Applications**, [s.l.], v. 24, n. 7, p.914-928, set. 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/rra.1102>.
- SILIO-CALZADA, A.; BARQUÍN, J.; HUSZAR, V. L. M.; MAZZEO, N.; MÉNDEZ, F.; ÁLVAREZ-MARTÍNEZ, J. M. Long-term dynamics of a floodplain shallow lake in the Pantanal wetland: Is it all about climate?. **Science Of The Total Environment**, [s.l.], v. 605-606, p.527-540, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.183>.

- SILVA, Carolina Joana da; GIRARD, Pierre. New challenges in the management of the Brazilian Pantanal and catchment area. **Wetlands Ecology and Management**, [s.l.], v. 12, n. 6, p.553-561, dez. 2004. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11273-005-1755-0>.
- SOJKA, M.; JASKUŁA, J.; WICHER-DYSARZ, J.; DYSARZ, T. THE IMPACT OF THE KOWALSKIE RESERVOIR ON THE HYDROLOGICAL REGIME ALTERATION OF THE GŁÓWNA RIVER. **Journal of Ecological Engineering**, [s.l.], v. 17, n. 4, p.91-98, 2016. Wydawnictwo Naukowe Gabriel Borowski (WNGB). <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/63886>.
- SONG, S.; XU, Y. P.; ZHANG, J. X.; LI, G.; WANG, Y. F. The long-term water level dynamics during urbanization in plain catchment in Yangtze River Delta. **Agricultural Water Management**, [s.l.], v. 174, p.93-102, ago. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2016.01.010>.
- SONG, X.; ZHUANG, Y.; WANG, X.; LI, E. Combined Effect of Danjiangkou Reservoir and Cascade Reservoirs on Hydrologic Regime Downstream. **Journal of Hydrologic Engineering**, [s.l.], v. 23, n. 6, 12 p., jun. 2018. American Society of Civil Engineers (ASCE). [http://dx.doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0001660](http://dx.doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0001660).
- SOUZA, Antonio Carlos Caetano de. Assessment and statistics of Brazilian hydroelectric power plants: Dam areas versus installed and firm power. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 12, n. 7, p.1843-1863, set. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2007.04.005>.
- SOUZA FILHO, Edvard Elias. As barragens na bacia do rio Paraguai e a possível influência sobre a descarga fluvial e o transporte de sedimentos. **Boletim de Geografia**, [s.l.], v. 31, n. 1, p.117-133, 21 dez. 2012. Universidade Estadual de Maringá.
- SOUZA, C. F. ; COLLISCHONN, W. ; TUCCI, C. E. M. ; ARTHINGTON, A. H. . Preliminary assessment of dam hydrological effects in the brazilian Pantanal. In: International Conference of Science and Information Technologies for Sustainable Management of Aquatic Ecosystems, 2009, Concepción. **Anais...** 2009.
- SUÁREZ, Y. R.; PETRERE JUNIOR, M.; CATELLA, A. C. Factors determining the structure of fish communities in Pantanal lagoons (MS, Brazil). **Fisheries Management and Ecology**, [s.l.], v. 8, n. 2, p.173-186, abr. 2001. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2400.2001.00236.x>.
- SUN, T.; FENG, M.I. MULTISTAGE ANALYSIS OF HYDROLOGIC ALTERATIONS IN THE YELLOW RIVER, CHINA. **River Research and Applications**, [s.l.], v. 29, n. 0, p.991-1003, 2013. Wiley-Blackwell.
- TALUKDAR, Swapan; PAL, Swades. Impact of dam on inundation regime of flood plain wetland of punarhaba river basin of barind tract of Indo-Bangladesh. **International Soil And Water Conservation Research**, [s.l.], v. 5, n. 2, p.109-121, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.003>.
- THE NATURE CONSERVANCY, 2006. **Indicators of Hydrologic Alteration**. Version 7. Manual do usuário. Disponível em: <http://www.nature.org/initiatives/freshwater/files/IHAv7.pdf>. Acesso em 02 abr. 2018.
- TIMPE, Kelsie; KAPLAN, David. The changing hydrology of a dammed Amazon. **Science Advances**, [s.l.], v. 3, n. 11, nov. 2017. American Association for the Advancement of Science, 14 p. <http://dx.doi.org/10.1126/sciadv.1700611>.
- TUCCI, C.E.M. 1998. **Modelos Hidrológicos**. Editora da UFRGS, 2ª edição, Porto Alegre (RS), 678 p.



TUCCI, C.E.M.; VILLANUEVA, A.; COLLISCHONN, W.; ALLASIA, D.G.; BRAVO, J.; COLLISCHONN, B. 2005. **Projeto de Implementação de Práticas de Gerenciamento Integrado de Bacia Hidrográfica para o Pantanal e Bacia do Alto Paraguai, Subprojeto 5.4 – Modelo Integrado de Gerenciamento Hidrológico da Bacia do Alto Paraguai**, ANA/GEF/PNUMA/OEA, Porto Alegre (RS), 554 p.

VASCO, Anderson Nascimento do. **Indicadores de alteração hidrológica: o declínio das vazões no baixo Rio São Francisco**. 2015. 139 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2015.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: Mcgraw Hill, 1975. 250p

VOGEL, R. M.; SIEBER, J.; ARCHFIELD, S. A.; SMITH, M. P.; APSE, C. D.; HUBER-LEE, A. Relations among storage, yield, and instream flow. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 43, n. 5, maio 2007. American Geophysical Union (AGU). <http://dx.doi.org/10.1029/2006wr005226>.

WANG, H.; CHEN, Y.; DENG, H.; PAN, Y. Detecting changes in extreme streamflow in the Tarim River, Northwest China. **Quaternary International**, [s.l.], v. 380-381, p.149-158, set. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.048>.

WANG, Y.; ZHANG, N.; WANG, D.; WU, J.; ZHANG, X. Investigating the impacts of cascade hydropower development on the natural flow regime in the Yangtze River, China. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 624, p.1187-1194, maio 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.212>

WANTZEN, K. M.; DRAGO, E. & DA SILVA, C. J. 2005. Aquatic habitats of the Upper Paraguay river-floodplain-system and parts of the Pantanal (Brazil). **Ecohydrology & Hydrobiology** 6(2):107-126.

WWF-Brasil, Instituto SOS Pantanal. 2015. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do solo na bacia do alto Paraguai - Porção brasileira** - Período de análise: 2012 a 2014. Brasília. 66 p. ISBN: 978-85-5574-007-7.

XU, Z.; YIN, X.; SUN, T.; CAI, Y.; DING, Y.; YANG, W.; YANG, Z. Labyrinths in large reservoirs: An invisible barrier to fish migration and the solution through reservoir operation. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 53, n. 1, p.817-831, jan. 2017. Wiley-Blackwell.

XUE, L.; ZHANG, H.; YANG, C.; ZHANG, L.; SUN, C. Quantitative Assessment of Hydrological Alteration Caused by Irrigation Projects in the Tarim River basin, China. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 7, n. 1, 27 jun. 2017. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-017-04583-y>.

YAGHMAEI, H.; SADEGHI, S. H.; MORADI, H.; GHOLAMALIFARD, M. Effect of Dam operation on monthly and annual trends of flow discharge in the Qom Rood Watershed, Iran. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 557, p.254-264, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.12.039>

YANG, T.; CUI, T.; XU, C-Y.; CIAIS, P.; SHI, P. Development of a new IHA method for impact assessment of climate change on flow regime. **Global and Planetary Change**, [s.l.], v. 156, p.68-79, set. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.07.006>.

YOUNG, Paciencia S.; CECH, Joseph J.; THOMPSON, Lisa C.. Hydropower-related pulsed-flow impacts on stream fishes: a brief review, conceptual model, knowledge gaps, and research needs. **Reviews in Fish Biology And Fisheries**, [s.l.], v. 21, n. 4, p.713-731, 9 abr. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11160-011-9211-0>.

YU, Chunxue; YIN, Xin'an; YANG, Zhifeng. A revised range of variability approach for the comprehensive assessment of the alteration of flow regime. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 96, p.200-207, nov. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.12.001>.

ZANATTA, Silvia; MACIEL, Josemar; ZANATTA, Jacir. Represas na Bacia do Alto Paraguai (BAP): uma ameaça para comunidades tradicionais pantaneiras. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE DIREITOS HUMANOS, 13., 2016, Campo Grande. **Anais [...]**. p. 1 - 15. Disponível em: <[https://cidhsite.files.wordpress.com/2017/05/ar\\_gt2\\_15.pdf](https://cidhsite.files.wordpress.com/2017/05/ar_gt2_15.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2018.

ZANI, Hiran. **Mudanças morfológicas na evolução do megaleque do Taquari: uma análise baseada em dados orbitais**. Dissertação de Mestrado (Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP, Rio Claro-SP, 2008, 85p.

ZEILHOFER, P.; DOS SANTOS, E. S.; RIBEIRO, A. LM; MIYAZAKI, R. D.; DOS SANTOS, M. A. Habitat suitability mapping of *Anopheles darlingi* in the surroundings of the Manso hydropower plant reservoir, Mato Grosso, Central Brazil. **International Journal of Health Geographics**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.7-21, 2007. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072x-6-7>.

ZEILHOFER, Peter; MOURA, Rubem Mauro de. Hydrological changes in the northern Pantanal caused by the Manso dam: Impact analysis and suggestions for mitigation. **Ecological Engineering**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.105-117, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.09.011>.

ZERLOTTI, P.; SANTANA, S.; CALHEIROS, D. **Hidrelétricas na Bacia o Alto Paraguai**. Campo Grande, MS: ECOA, 2011, 32p. - Coleção: Cenários Pantaneiros - ISBN 978-85-89621-08-3 ISBN 78-85-89621-07-6coleção. Disponível em: [http://www.riosvivos.org.br/arquivos/site\\_noticias\\_1638087271.pdf](http://www.riosvivos.org.br/arquivos/site_noticias_1638087271.pdf) . Acesso em 04 abr. 2018

ZHANG, Q.; GU, X.; SINGH, V. P.; CHEN, X. Evaluation of ecological instream flow using multiple ecological indicators with consideration of hydrological alterations. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 529, p.711-722, out. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.066>.

ZHANG, N.; HE, H.; ZHANG, S.; JIANG, X.; HUANG, F. Influence of Reservoir Operation in the Upper Reaches of the Yangtze River (China) on the Inflow and Outflow Regime of the TGR-based on the Improved SWAT Model. **Water Resources Management**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.691-705, 3 nov. 2011. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-011-9939-2>.

ZHANG, Q.; XIAO, M.; LIU, C-L; SINGH, V. P. Reservoir-induced hydrological alterations and environmental flow variation in the East River, the Pearl River basin, China. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, [s.l.], v. 28, n. 8, p.2119-2131, 10 maio 2014. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s00477-014-0893-4>.

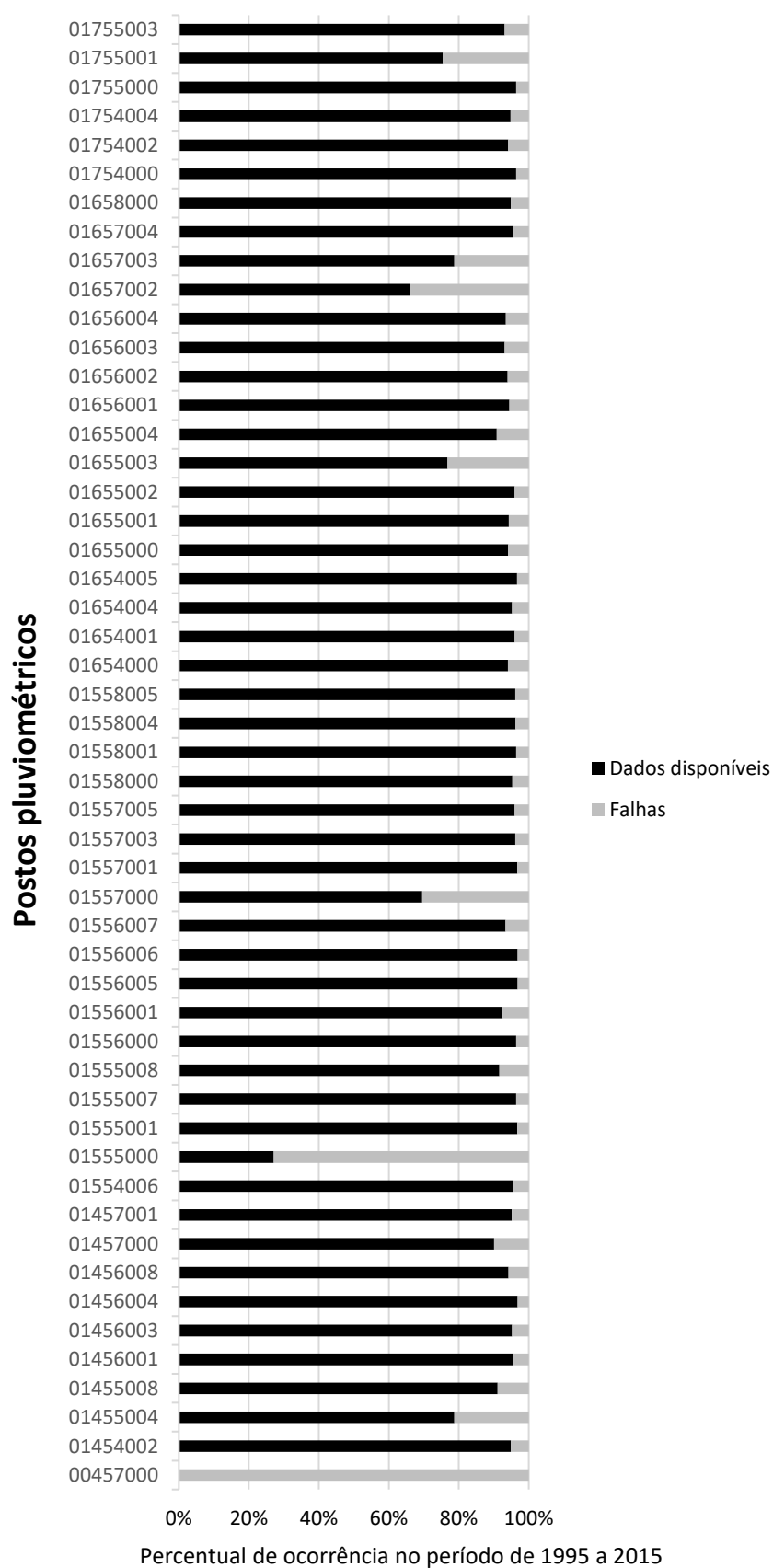
ZHANG, Q.; XU, C-Y; CHEN, Y. D.; YANG, T. Spatial assessment of hydrologic alteration across the Pearl River Delta, China, and possible underlying causes. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 23, n. 11, p.1565-1574, 30 maio 2009. Wiley-Blackwell.

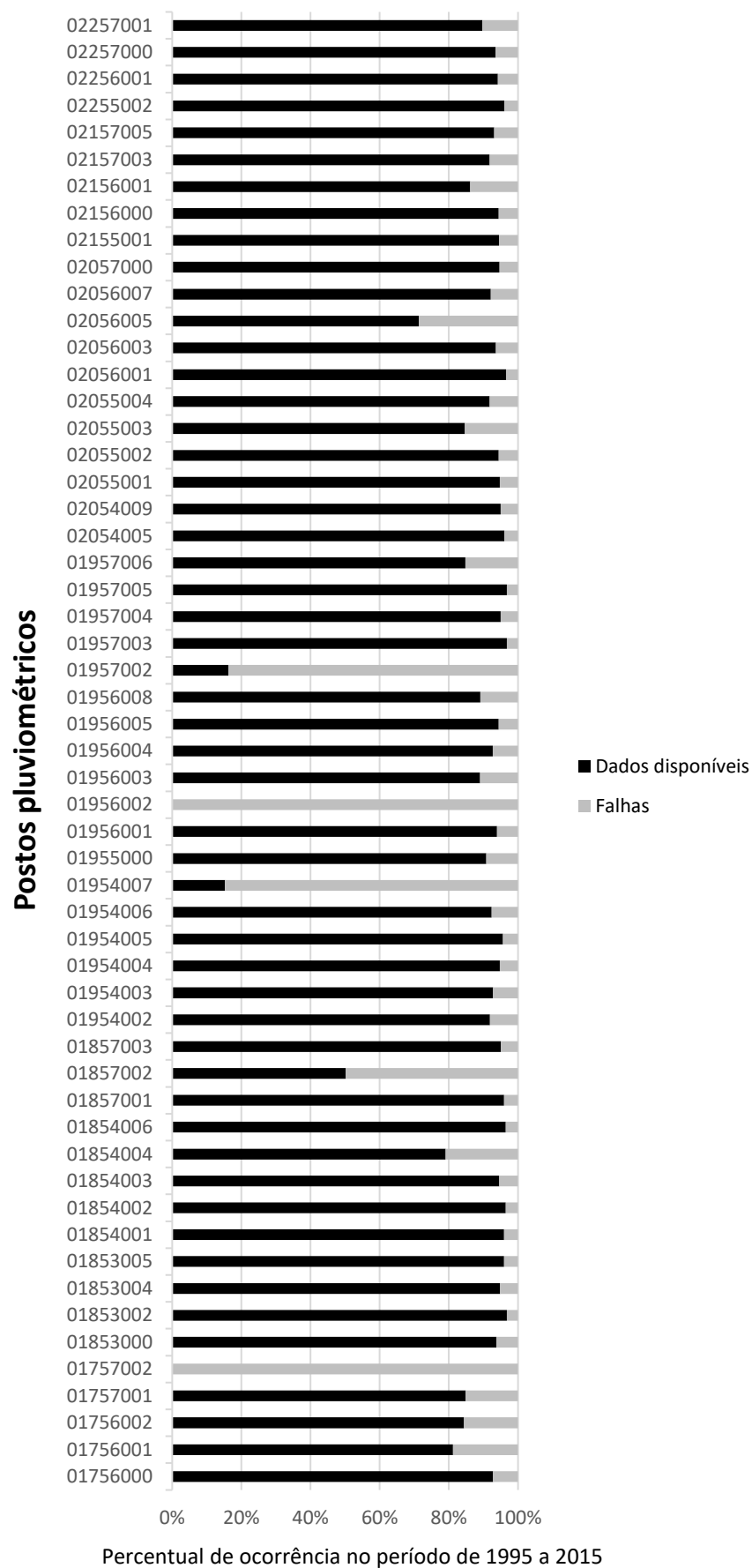
ZHANG, Q.; ZHANG, Z.; SHI, P.; SINGH, V. P.; GU, X. Evaluation of ecological instream flow considering hydrological alterations in the Yellow River basin, China. **Global and Planetary Change**, [s.l.], v. 160, p.61-74, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloplacha.2017.11.012>.

ZHAO, Q.; LIU, S.; DENG, L.; DONG, S.; CONG; WANG; YANG, Z.; YANG, J. LANDSCAPE change and hydrologic alteration associated with dam construction. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s.l.], v. 16, p.17-26, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2011.11.009>.

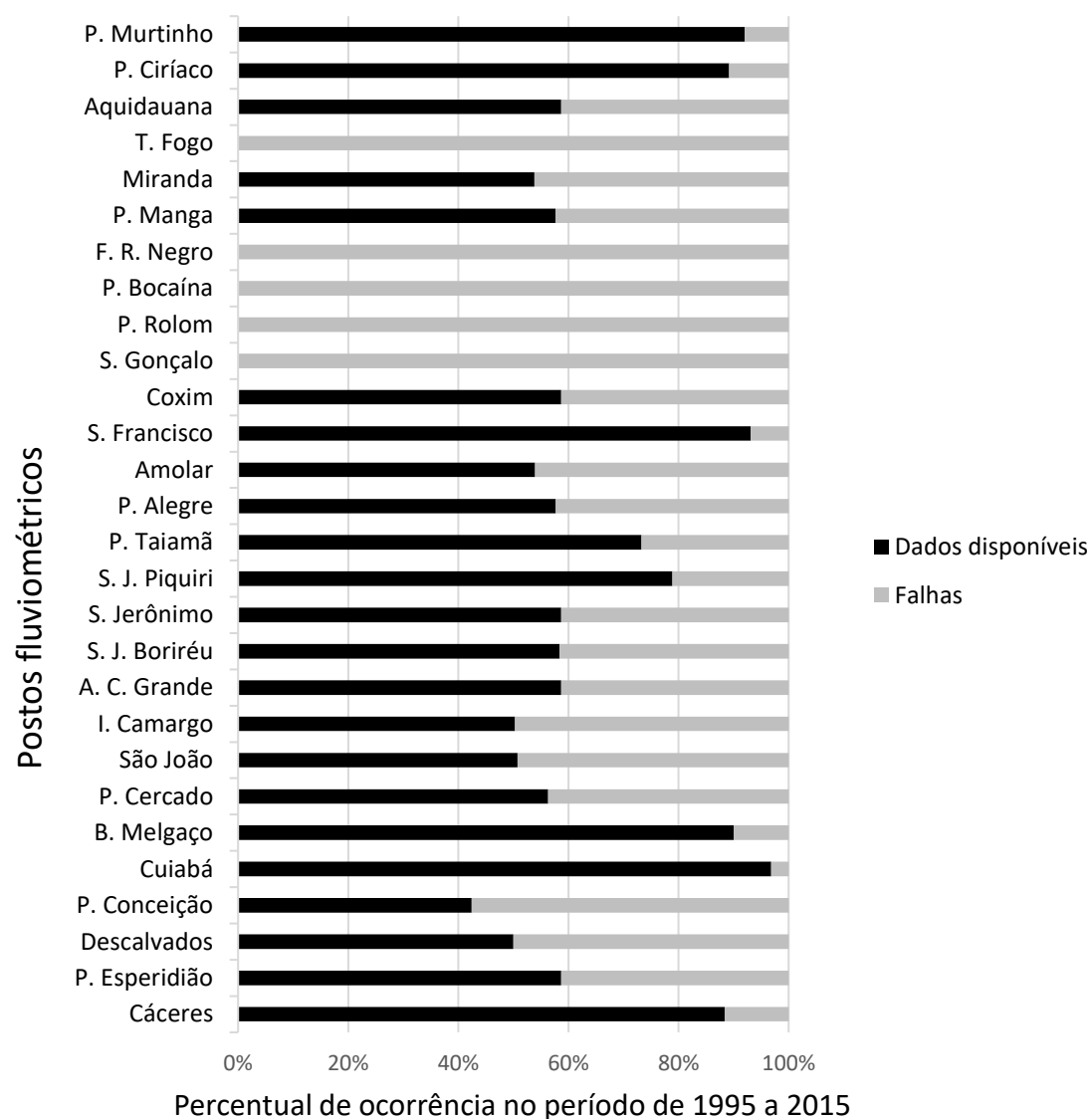
## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A – Percentual de dados disponíveis para os postos pluviométricos considerados





## APÊNDICE B – Percentual de dados disponíveis para os postos fluviométricos considerados



**APÊNDICE C:** Vazão média mensal para os cenários Pré-impacto (sem a UHE Manso) e Pós-impacto (com a UHE Manso)

Mês	Rio Cuiabá							Rio Paraguai						
	Cuiaba	B. Melgaço	P. Cercado	S. João	I. Camargo	P. Taimã	P. Alegre	Cáceres	Descalvados	P. Conceição	Amolar	S. Francisco	P. Manga	P. Murtinho
Janeiro	615	582	380	277	300	835	793	664	670	502	1184	1272	1506	1653
	511	509	354	271	297	836	796	664	670	502	1186	1274	1508	1656
Fevereiro	798	733	467	354	406	998	891	903	840	544	1274	1370	1616	1825
	668	654	433	333	379	985	884	903	840	544	1270	1365	1611	1820
Março	780	783	537	410	489	1111	967	1089	1006	575	1379	1486	1740	2024
	698	711	496	387	455	1092	956	1089	1006	575	1373	1480	1733	2018
Abril	493	555	507	426	521	1144	1016	922	993	572	1548	1681	1942	2265
	477	529	473	402	486	1123	999	922	993	573	1535	1666	1927	2252
Maio	222	262	357	367	455	1023	977	597	774	525	1704	1882	2166	2506
	247	279	354	355	435	1006	960	597	774	526	1679	1850	2135	2479
Junho	160	175	240	280	339	851	868	466	594	477	1756	1989	2297	2674
	199	211	263	284	341	849	863	466	594	477	1731	1952	2260	2639
Julho	127	133	169	209	241	688	718	371	480	434	1647	1887	2188	2578
	179	183	212	228	264	704	732	371	480	435	1635	1862	2162	2548
Agosto	110	112	127	153	164	560	575	306	398	386	1424	1627	1903	2236
	167	168	181	191	208	598	614	306	398	386	1437	1632	1907	2233
Setembro	113	113	117	124	126	488	494	265	347	346	1178	1326	1572	1808
	168	168	171	169	176	535	541	265	347	346	1208	1353	1598	1831
Outubro	158	156	148	132	132	493	494	276	351	345	1040	1154	1387	1561
	199	197	189	167	171	530	531	276	351	345	1068	1180	1413	1588
Novembro	264	259	219	162	162	574	572	380	447	413	1004	1090	1316	1458
	271	270	238	187	192	600	598	380	447	413	1025	1109	1335	1478
Dezembro	468	460	317	217	225	714	699	528	561	462	1088	1170	1395	1526
	398	406	305	228	243	728	713	528	561	462	1099	1181	1406	1539

■ Pré-impacto (sem a UHE Manso)

■ Pós-impacto (com a UHE Manso)

**APÊNDICE D: ANÁLISE I - Impacto de Manso - Resultados para IHA, RVA (categoria central) e RVA\_LT**

Rio Cuiabá																					
	Cuiabá			B. Melgaço			P. Cercado			S. João			I. Camargo			P. Taiamã			P. Alegre		
	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT
Nov.	18%	-100%	-100%	18%	-80%	-80%	15%	-100%	-100%	22%	-100%	-100%	23%	-100%	-100%	7%	-20%	-20%	7%	20%	20%
Dez.	-3%	100%	38%	2%	80%	38%	3%	20%	17%	19%	-100%	-100%	26%	-100%	-100%	7%	-20%	-33%	10%	-20%	-33%
Jan.	-16%	20%	20%	-18%	0%	20%	-7%	-40%	-20%	-1%	80%	43%	4%	60%	14%	2%	0%	0%	1%	0%	0%
Fev.	-24%	-40%	-40%	-17%	-60%	-60%	-10%	-60%	-60%	-4%	40%	40%	-5%	40%	40%	-1%	-40%	-17%	-1%	-40%	0%
Mar.	-13%	40%	40%	-7%	20%	25%	-9%	40%	60%	-7%	0%	20%	-9%	-20%	0%	-2%	0%	0%	-1%	-20%	0%
Abr.	5%	20%	20%	-9%	-40%	0%	-8%	0%	0%	-6%	0%	0%	-7%	-20%	-20%	-2%	20%	17%	-2%	40%	33%
Mai.	20%	-40%	-40%	22%	0%	0%	-3%	20%	17%	-4%	-20%	-17%	-5%	0%	0%	-3%	20%	40%	-2%	20%	20%
Jun.	42%	-100%	-100%	36%	-60%	-60%	8%	-20%	-20%	2%	40%	14%	-1%	20%	33%	0%	0%	20%	-1%	40%	17%
Jul.	55%	-100%	-100%	47%	-100%	-100%	32%	-80%	-80%	8%	0%	0%	8%	0%	0%	1%	-40%	-40%	2%	-20%	-20%
Ago.	78%	-100%	-100%	77%	-100%	-100%	56%	-100%	-100%	19%	-80%	-80%	22%	-80%	-80%	5%	-20%	-20%	4%	0%	0%
Set.	81%	-100%	-100%	78%	-100%	-100%	75%	-100%	-100%	55%	-100%	-100%	61%	-100%	-100%	15%	-60%	-60%	14%	-60%	-60%
Out.	63%	-100%	-100%	63%	-100%	-100%	55%	-100%	-100%	46%	-100%	-100%	47%	-100%	-100%	13%	-60%	-60%	11%	-60%	-40%
Mín. 1 dia	102%	-100%	-100%	103%	-100%	-100%	107%	-100%	-100%	89%	-100%	-100%	84%	-100%	-100%	12%	-60%	-67%	10%	-60%	-67%
Mín. 3 dias	103%	-100%	-100%	102%	-100%	-100%	98%	-100%	-100%	87%	-100%	-100%	85%	-100%	-100%	12%	-60%	-67%	11%	-60%	-67%
Mín. 7 dias	102%	-100%	-100%	100%	-100%	-100%	97%	-100%	-100%	80%	-100%	-100%	83%	-100%	-100%	13%	-60%	-60%	12%	-60%	-60%
Mín. 30 dias	95%	-100%	-100%	95%	-100%	-100%	82%	-100%	-100%	62%	-100%	-100%	62%	-100%	-100%	12%	-60%	-60%	11%	-60%	-60%
Mín. de 90 dias	74%	-100%	-100%	76%	-100%	-100%	64%	-100%	-100%	42%	-100%	-100%	45%	-100%	-100%	10%	-60%	-60%	9%	-40%	-40%
Máx. 1 dia	-22%	-20%	-13%	-8%	-20%	0%	-11%	0%	20%	-6%	20%	20%	-7%	0%	0%	-2%	0%	20%	-2%	20%	33%
Máx. 3 dias	-22%	-20%	0%	-8%	-20%	0%	-11%	0%	20%	-6%	20%	20%	-8%	0%	0%	-2%	0%	40%	-2%	20%	33%
Máx.7 dias	-12%	-20%	-17%	-8%	0%	33%	-11%	0%	20%	-6%	20%	20%	-8%	20%	20%	-2%	20%	40%	-2%	20%	14%
Máx. 30 dias	-14%	20%	20%	-5%	0%	-20%	-10%	0%	20%	-7%	20%	40%	-8%	20%	20%	-2%	20%	40%	-2%	40%	33%
Máx. 90 dias	-18%	40%	40%	-9%	20%	20%	-9%	40%	40%	-7%	0%	40%	-9%	-20%	0%	-2%	20%	0%	-2%	-40%	0%
IEB	103%	-100%	-100%	92%	-100%	-100%	73%	-100%	-100%	68%	-100%	-100%	68%	-100%	-100%	12%	-80%	-80%	15%	-40%	-40%
Data mín.	0%	80%	29%	1%	33%	14%	-4%	100%	100%	1%	40%	40%	1%	20%	20%	1%	40%	40%	1%	40%	40%
Data máx.	-20%	-20%	-29%	-19%	-20%	-20%	-15%	-40%	-17%	-18%	-50%	-43%	-17%	-40%	-17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nº baixos pulsos	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	0%	-29%	-29%	0%	-29%	-29%
Dur. baixos pulsos	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-71%	-100%	-100%	-100%	-100%	-100%	-86%	-100%	-100%	-71%	-59%	-80%	-60%	-55%	-40%	-40%
Nº altos pulsos	0%	43%	43%	-50%	-14%	29%	0%	10%	10%	0%	0%	0%	0%	-8%	-8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dur. altos pulsos	-59%	-40%	-40%	13%	40%	14%	-1%	0%	40%	-11%	-40%	-40%	-13%	-80%	-80%	-7%	25%	0%	-3%	25%	0%
Tx ascensão	-6%	-20%	-20%	-13%	-60%	-60%	-29%	-80%	-67%	-35%	-100%	-100%	-23%	-80%	-50%	-6%	-40%	-20%	-8%	0%	17%
Tx recessão	-39%	-80%	-80%	-39%	-100%	-100%	-40%	-100%	-100%	-52%	-80%	-80%	-37%	-100%	-100%	-16%	-60%	-60%	-17%	-60%	-60%
Nº reversões	5%	0%	0%	18%	0%	17%	8%	-17%	-17%	0%	-33%	-33%	18%	-33%	-33%	5%	-20%	-20%	3%	0%	0%



# Rio Paraguai

	Descalvados			P. Conceição			Amolar			S. Francisco			P. Manga			P. Murtinho		
	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT
Nov.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	-40%	-20%	3%	-20%	-20%	3%	-20%	-20%	3%	20%	17%
Dez.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	-1%	0%	0%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%
Jan.	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	0%	0%
Fev.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	0%	-20%	0%	0%	-20%	0%	-1%	0%	0%
Mar.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-20%	0%
Abr.	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	-20%	-17%	0%	-40%	0%	-1%	-20%	0%	-1%	0%	0%
Mai.	0%	0%	0%	0%	20%	0%	-2%	20%	0%	-2%	0%	0%	0%	-20%	0%	0%	0%	0%
Jun.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	0%	0%	-2%	20%	20%	-1%	0%	0%	-2%	20%	0%
Jul.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	0%	0%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	0%
Ago.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	4%	-20%	0%	4%	0%	0%	2%	-20%	0%	1%	-20%	0%
Set.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	-20%	-20%	2%	-20%	-20%	2%	-20%	-20%	1%	0%	-17%
Out.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	0%	0%	2%	-20%	0%	2%	-20%	20%	1%	0%	-17%
Mín. 1 dia	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	2%	-20%	0%	1%	0%	0%	2%	0%	-29%
Mín. 3 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	-20%	-20%	2%	-20%	-20%	1%	0%	-17%	1%	0%	-17%
Mín. 7 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	-20%	-20%	2%	-20%	-20%	1%	0%	-17%	1%	0%	-17%
Mín. 30 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	-20%	-33%	2%	-20%	-33%	2%	0%	-17%	1%	0%	-17%
Mín. de 90 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	1%	0%	-17%	1%	0%	17%	1%	-20%	-33%
Máx. 1 dia	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	-2%	40%	20%	-2%	20%	0%	-1%	0%	0%	-2%	0%	0%
Máx. 3 dias	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	-2%	40%	20%	-2%	20%	0%	-1%	0%	0%	-2%	0%	0%
Máx.7 dias	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	-2%	40%	20%	-2%	20%	0%	-1%	0%	0%	-2%	0%	0%
Máx. 30 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-2%	40%	20%	-2%	20%	0%	-1%	0%	0%	-2%	0%	0%
Máx. 90 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	0%	0%	-1%	0%	0%	-1%	0%	0%	-1%	-20%	0%
IEB	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	4%	-40%	-50%	4%	-40%	-20%	3%	-60%	-40%	1%	-20%	-33%
Data mín.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	20%	20%	2%	20%	20%	1%	20%	20%	0%	-20%	-20%
Data máx.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-17%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nº baixos pulsos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	100%	0%	0%	-50%	-9%	-9%	0%	-13%	-13%
Dur. baixos pulsos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-22%	0%	0%	-23%	0%	0%	-50%	25%	20%	-9%	0%	0%
Nº altos pulsos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-9%	-9%	0%	-9%	-9%	0%	0%	0%
Dur. altos pulsos	0%	0%	0%	0%	-20%	0%	37%	-40%	-17%	2%	-40%	0%	0%	-20%	0%	-1%	0%	0%
Tx ascensão	0%	0%	0%	-1%	20%	0%	-8%	20%	20%	-12%	-60%	-33%	-6%	-40%	-33%	-3%	0%	0%
Tx recessão	0%	-20%	-20%	2%	-33%	-17%	-3%	20%	0%	-10%	0%	0%	-5%	0%	-14%	-7%	0%	0%
Nº reversões	0%	0%	0%	0%	20%	20%	9%	-29%	-29%	0%	-20%	-20%	7%	-17%	-17%	8%	-22%	-22%



**APÊNDICE E:** Vazão média mensal para os cenários Pré-impacto (apenas com a UHE de Manso) e Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos)

Mês	Rio Cuiabá						Rio Paraguai							
	Cuiabá	B. Melgaço	P. Cercado	S. João	I. Camargo	P. Taiamã	P. Alegre	Cáceres	Descalvados	P. Conceição	Amolar	S. Francisco	P. Manga	P. Murtinho
Janeiro	439,9	449,4	331,7	254,0	276,1	817,1	781,5	645,1	659,5	499,6	1172,7	1259,7	1475,0	1596,0
	436,7	446,8	330,5	252,5	274,2	816,1	780,7	640,7	656,0	498,6	1170,0	1256,6	1471,3	1592,2
Fevereiro	611,1	609,8	408,5	313,2	353,2	969,5	876,5	901,9	837,1	543,1	1263,4	1357,9	1586,0	1747,2
	607,8	608,3	407,5	312,2	351,7	969,1	876,1	896,1	834,0	542,5	1261,1	1355,2	1583,3	1744,3
Março	652,4	685,6	477,7	371,5	432,0	1078,7	947,3	1109,7	1016,9	577,6	1362,8	1467,7	1698,7	1902,6
	654,4	686,8	477,4	370,9	431,1	1078,5	947,0	1110,1	1015,4	577,3	1360,1	1464,6	1695,9	1899,8
Abril	494,4	544,9	471,0	396,0	474,7	1111,2	989,0	965,2	1019,0	578,6	1517,2	1643,0	1866,2	2089,5
	497,3	547,5	471,7	396,1	474,7	1111,5	988,9	970,0	1021,0	579,0	1514,1	1639,2	1862,8	2086,1
Maio	319,7	345,5	380,5	361,9	443,4	998,8	952,7	634,4	808,5	534,4	1660,8	1822,8	2041,7	2276,1
	320,7	346,5	381,3	362,4	444,1	998,8	952,7	638,5	811,6	535,0	1658,0	1819,0	2037,5	2272,1
Junho	263,0	274,1	305,5	305,2	368,4	858,9	867,2	477,9	612,2	483,7	1721,5	1930,6	2165,5	2415,8
	263,1	274,1	305,7	305,5	368,9	858,6	867,0	478,1	612,5	483,7	1719,8	1927,8	2162,2	2411,9
Julho	222,7	227,4	249,6	256,4	301,2	724,8	750,2	373,5	486,0	437,6	1640,4	1859,8	2095,0	2346,8
	222,1	226,9	249,2	256,4	301,3	723,5	749,0	372,0	483,7	436,2	1638,7	1857,4	2091,8	2343,4
Agosto	191,8	194,1	206,5	215,4	242,0	619,8	635,5	302,4	396,1	384,6	1454,7	1646,6	1874,6	2096,8
	190,7	192,9	205,5	215,0	241,6	617,4	633,1	300,0	392,3	381,7	1451,8	1643,4	1870,3	2092,5
Setembro	173,8	174,9	180,2	184,4	196,8	545,3	552,2	256,9	340,6	339,5	1221,0	1365,3	1577,2	1749,0
	172,6	173,7	179,0	183,7	196,0	542,4	549,2	254,1	336,5	335,6	1217,0	1360,9	1571,5	1743,4
Outubro	184,8	184,5	180,9	171,6	177,6	525,4	527,1	262,8	339,9	335,2	1066,7	1179,4	1384,8	1525,8
	182,5	182,3	179,0	170,7	176,5	522,8	524,4	258,0	334,7	330,6	1062,3	1174,7	1378,7	1519,7
Novembro	236,7	238,0	219,7	181,6	187,0	582,0	580,0	361,9	434,0	404,4	1008,3	1093,3	1297,4	1419,4
	233,5	234,9	217,7	180,3	185,4	580,1	578,2	355,5	428,9	401,1	1004,3	1089,0	1292,3	1414,2
Dezembro	352,1	360,3	284,6	215,3	227,9	709,6	696,2	508,3	549,4	457,2	1082,5	1163,5	1368,7	1479,0
	349,1	357,1	283,1	213,7	225,9	708,3	695,0	503,5	545,6	455,7	1079,1	1159,7	1364,4	1474,5

■ Pré-impacto (apenas com a UHE de Manso)

■ Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos)

Mês	Rio Jauru	Rio S. Lourenço		Rio Piquiri		Rio Taquari			Rio Negro		Rio Aquidauana		Rio Miranda	
	P. Espiridião	A. C. Grande	S. J. Borireu	S. Jerônimo	S. J. Piquiri	Coxim	S. Gonçalves	P. Rolom	P. Bocaína	F. R. Negro	Aquidauana	P. Ciriaco	Miranda	T. Fogo
Janeiro	125,9	448,3	318,7	348,9	359,8	342,0	318,5	211,1	45,3	25,1	106,3	98,1	75,1	77,5
	125,9	448,6	318,8	349,4	360,3	337,8	316,4	210,6	45,2	25,0	106,3	98,1	75,1	77,5
Fevereiro	168,4	570,8	369,5	440,1	483,6	377,4	353,6	220,7	47,7	29,3	116,4	104,5	80,1	85,0
	168,9	570,8	369,5	440,9	484,4	379,6	355,2	220,8	47,3	29,2	116,4	104,5	80,1	85,0
Março	188,2	576,0	380,0	465,4	569,7	387,4	353,9	221,1	54,0	35,1	153,4	109,1	72,6	79,1
	189,0	575,7	380,1	466,0	570,5	388,9	355,6	221,5	53,8	35,0	153,4	109,1	72,6	79,1
Abril	145,2	407,3	345,1	414,9	589,2	314,5	305,7	213,5	40,7	41,6	116,7	94,4	66,9	71,2
	145,4	407,6	345,4	415,4	589,7	319,0	309,6	214,4	40,8	41,6	116,7	94,4	66,9	71,2
Maio	106,2	250,3	254,8	297,1	466,1	264,6	262,5	202,4	38,6	42,2	79,3	80,8	66,0	63,7
	105,4	250,5	255,0	296,4	465,3	266,2	264,0	202,8	38,6	42,1	79,3	80,8	66,0	63,7
Junho	98,3	211,7	214,2	258,8	366,4	246,2	243,1	197,3	38,1	37,5	70,4	73,2	48,5	55,1
	97,3	211,6	214,1	257,8	365,4	247,0	244,3	197,6	38,2	37,5	70,4	73,2	48,5	55,1
Julho	89,2	183,6	185,7	228,8	276,3	226,4	225,3	191,7	34,7	31,6	61,6	61,2	52,3	45,3
	87,8	183,2	185,3	227,1	274,6	224,6	223,7	191,3	34,8	31,6	61,6	61,2	52,3	45,3
Agosto	83,8	160,3	162,3	211,5	228,6	218,1	216,2	188,2	34,0	26,6	51,0	52,1	36,7	37,9
	82,3	159,8	161,7	209,5	226,6	214,7	213,2	187,2	33,9	26,6	51,0	52,1	36,7	37,9
Setembro	80,3	147,1	148,1	200,5	205,2	210,6	209,3	185,5	32,9	22,7	48,0	48,1	27,7	28,5
	79,0	146,6	147,6	198,7	203,3	206,1	205,3	184,1	32,7	22,7	48,0	48,1	27,7	28,5
Outubro	83,6	151,0	150,3	203,1	204,2	220,7	219,2	187,8	35,5	21,2	57,6	58,7	41,3	40,9
	82,5	150,7	149,9	201,8	202,8	216,5	215,2	186,4	35,2	21,2	57,6	58,7	41,3	40,9
Novembro	113,3	186,9	182,0	231,3	232,2	256,2	248,0	194,7	45,5	20,8	81,8	70,0	59,5	54,3
	112,9	186,8	181,9	230,8	231,7	252,1	245,1	194,0	44,9	20,8	81,8	70,0	59,5	54,3
Dezembro	108,2	329,7	274,1	284,3	289,7	286,5	278,7	200,4	45,5	22,6	96,1	87,4	75,7	69,5
	108,1	329,6	274,1	284,5	289,9	283,4	276,7	199,9	45,3	22,5	96,1	87,4	75,7	69,5

-  Pré-impacto (apenas com a UHE de Manso)
-  Pós-impacto (com todos os empreendimentos hidrelétricos)

**APÊNDICE F: ANÁLISE II - Impacto de todos os barramentos - Resultados para IHA, RVA (categoria central) e RVA\_LT**

Rio Cuiabá																						
	Cuiabá			B. Melgaço			P. Cercado			S. João			I. Camargo			P. Taianã			P. Alegre			
	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	
Nov.	0%	0%	0%	-1%	14%	13%	-1%	-14%	0%	-1%	0%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-29%	-11%	0%	-29%	0%	
Dez.	0%	-14%	13%	1%	-14%	-10%	0%	0%	11%	-1%	0%	-14%	-1%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	
Jan.	0%	-14%	0%	1%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	-1%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	
Fev.	3%	-14%	0%	-2%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	
Mar.	1%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	
Abr.	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	
Mai.	1%	0%	0%	0%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	14%	0%	0%	-14%	0%	
Jun.	0%	-29%	-13%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	
Jul.	0%	-14%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	
Ago.	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	
Set.	-1%	-14%	0%	-1%	-29%	0%	0%	-43%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-29%	0%	-1%	-14%	0%	
Out.	0%	0%	13%	0%	-14%	0%	-1%	0%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	
Mín. 1 dia	-1%	-29%	0%	-1%	-29%	0%	-1%	-29%	0%	0%	-43%	-29%	-1%	-14%	-14%	-1%	-29%	-14%	-1%	-29%	-14%	
Mín. 3 dias	-1%	-43%	-13%	-1%	-29%	0%	-1%	-29%	0%	0%	-43%	-29%	-1%	-14%	0%	-1%	-29%	-14%	-1%	-29%	-14%	
Mín. 7 dias	-1%	-29%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-29%	0%	0%	-14%	-14%	-1%	-29%	-13%	0%	-29%	0%	0%	-14%	-14%	
Mín. 30 dias	-1%	0%	0%	-1%	0%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-29%	-13%	-1%	0%	0%	0%	-14%	0%	
Mín. de 90 dias	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	14%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	
Máx. 1 dia	-2%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	
Máx. 3 dias	-1%	-29%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	
Máx.7 dias	-2%	0%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	
Máx. 30 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	
Máx. 90 dias	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
IEB	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-14%	0%	
Data mín.	-1%	0%	0%	-2%	-13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-13%	0%	
Data máx.	0%	-14%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	14%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Nº baixos pulsos	-25%	-8%	-8%	-33%	-57%	-57%	0%	-8%	-8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-8%	-8%	-50%	0%	0%	
Dur. baixos pulsos	15%	-50%	-50%	225%	-71%	-71%	26%	-14%	0%	2%	0%	0%	13%	0%	0%	-26%	-14%	-14%	2%	0%	14%	
Nº altos pulsos	-25%	57%	57%	-33%	25%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	8%	8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Dur. altos pulsos	75%	-22%	-20%	62%	17%	0%	1%	0%	0%	0%	-17%	0%	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-17%	
Tx ascensão	-1%	-43%	-43%	-7%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	-3%	-43%	-25%	-2%	0%	0%	-2%	-14%	-13%	
Tx recessão	5%	29%	43%	-10%	-43%	-29%	-1%	43%	0%	0%	-14%	0%	1%	-14%	14%	2%	-29%	-14%	1%	-14%	-14%	
Nº reversões	1%	-33%	-33%	-5%	-67%	-67%	-3%	29%	29%	-5%	14%	13%	0%	-14%	-14%	-3%	-29%	-29%	-3%	-33%	-27%	

# Rio Paraguai

	Cáceres			Descalvados			P. Conceição			Amolar			S. Francisco			P. Manga			P. Murtinho		
	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT
Dez.	-1%	-14%	0%	-1%	-43%	0%	-1%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%
Jan.	0%	-14%	0%	0%	-14%	-13%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%
Fev.	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Mar.	0%	-29%	0%	0%	0%	-11%	0%	-14%	-11%	0%	-14%	0%	0%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%
Abr.	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%
Mai.	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Jun.	0%	-14%	0%	1%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Jul.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Ago.	-1%	-14%	0%	-1%	-29%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Set.	-1%	0%	0%	-1%	-29%	-13%	-1%	-14%	-13%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%
Out.	-1%	-14%	-14%	-1%	-43%	-43%	-1%	-29%	-29%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Nov.	-2%	-14%	0%	-1%	-29%	-14%	-1%	-29%	-14%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-29%	0%
Mín. 1 dia	-1%	-14%	-14%	-2%	-14%	-11%	-2%	-14%	-11%	-1%	-29%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Mín. 3 dias	-1%	-29%	-14%	-2%	-14%	-11%	-1%	-14%	-11%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	0%	0%	0%	-14%	0%
Mín. 7 dias	-1%	-57%	-29%	-1%	-29%	-29%	-1%	-14%	-14%	0%	0%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Mín. 30 dias	-2%	-29%	-14%	-1%	0%	0%	-1%	0%	0%	-1%	-14%	0%	0%	0%	0%	-1%	14%	0%	0%	-14%	0%
Mín. de 90 dias	-1%	-14%	-13%	-1%	-14%	-14%	-1%	-14%	-14%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Máx. 1 dia	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Máx. 3 dias	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Máx.7 dias	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Máx. 30 dias	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Máx. 90 dias	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
IEB	-1%	-29%	0%	-1%	0%	0%	-1%	29%	25%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%
Data mín.	0%	0%	0%	0%	-9%	-9%	1%	0%	11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-11%	0%	0%	0%	0%
Data máx.	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%
Nº baixos pulsos	0%	-25%	-25%	-50%	7%	7%	-50%	7%	7%	0%	0%	0%	100%	0%	0%	0%	6%	6%	0%	0%	0%
Dur. baixos pulsos	33%	-57%	-50%	11%	-14%	0%	7%	-14%	0%	-2%	0%	-14%	0%	-17%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
Nº altos pulsos	0%	10%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dur. altos pulsos	-7%	14%	14%	0%	-29%	0%	1%	0%	0%	-1%	-17%	0%	-2%	-17%	0%	0%	0%	0%	-1%	-17%	0%
Tx ascensão	-6%	-14%	0%	-1%	-29%	-14%	-9%	-14%	0%	-4%	-14%	0%	-3%	-14%	0%	-5%	-29%	-18%	0%	-14%	-13%
Tx recessão	-4%	14%	13%	0%	-14%	0%	0%	29%	0%	1%	-29%	0%	-3%	-29%	-25%	4%	0%	0%	0%	-29%	0%
Nº reversões	-2%	25%	25%	0%	14%	14%	-4%	-22%	-22%	0%	-29%	-29%	-12%	0%	0%	-6%	-38%	-38%	0%	11%	11%

	Rio Jauru			Rio S. Lourenço			Rio Piquiri			Rio Taquari														
	P. Espiridião			A. C. Grande			S. J. Borireu			S. Jeronimo			S. J. Piquiri			Coxim			S. Gonçalves			P. Rolom		
	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT
Nov.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	14%	0%	0%	-29%	0%	-1%	-43%	-38%	-1%	-43%	-25%
Dez.	0%	-14%	0%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	-14%	0%	1%	-14%	0%	0%	-29%	-13%	-1%	-29%	0%	0%	-14%	0%
Jan.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	0%	0%	3%	-29%	-13%	2%	0%	0%	0%	0%	0%
Fev.	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	-14%	0%	2%	-14%	-14%	0%	-14%	0%
Mar.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	1%	-29%	0%	0%	0%	0%	-6%	-29%	-38%	-3%	0%	0%	0%	14%	0%
Abr.	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	4%	-14%	-13%	2%	-14%	0%	0%	0%	0%
Mai.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-29%	0%	1%	-29%	0%	1%	-29%	-29%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%
Jun.	0%	-14%	0%	0%	-29%	0%	0%	-14%	0%	-1%	0%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	1%	-14%	0%	0%	-14%	-14%
Jul.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	-22%	-1%	-14%	-22%	0%	-14%	-13%
Ago.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	-1%	-29%	0%	-1%	-29%	0%	-2%	-14%	13%	-2%	-14%	0%	-1%	-14%	-13%
Set.	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	0%	0%	-1%	-43%	0%	-1%	-29%	-29%	-1%	-29%	-14%	-1%	-29%	-14%
Out.	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-2%	-43%	-43%	-1%	-43%	-25%
Mín. 1 dia	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-29%	-14%	0%	-29%	-29%	1%	-43%	-43%	1%	-29%	-10%	0%	-29%	-14%
Mín. 3 dias	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	-14%	1%	-29%	-11%	0%	-29%	-10%	0%	-29%	-29%
Mín. 7 dias	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	14%	-1%	0%	14%	-2%	-43%	-29%	-1%	-29%	-29%	0%	-29%	-25%
Mín. 30 dias	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-29%	-29%	-1%	-14%	-14%	-2%	-14%	0%	-2%	0%	0%	0%	-14%	0%
Mín. de 90 dias	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-2%	-14%	-14%	-2%	-14%	-14%	-1%	-14%	-14%
Máx. 1 dia	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-6%	0%	-14%	-2%	-14%	0%	0%	-14%	-14%
Máx. 3 dias	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-5%	0%	14%	-2%	0%	0%	0%	-14%	-14%
Máx.7 dias	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-2%	0%	0%	-1%	14%	29%	0%	-14%	-14%
Máx. 30 dias	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	-14%	0%	-43%	0%	0%	-14%	0%
Máx. 90 dias	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	1%	-29%	0%	0%	-14%	0%
IEB	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	-1%	-14%	0%	-1%	0%	14%	-1%	-43%	-14%	-1%	-29%	-13%	0%	-14%	14%
Data mín.	0%	0%	0%	0%	-13%	-11%	0%	0%	0%	-4%	-43%	-25%	0%	-14%	0%	0%	-25%	0%	-5%	-25%	-11%	0%	14%	14%
Data máx.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	-14%	0%
Nº baixos pulsos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-7%	-7%	0%	13%	13%	33%	-10%	-10%	-17%	13%	13%	-20%	13%	13%	0%	13%	13%
Dur. baixos pulsos	1%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	33%	43%	22%	31%	-29%	-29%	43%	-67%	-67%	25%	-17%	-17%	71%	-33%	-43%
Nº altos pulsos	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	13%	13%	0%	0%	0%	0%	-18%	-18%	-38%	-38%	-38%	-20%	-22%	-22%	0%	0%	0%
Dur. altos pulsos	-1%	-17%	0%	-2%	0%	0%	3%	0%	0%	10%	0%	0%	1%	17%	17%	42%	-75%	-75%	86%	-29%	-38%	177%	-33%	-36%
Tx ascensão	-2%	-14%	0%	0%	-14%	-14%	6%	0%	0%	3%	29%	29%	13%	-14%	0%	-35%	-57%	-43%	-24%	-86%	-86%	-17%	29%	25%
Tx recessão	-3%	-29%	0%	1%	-29%	-38%	0%	0%	0%	1%	-43%	-25%	-2%	0%	0%	-28%	-57%	-57%	-22%	-29%	-29%	-14%	-14%	-14%
Nº reversões	0%	14%	14%	-2%	-14%	-14%	0%	-13%	-13%	-2%	11%	0%	2%	29%	25%	-6%	-14%	-33%	-9%	-29%	-29%	-13%	0%	0%

	Rio Negro						Rio Aquidauana						Rio Miranda					
	P. Bocaína			F. R. Negro			Aquidauana			P. Ciriaco			Miranda			T. Fogo		
	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT	IHA	RVA	RVA_LT
Nov.	0%	0%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dez.	-1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Jan.	1%	-43%	-25%	0%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fev.	1%	14%	14%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mar.	1%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Abr.	2%	-14%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mai.	1%	-14%	0%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Jun.	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Jul.	0%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Ago.	0%	-14%	0%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Set.	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Out.	0%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mín. 1 dia	0%	-29%	-13%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mín. 3 dias	0%	-14%	-22%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mín. 7 dias	0%	-14%	-11%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mín. 30 dias	0%	-14%	-14%	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Mín. 90 dias	0%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Máx. 1 dia	-5%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	-11%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Máx. 3 dias	-4%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Máx. 7 dias	-3%	-29%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Máx. 30 dias	0%	0%	0%	-1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Máx. 90 dias	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
IEB	-1%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Data mín.	0%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Data máx.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nº baixos pulsos	-20%	14%	14%	0%	-18%	-18%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dur. baixos pulsos	68%	-50%	-33%	0%	33%	10%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nº altos pulsos	-22%	-13%	-13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Dur. altos pulsos	30%	-30%	-30%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Tx ascensão	-10%	-43%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Tx recessão	-31%	29%	43%	-8%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Nº reversões	-8%	-25%	-25%	-5%	-14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

**ANEXO: Informações dos empreendimentos hidrelétricos considerados no estudo**

<b>NOME</b>	<b>RIO</b>	<b>POT (KW)</b>	<b>AREA_DREN</b>	<b>ESTÁGIO</b>	<b>Tipo</b>
Água Branca	Rio Prata	10000	421	DRS - PCH	PCH
Água Brava	Rio Prata	13050	357.77	Construção não iniciada	PCH
Água Clara	Rio Prata	4000	325.8	Construção não iniciada	PCH
Água Enterrada	Rio Correntes	14500	3696	Eixo Disponível	PCH
Água Fria	Jauru	11300	2104	Eixo Disponível	PCH
Água Prata	Rio Prata	13300	333.72	Construção com outorga	PCH
Água Vermelha	Rio Coxim	22000	5620	DRS - PCH	PCH
Alagados 3	Rio Jauru	2220	766.8	Eixo Disponível	CGH
Andorinha	Rio Novo	4200	299	DRI - PCH	PCH
Angatu I	Rio Cuiabá	23450	17894	DRI - PCH	PCH
Angatu II Montante	Rio Cuiabá	22540	17355	DRI - PCH	PCH
Antônio Brennand (Antiga Alto Jauru)	Rio Jauru	21960	1590	Operação	PCH
Aquáriu II	Rio Correntes	4250	0	DRI - PCH	PCH
Araras	Rio Jauquara	9400	987	Eixo Disponível	PCH
Areia Branca 3	Rio Jauru	3000	307	Eixo Disponível	CGH
Aricá-Mirim I	Rio Aricá-Mirim	3550	77	PB com Aceite	PCH
B10	Rio Perdido	5200	728.63	Eixo Disponível	PCH
B11	Rio Perdido	1800	664.21	Eixo Disponível	CGH
B5	Rio Perdido	1800	1243.2	Eixo Disponível	CGH
B6	Rio Perdido	1500	1122.9	Eixo Disponível	CGH
B7	Rio Perdido	1700	1009.6	Eixo Disponível	CGH
B8	Rio Perdido	1400	852.7	Eixo Disponível	CGH
B9	Rio Perdido	1300	773.53	Eixo Disponível	CGH
Barra do Ariranha	Rio Taquari	13000	5096	Eixo Disponível	PCH
Barra do Piraputanga	Jauru	10300	1611	Eixo Disponível	UHE 395
Beleza	Córrego Beleza	6500	109	DRS - PCH	PCH
Biguá	Rio São Francisco de Paula	246	789	PB com Registro	PCH
Bocaina	Rio Negrinho	11000	410	DRS - PCH	PCH
Bom Jesus	Rio Prata	8810	647	DRI - PCH	PCH
Buriti	Córrego Saia Branca	1000	319	PB com Aceite	CGH
Cabaçal 1	Rio Cabaçal	13500	1160	DRS - PCH	PCH
Cabaçal 2	Rio Cabaçal	10500	1010	Eixo Disponível	PCH
Cabaçal 3	Rio Cabaçal	7500	646.2	DRS - PCH	PCH
Cabaçal 4	Rio Cabaçal	6200	605	PB com Registro	PCH
Cabaçal 5	Rio Cabaçal	6500	603	DRS - PCH	PCH
Cabaçal 6	Rio Cabaçal	6750	585	DRS - PCH	PCH
Cachoeira da Fumaça	Tenente Amaral	2560	757.5	Operação	CGH
Calcutá	Rio Coxim	3500	605	Eixo Disponível	PCH
Cambará	Córrego Tenente Amaral	3590	332	Operação	PCH
Caramujo	Córrego Caramujo	3520	62	Construção não iniciada	PCH
Casca II	Rio Casca	3520	790	Operação	PCH
Casca III	Rio da Casca	12420	0	Operação	UHE 395
Cipó	Córrego Água-Branca	2900	55.03	Eixo Disponível	PCH
Corredeira	Rio Juba	10500	2144	DRS - PCH	PCH



Dália	Rio Ariranha	14000	1008	PB com Aceite	PCH
Diamante (Antiga Camargo Corrêa)	Rio Santana	4230	560	Operação	PCH
Dona Inês	Córrego Benjamim	7510	0	DRI - PCH	PCH
Embaúba	Córrego Tenente Amaral	4500	335	Operação	PCH
Engenheiro José Gelásio da Rocha	Ribeirão Ponte de Pedra	24435	1680	Operação	PCH
Entre Rios	Rio Coxim	8000	1300	Eixo Disponível	PCH
Estivadinho 3	Rio Jauru	9900	1129.4	PB Aprovado	PCH
Europa	Córrego Ibo	4500	237	Eixo Disponível	PCH
Fazenda Caranda	Rio Coxim	6500	2450	Eixo Disponível	PCH
Figueirão	Rio Jauru	9000	5026.5	DRS - PCH	PCH
Figueirópolis	Rio Jauru	19410	2926	Operação	PCH
Formoso I	Rio Formoso	12500	335	DRS - PCH	PCH
Formoso II	Rio Formoso	13500	715	DRS - PCH	PCH
Formoso III	Rio Formoso	27000	742	DRS - PCH	PCH
Furna	Córrego Rico	1400	138	Eixo Disponível	PCH
Garimpo	Córrego do Garimpo	1400	86	Eixo Disponível	CGH
Girassol	Rio Ariranha	4000	328	Eixo Disponível	PCH
Graça Brennand (Antiga Terra Santa)	Rio Juba	27400	1947	Operação	PCH
Guapira II	Rio Cuiabá	25960	22578	Eixo Disponível	PCH
Guarapuruví	Do Sapo	1150	309	Eixo Disponível	PCH
Hortência	Rio Ariranha	17000	2291	PB com Aceite	PCH
Indiavaí	Rio Jauru	28000	2320	Operação	PCH
Ipê	Córrego Amaral	1100	150	Eixo Disponível	CGH
Iratambé I	Rio Cuiabá	25280	20910	DRI - PCH	PCH
Iratambé II	Rio Cuiabá	22610	20285	DRI - PCH	PCH
Itiquira (Casas de Forças I e II)	Rio Itiquira	96570	0	Operação	UHE 412
Itiquira III	Rio Itiquira	23000	5443	DRS - PCH	PCH
Jaçanã Alta	Rio São Francisco de Paula	7700	784.18	DRI - PCH	PCH
Jatobá	Córrego Saia Branca	2000	322	Eixo Disponível	CGH
Jauruzinho	Jauru	2400	371	Revogado	PCH
João Basso	Ribeirão Ponte de Pedra	18100	1953	Eixo Disponível	PCH
Juba I	Rio Juba	42000	1550	Operação	UHE 395
Juba II	Rio Juba	42000	1808	Operação	UHE 395
Juba III	Rio Juba	6200	802.95	Eixo Disponível	PCH
Juba IV	Rio Juba	7480	809.8	Construção não iniciada	PCH
Jubinha I	Rio Jubinha	11000	675	Eixo Disponível	PCH
Jubinha II	Rio Jubinha	15980	0	Construção não iniciada	PCH
Jubinha III	Rio Jubinha	4080	723.85	Construção não iniciada	PCH
Lagoa Alta	Rio Coxim	6000	910	PB com Aceite	PCH
Lagoa Grande	Do Sapo	2530	585	Eixo Disponível	PCH
Lajari	Rio Taquari	20880	171	Construção com outorga	PCH
Lírio	Rio Ariranha	19000	1532	PB com Aceite	PCH
Mangaba	Córrego Amaral	2300	737	PB com Aceite	PCH
Manso	Rio Manso	210000	0	Operação	UHE 412
Mantovilis	Córrego Mutum	5200	179	DRS - PCH	PCH
Maracanã	Córrego Maracanã	10500	174.5	Operação	PCH

Maringá	Rio Coxim	4000	655	PB com Aceite	PCH
Medianeira	Rio Maracanã	10200	256.4	Eixo Disponível	PCH
Mestre	Córrego Mestre	2000	41	Operação	PCH
Modelo	Córrego Benjamim	4030	0	DRI - PCH	PCH
Mundo Novo	Rio Jauru	21500	6249	PB com Aceite	PCH
Mutum	Rio Taquari	8500	528	PB com Aceite	PCH
Mutum I	Córrego Mutum	4000	175	Construção não iniciada	PCH
Ombreiras	Rio Jauru	26000	2207	Operação	PCH
Orquídea	Rio Ariranhã	24000	1780	PB com Aceite	PCH
Ouro Negro	Rio Negro	4400	652	DRS - PCH	PCH
Padres	Córrego Falha dos Padres	1700	96	Eixo Disponível	CGH
Paiaaguás	Rio Sepotuba	28000	4282	DRS - PCH	PCH
Pampeana	Rio Juba	28000	2503	Operação	PCH
Pedro Gomes	Rio Taquari	19500	9664	PB com Aceite	PCH
Pegoraro	Córrego do Salto	4370	0	DRI - PCH	PCH
Pequi	Rio Saia Branca	6000	327	Operação	PCH
Peralta	Rio Coxim	14500	4031	PB com Aceite	PCH
Perudá Montante	Rio Cuiabá	18480	15927	DRI - PCH	PCH
Ponte Alta	Rio Coxim	13000	495	Operação	PCH
Ponte de Pedra	Rio Correntes	176100	0	Operação	UHE 395
Ponte Estreita	Do Sapo	2100	520	Eixo Disponível	PCH
Ponte Vermelha	Rio Coxim	5000	800	PB com Aceite	PCH
Poxoréo (José Fragelli)	Rio Poxoréo	1200	1340	Operação	PCH
Primavera	Rio Ariranhã	23000	2170	PB com Aceite	PCH
Progresso	Córrego do Sangue	3500	266.65	Eixo Disponível	PCH
Rancho Grande	Córrego do Sangue	9200	219.4	DRS - PCH	PCH
Rancho Queimado 2	Córrego Rancho Queimado	625	62.37	Eixo Disponível	CGH
Rancho Queimado 3	Córrego Rancho Queimado	302	59.65	Eixo Disponível	CGH
Rancho Queimado 4	Córrego Rancho Queimado	952	45.63	Eixo Disponível	CGH
Rancho Queimado 5	Córrego das Antas	2031	33.28	Eixo Disponível	CGH
Rancho Queimado I	Córrego Rancho Queimado	5000	83.15	Eixo Disponível	PCH
Recanto	Rio Água Limpa	9110	155	Construção não iniciada	PCH
Rio do Sapo	Ribeirão do Sapo	5760	593	Operação	PCH
Rio Negro	Rio Negro	6100	1001	DRS - PCH	PCH
Rondonópolis	Ribeirão Ponte de Pedra	26600	1733	Operação	PCH
Sábio de Mello	Rio Formoso	5000	46	Eixo Disponível	PCH
Saíra	Rio São Francisco de Paula	1750	748	Eixo Disponível	PCH
Salto	Rio Jauru	19000	2657	Operação	PCH
Salto Cacaú	Rio Vermelho	3100	160	Eixo Disponível	PCH
Salto Caramujo	Rio Vermelho	1750	398	Eixo Disponível	CGH
Salto do Céu	Rio Vermelho	1900	140	Eixo Disponível	CGH
Salto do Sapo Parecís	Ribeirão do Sapo	4400	102.13	DRS - PCH	PCH
Salto Maciel	Rio Sepotuba	17000	4319	PB com Aceite	PCH
Salto Vermelho I	Rio Vermelho	13700	226	PB com Aceite	PCH
Santa Cecília	Córrego Mestre	3500	61	Operação	PCH
Santa Fé	Córrego Ponte Vermelha	3000	116.5	PB com Registro	CGH
Santa Gabriela	Rio Correntes	24000	3132	Operação	PCH
Santa Paula	Rio Correntes	5200	2164	Eixo Disponível	PCH

Santana 2	Rio Santana	2400	778	Eixo Disponível	CGH
Santana I	Rio Santana	14758	804	Operação	PCH
Santiago	Rio Prata	25570	740	Eixo Disponível	PCH
Santo Antonio	Ribeirão Comprido	1140	531	Eixo Disponível	CGH
Santo Antônio	Córrego Aguaçu	15000	130	Eixo Disponível	PCH
São Bento	Ribeirão Comprido	1060	382	Eixo Disponível	CGH
São Domingos	Rio Coxim	22000	6976	DRS - PCH	PCH
São Domingos	Ribeirão Comprido	1300	181	Eixo Disponível	CGH
São Francisco de Assis	Rio Negro	1600	944	Eixo Disponível	CGH
São Lourenço (Antiga Zé Fernando)	Rio São Lourenço	29988	5775	Operação	PCH
São Paulo	Ribeirão Comprido	2240	338	Eixo Disponível	CGH
São Tadeu I	Rio Aricá-Mirim	18000	256	Operação	PCH
São Tadeu II	Rio Aricá-Mirim	3400	413	PB com Aceite	PCH
Senador Jonas Pinheiro (Caeté)	Córrego Caeté	6300	79	Operação	PCH
Sepotuba	Rio Sepotuba	13500	4232	DRS - PCH	PCH
Serra Vermelha	Rio Taquari	2500	281	PB com Aceite	PCH
Sete Quedas Alta	Córrego Ibo	22000	392	Operação	PCH
Sucupira	Córrego Saia Branca	4500	356	Operação	PCH
Sucuri	Rio Coxim	38000	13853	PB com Aceite	UHE 412
Sucuriú	Do Sapo	1480	492	Eixo Disponível	PCH
Tapirapuã	Rio Juba	10227	2236	DRS - PCH	PCH
Taquarinha	Córrego Inominado	2460	43	Eixo Disponível	CGH
Taquarizinho	Rio Taquari	13000	1503	DRS - PCH	PCH
Trairão 3	Rio Jauru	3800	1394	Eixo Disponível	PCH
Usina Velha	Rio Juba	11000	2155	DRS - PCH	PCH
Vila Jauru	Rio Jauru	9550	5316	DRS - PCH	PCH
Violeta	Rio Ariranha	20000	1640	PB com Aceite	PCH

Fonte: ANA (2018)